

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

**OTIMIZAÇÃO DE REATOR SEQUENCIAL EM BATELADA PARA
REMOÇÃO BIOLÓGICA DE CARBONO E NITROGÊNIO COM
CONTROLE DIFUSO**

GILSON ARIMURA ARIMA

ORIENTADOR: Professor Dr. Luiz Fernando de Abreu Cybis

CO-ORIENTADOR: Professor Dr. Paulo Martins Engel

Porto Alegre, setembro de 2005.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

**OTIMIZAÇÃO DE REATOR SEQUENCIAL EM BATELADA PARA
REMOÇÃO BIOLÓGICA DE CARBONO E NITROGÊNIO COM
CONTROLE DIFUSO**

GILSON ARIMURA ARIMA

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Doutor.

Porto Alegre, setembro de 2005.

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob orientação do Professor Dr. Luiz Fernando de Abreu Cybis e co-orientação do Professor Dr. Paulo Martins Engel.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, à minha esposa Célia e aos meus filhos: Deborah e Bernardo, pelos incentivos e paciência durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu orientador, Professor Dr. Luiz Fernando de Abreu Cybis pela compreensão, apoio e confiança, que foram de grande valia.

Ao meu co-orientador, Professor Dr. Paulo Martins Engel, pela disponibilidade e incentivo.

Ao Professor Dr. Carlos Nobuyoshi Ide pelo incentivo e o apoio, que foram de grande importância.

Aos amigos da Sanesul, em especial, ao Eng^o Nereu Fontes, Eng^o Ivan Pedro Martins e Eng^a Rita T. Queiroz Figueiredo, pela confiança e apoio nos momentos difíceis.

Aos amigos e profissionais do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, em especial ao Altemar, Karine, Lademir e Luiz, que direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.

Ao Professor Dr. João O. Pereira Pinto pelas lições de controle;

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro, com a bolsa de estudo concedida.

RESUMO

Este trabalho apresenta a estruturação de um controle difuso, para a automação de reatores seqüenciais em batelada (RSB), no processo de remoção biológica de matéria orgânica e nitrogênio em águas residuárias domésticas, utilizando parâmetros inferenciais, pH, ORP e OD, em que as variáveis controladas foram as durações da reação aeróbia e anóxica.

O experimento, em escala de bancada, foi composto por dois reatores seqüenciais em batelada, com volume útil de 10 L, no qual 6 L foram alimentados com esgoto sintético, com características de águas residuárias domésticas. O sistema de automação foi composto pela aquisição dos parâmetros eletroquímicos (pH, ORP e OD), pelos dispositivos atuadores (motor-bomba, aerador e misturador) e pelo controle predeterminado ou difuso. O programa computacional CONRSB foi implementado de forma a integrar o sistema de automação.

O controle difuso, implementado, foi constituído pelos procedimentos de: normalização, nebulização, inferência, desnebulização e desnormalização. As variáveis de entrada para o controlador difuso, durante o período: aeróbio foram dpH/dt , $dpH/d(t-1)$ e o pH ; anóxico foram $dORP/dt$, $dORP/d(t-1)$ e o OD. As normalizações das variáveis *crisps* estiveram no universo de [0,1], utilizando os valores extremos do ciclo 1 ao 70. Nas nebulizações foram aplicadas as funções triangulares, as quais representaram, satisfatoriamente, as indeterminações dos parâmetros. A inferência nebulosa foi por meio da base heurística (regras), com amparo do especialista, em que a implicação de Mamdani foi aplicada. Nessas implicações foram utilizadas dezoito expressões simbólicas para cada período, aeróbio e anóxico. O método de desnebulização foi pelo centro de áreas, que se mostrou eficaz em termos de tempo de processamento. Para a sintonia do controlador difuso empregou-se o programa computacional MATLAB, juntamente com as rotinas *Fuzzy logic toolbox* e o *Simulink*. O intervalo entre as atuações do controlador difuso, ficou estabelecido em 5,0 minutos, sendo obtido por meio de tentativas.

A operação do RSB 1, durante os 85 ciclos, apresentou a relação média DBO/NTK de 4,67 mg DBO/mg N, sendo classificado como processo combinado de oxidação de carbono e nitrificação. A relação média alimento/microrganismo foi de 0,11 kg DBO/kg

sólido suspenso volátil no licor misto.dia, enquadrando nos sistemas com aeração prolongada, em que a idade do lodo correspondeu aos 29 dias. O índice volumétrico do lodo médio foi de 117,5 mL/g, indicando uma sedimentação com características médias. As eficiências médias no processo de remoção de carbono e nitrogênio foram de 90,8% (como DQO) e 49,8%, respectivamente. As taxas específicas médias diárias, no processo de nitrificação e desnitrificação, foram de 24,2g N/kg SSVLM.dia e 15,5 g N/kg SSVLM.dia, respectivamente. O monitoramento, em tempo real, do pH, ORP e OD, mostrou ter um grande potencial no controle dos processos biológicos, em que o pH foi mais representativo no período aeróbio, sendo o ORP e o OD mais representativos no período anóxico.

A operação do RSB com o controlador difuso, apresentou do ciclo 71 ao 85, as eficiências médias no processo de remoção de carbono e nitrogênio de 96,4% (como DQO) e 76,4%, respectivamente. A duração média do período aeróbio foi de 162,1 minutos, que tomando como referência o período máximo de 200,0 minutos, reduziu em 19,0% esses períodos. A duração média do período anóxico foi de 164,4 minutos, que tomando como referência o período máximo de 290,0 minutos, apresentou uma redução de 43,3%, mostrando a atuação robusta do controlador difuso.

O estudo do perfil temporal, no ciclo 85, mostrou a atuação efetiva do controlador difuso, associada aos pontos de controle nos processos biológicos do RSB. Nesse ciclo, as taxas máximas específicas de nitrificação e desnitrificação observadas, foram de 32,7 g NO₃⁻-N/kg sólido suspenso volátil no licor misto.dia e 43,2g NO₃⁻-N/kg sólido suspenso volátil no licor misto.dia, respectivamente.

ABSTRACT

The aim of the present work was to structure a fuzzy control, for the automation of sequencing batch reactors (SBR), in the process of the biological removal of organic matter and nitrogen from domestic wastewaters, using inferential parameters, such as: pH, redox potential and dissolved oxygen, with the controlled variables being the durations of the aerobic and anoxic reactions.

The experiment, on a laboratory bench scale, was composed of two sequencing batch reactors, with useful volume each of 10 L, of which 6 L were fed with synthetic sewage having the characteristics of domestic wastewater. The automation system was composed of the acquisition of electrochemical parameters (pH, redox potential and dissolved oxygen), the operating equipment (motor-pump, aerator and mixer) and predetermined or fuzzy control. The software CONSRB was used to integrate the system.

The implemented fuzzy control consisted of the following procedures: normalization, fuzzification, inference, defuzzification, and denormalization. The inputs variables for the fuzzy control during the aerobic period were dpH/dt , $dpH/d(t-1)$ and the pH values, and during the anoxic period $dORP/dt$, $dORP/d(t-1)$ and the dissolved oxygen concentration values. The normalizations of the crisper variables were in the [0,1] universe, using the extreme values of the 1 to 70 cycle. For the fuzzification, triangular functions were applied, which represent, satisfactorily, the indeterminacies of the parameters. The fuzzy inference was through the heuristic base (rules), with the support of an expert, in which the implication of Mamdani was applied. For these implications, 18 symbolic expressions were used for each period, aerobic and anoxic. The defuzzification method was by the center of areas, which showed itself to be efficient in terms of the processing time. To tune the fuzzy controller, the software MATLAB was used, together with the routines of Fuzzy logic toolbox and the Simulink. The interval between the actions of the fuzzy controller was established as five minutes, being obtained by trials.

The operation of the SBR one, during the 85 cycles, presented a mean BOD/TKN ratio of 4.67 mg BOD/mg N, being classified as a combined carbon and nitrogen oxidation process. The mean food-to-microorganism ratio was 0.11 kg BOD/kg mixed liquor

volatile suspended solids.day, classifying the systems as prolonged aeration, in which the sludge age corresponded to 29 days. The mean sludge volume index was 117.5 mL/g, indicating a sedimentation with medium characteristics. The mean efficiencies of the carbon removal and nitrogen processes were 90.8% (as COD) and 49.8%, respectively. The average specific daily rates, in the nitrification and denitrification processes, were 24.2 g N/kg MLVSS.day and 15.5 g N/kg MLVSS.day, respectively. The monitoring measurements, in real time, of pH, redox potential and dissolved oxygen showed a great potential for control of the biological processes, in which pH was more representative in the aerobic period, and redox and dissolved oxygen more representative in the anoxic period.

The operation of the SBR one, with the diffuse controller, presented, in the cycles 71 to 85, mean efficiencies of carbon and nitrogen removal of 96.4% (as COD) and 76.4%, respectively. The mean duration of the aerobic period was 162.1 minutes, representing a reduction of 19% with regard to the reference maximum period of 200 minutes. The mean duration of the anoxic period was 164.4 minutes, representing a reduction of 43.3% with regard to the reference maximum period of 290.0 minutes, thus demonstrating the robust action of the fuzzy controller.

Examination of the temporal profile, in cycle 85, demonstrated the effective action of the fuzzy controller, associated with the control points in the biological processes of the SBR. In this cycle, the maximum specific rates of nitrification and denitrification observed were 32.7 g NO₃⁻-N/kg mixed liquor volatile suspended solids.day, and 43.2 g NO₃⁻-N/kg mixed liquor volatile suspended solids.day, respectively.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	iii
AGRADECIMENTOS.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	vi
SUMÁRIO.....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE TABELAS.....	xvii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1 Objetivo geral.....	4
2.2 Objetivos específicos.....	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1 Lodos ativados.....	6
3.2 Remoção de matéria carbonácea.....	9
3.2.1 Cinética do crescimento microbiano e da utilização do substrato.....	13
3.2.2 Fatores ambientais que afetam a remoção de carbono.....	19
3.3 Remoção de nitrogênio.....	21
3.3.1 Nitrificação.....	22
3.3.2 Cinética da nitrificação.....	24
3.3.3 Fatores ambientais que afetam a nitrificação.....	25
3.4 Desnitrificação.....	28
3.4.1 Cinética da desnitrificação.....	31
3.4.2 Fatores ambientais que afetam a desnitrificação.....	34
3.4 Reator seqüencial em batelada.....	36
3.5 Parâmetros de monitoramento em tempo real.....	39
3.5.1 Potencial hidrogeniônico.....	41
3.5.2 Potencial de oxirredução.....	43
3.5.3 Oxigênio dissolvido.....	46
3.6 Monitoramento e controle dos processos biológicos em RSB.....	48
3.7 Inteligência artificial.....	65
3.7.1 Teoria da lógica nebulosa.....	66
3.7.1.1 Conjuntos nebulosos.....	67

3.7.1.2	Nebulização	68
3.7.1.3	Raciocínio aproximado	69
3.7.1.4	Implicações nebulosas	70
3.7.1.5	Regras de inferências	70
3.7.1.6	Raciocínio com instâncias	71
3.7.1.7	<i>Modus ponens</i> generalizado com <i>singletons</i>	72
3.7.1.8	Desnebulização	73
3.7.2	Controle difuso	77
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	82
4.1	Montagem mecânica e hidráulica dos reatores seqüenciais em bateladas.....	82
4.2	Estruturação do sistema de automação do processo	85
4.2.1	Estruturação do sistema de aquisição dos dados e dispositivos atuadores ...	89
4.2.2	Estruturação do controle com cronograma predeterminado	91
4.2.3	Estruturação do controle difuso	95
4.2.3.1	Desenvolvimento das rotinas computacionais.....	96
4.2.3.2	Sintonia do controlador difuso	101
4.2.3.3	Avaliação e a validação	111
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	112
5.1	Experimento aplicando o controle com cronograma predeterminado.....	112
5.2	Experimento aplicando o controle difuso	130
5.2.1	Parametrização e sintonia do controlador difuso.....	130
5.2.2	Avaliação e a validação experimental do controlador difuso.....	138
6.	CONCLUSÕES	153
7.	RECOMENDAÇÕES.....	155
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	156
9.	ANEXOS	164
A	- Módulos de implementação do programa computacional CONRSB.....	164
B	- Listagem do programa computacional CONRSB	176
C	- Cálculo dos parâmetros de performance - nitrificação e desnitrificação.....	365
D	- Perfis temporais do pH, ORP e OD.....	367

LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS

A/M	Relação alimento / microrganismo
ADP	Adenosina trifosfato
ATP	Adenosina trifosfato
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio, durante 5 dias a 20° C
dORP/dt	Diferencial do potencial de oxirredução em relação ao tempo
dpH/dt	Diferencial do potencial hidrogeniônico em relação ao tempo
DQO	Demanda química de oxigênio
EDTA	Ácido etilenodiamino tetracético
IVL	Índice volumétrico do lodo
K _A	Constante de meia saturação para o acetato, mg DQO/L
K _d	Coeficiente de respiração endógena para as bactérias heterotróficas, em d ⁻¹
K _{d,d}	Coeficiente de respiração endógena para as bactérias desnitrificantes, em d ⁻¹
K _{d,n}	Coeficiente de respiração endógena para as bactérias <i>Nitrosomonas</i> , em d ⁻¹
K _{NO3}	Constante de meia saturação, para as bactérias desnitrificantes, para a concentração do nitrogênio-nitrato, em mg N/L
K _{O2}	Coeficiente de saturação do oxigênio, em mg/L
K _s	Constante de meia saturação para as bactérias heterotróficas, definida como a concentração do substrato quando $\mu = \mu_{\text{máx}}/2$, em mg DQO/L ou mg DBO/L
K _{s,d}	Constante de meia saturação para as bactérias desnitrificantes, para a concentração da matéria orgânica, em mg/L
K _{s,n}	Constante de meia saturação para as bactérias <i>Nitrosomonas</i> , definida como a concentração do substrato para o qual $\mu_n = \mu_{\text{máx},n}/2$, em mg NH ₄ ⁺ -N/L ou mg NO ₂ ⁻ -N/L
MPG	<i>Modus ponens</i> generalizado
NTK	Nitrogênio total Kjeldhal
OD	Oxigênio dissolvido
ORP	Potencial de oxirredução
pH	Potencial hidrogeniônico

$q_D(OD)$	Taxa de remoção de nitrogênio-nitrato, com inibição pela presença de oxigênio dissolvido, em $\text{mg NO}_3^- \text{-N/mg SSV} \cdot \text{d}$
q_D	Taxa de remoção de nitrogênio-nitrato, em $\text{mg NO}_3^- \text{-N/mg SSV} \cdot \text{d}$
RSB	Reator seqüencial em batelada
S	Concentração do substrato ou nutriente limitante, para as bactérias heterotróficas, em mg/L
S_d	Concentração da matéria orgânica, para as bactérias desnitrificantes, em mg/L
S_n	Concentração do substrato ou nutriente limitante, para as bactérias <i>Nitrosomonas</i> , em mg/L
S_{O_2}	Concentração de oxigênio dissolvido, em mg/L
SST	Sólidos suspensos totais
SSTLM	Sólido suspenso no licor misto
SSV	Sólidos suspensos voláteis
SSVLM	Sólido suspenso volátil no licor misto
VCA	Voltagem em corrente alternada
VCC	Voltagem em corrente contínua
X	Concentração de bactérias heterotróficas no reator, em mg SSV/L
X_d	Concentração das bactérias desnitrificantes no reator, em mg SSV/L
X_n	Concentração das bactérias <i>Nitrosomonas</i> no reator, em mg SSV/L
Y	Coefficiente de produção celular, em $\text{mg SSV} / \text{mg DQO}$ ou $\text{mg SSV} / \text{mg DBO}$
Y_T	Coefficiente de produção celular verdadeiro, para as bactérias heterotróficas, em $\text{mg SSV} / \text{mg DQO}$ ou $\text{mg SSV} / \text{mg DBO}$
$Y_{T,d}$	Coefficiente de produção celular verdadeiro, para as bactérias desnitrificantes, em $\text{mg SSV/mg NO}_3^- \text{-N} / \text{mg SSV/mg DQO}$
$Y_{T,n}$	Coefficiente de produção celular verdadeiro, para as bactérias <i>Nitrosomonas</i> , em $\text{mg SSV/mg NH}_4^+ \text{-N}$ ou $\text{mg SSV/mg NO}_2^- \text{-N}$
μ	Coefficiente de crescimento específico das bactérias heterotróficas, em d^{-1}
θ	Coefficiente de temperatura, varia de 1,03 a 1,20, adimensional
θ_c	Idade do lodo, em dias
μ_d	Coefficiente de crescimento específico das bactérias desnitrificantes, em d^{-1}

$\mu_{\text{máx,d}}$	Coeficiente de crescimento específico máximo, das bactérias desnitrificantes, na concentração de saturação do duplo substrato limitantes do crescimento, em d^{-1}
$\mu_{\text{máx,n}}$	Coeficiente de crescimento específico máximo, das bactérias <i>Nitrosomonas</i> , na concentração de saturação do substrato limitante do crescimento, em d^{-1}
$\mu_{\text{máx}}$	Coeficiente de crescimento específico máximo, das bactérias heterotróficas, na concentração de saturação do substrato limitante no crescimento, em d^{-1}
μ_{n}	Coeficiente de crescimento específico das bactérias <i>Nitrosomonas</i> , em d^{-1}

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Esquema característico do processo de lodo ativado convencional.....	07
Figura 3.2 - Curva de crescimento bacteriano e absorção de substrato.....	14
Figura 3.3 - Condições extremas na Equação de Monod	16
Figura 3.4 - Transformação do nitrogênio no processo de tratamento biológico.....	22
Figura 3.5 - Esquema operacional típico de um reator seqüencial em batelada.....	38
Figura 3.6 - Princípio da medição do pH.....	42
Figura 3.7 - Princípio da medição do potencial de oxirredução	44
Figura 3.8 - Princípio da medição do oxigênio dissolvido	46
Figura 3.9 - Sensor galvânico (a) e polarográfico (b).....	47
Figura 3.10 - Perfis temporais típicos do pH, ORP e OD, para remoção carbonácea, nitrificação completa e desnitrificação	50
Figura 3.11 - Perfil temporal típico durante um ciclo de nitrificação – desnitrificação	51
Figura 3.12 - Perfil típico de ORP e pH, durante dois ciclos no estudo dois	53
Figura 3.13 - Perfil temporal da primeira e segunda derivada do pH, estudo dois	55
Figura 3.14 - Perfil temporal da primeira e segunda derivada do ORP, estudo dois.....	56
Figura 3.15 - Variação do ORP, pH, OD e N	58
Figura 3.16 - Variação do ORP, dORP/dt, pH, dpH/dt durante um ciclo	58
Figura 3.17 - Pontos notáveis α , β e χ nos perfis do ORP, pH e OD, durante os períodos aeróbio e anóxico	59
Figura 3.18 - Perfis do ORP, pH e OD para várias condições operacionais, nos períodos aeróbio – anóxico	60
Figura 3.19 - Perfil temporal típico do ORP durante uma batelada	62
Figura 3.20 - Perfil temporal típico do OD durante uma batelada	63
Figura 3.21 - Sinal filtrado do ORP	63
Figura 3.22 - Derivadas do OD e do pH.....	64
Figura 3.23 - Representação gráfica dos conjuntos nebulosos	68
Figura 3.24 - Representação gráfica da nebulização da instância ($T^*=20^{\circ}\text{C}$).....	69
Figura 3.25 - Conjunto nebuloso resultante da inferência.....	72

Figura 3.26 - Método das alturas	73
Figura 3.27 - Método do centro da área.....	74
Figura 3.28 - Método das somas dos centros.....	75
Figura 3.29 - Método do centro da maior área	75
Figura 3.30 - Método primeira da máxima.....	76
Figura 3.31 - Método média da máxima.....	77
Figura 3.32 - Arquitetura do sistema de controle difuso	79
Figura 4.1 - Experimento com RSB, em escala de bancada.....	83
Figura 4.2 - Esquema dos reatores sequenciais em batelada.....	84
Figura 4.3 - Sistema de automação e reatores sequenciais em batelada.....	87
Figura 4.4 - Esquema do sistema de automação.....	88
Figura 4.5 - Amplificadores – transmissores de sinais.....	90
Figura 4.6 - Tela principal do CONRSB	93
Figura 4.7 - Esquema dos pontos notáveis a controlar	97
Figura 4.8 - Representação gráfica da função π	99
Figura 4.9 - Editor MATLAB da inferência nebulosa, reação aeróbia	104
Figura 4.10 - Editor MATLAB da função de pertinência dpH/dt , reação aeróbia ..	104
Figura 4.11 - Editor MATLAB da função de pertinência $dpH/d(t-1)$, reação aeróbia.....	105
Figura 4.12 - Editor MATLAB da função de pertinência pH, reação aeróbia	105
Figura 4.13 - Editor MATLAB da função de pertinência de saída, reação aeróbia.....	106
Figura 4.14 - Editor MATLAB da base de regras, reação aeróbia	106
Figura 4.15 - Esquema MATLAB da simulação na inferência nebulosa, reação aeróbia.....	107
Figura 4.16 - Editor MATLAB da inferência nebulosa, reação anóxica.....	107
Figura 4.17 - Editor MATLAB da função de pertinência $dORP/dt$, reação anóxica	108
Figura 4.18 - Editor MATLAB da função de pertinência $dORP/d(t-1)$, reação anóxica	108
Figura 4.19 - Editor MATLAB da função de pertinência OD, reação anóxica.....	109
Figura 4.20 - Editor MATLAB da função de pertinência de saída, reação anóxica	109
Figura 4.21 - Editor MATLAB da base de regras, reação anóxica	110

Figura 4.22 - Esquema MATLAB da simulação na inferência nebulosa, reação anóxica	110
Figura 5.1 - Sólidos suspensos totais no licor misto.....	115
Figura 5.2 - Índice volumétrico do lodo	115
Figura 5.3 - Sólidos suspensos voláteis no licor misto	116
Figura 5.4 - Demanda química de oxigênio.....	116
Figura 5.5 - Sólidos suspensos totais.....	117
Figura 5.6 - Nitrogênio total	117
Figura 5.7 - Remoção do nitrogênio total.....	118
Figura 5.8 - Nitrogênio amoniacal.....	118
Figura 5.9 - Nitrogênio Kjeldhal	119
Figura 5.10 - Nitrogênio oxidado efluente	119
Figura 5.11 - Eficiência da nitrificação	120
Figura 5.12 - Eficiência da desnitrificação	120
Figura 5.13 - pH final	121
Figura 5.14 - Alcalinidade total	121
Figura 5.15 - ORP final	122
Figura 5.16 - Perfil temporal do pH, ciclo 1	124
Figura 5.17 - Perfil temporal do ORP, ciclo 1	125
Figura 5.18 - Perfil temporal do OD, ciclo 1	125
Figura 5.19 - Perfil temporal do pH, ciclo 70.....	126
Figura 5.20 - Perfil temporal do ORP, ciclo 70.....	126
Figura 5.21 - Perfil temporal do OD, ciclo 70.....	127
Figura 5.22 - Faixa do pH durante a reação aeróbia.....	131
Figura 5.23 - Faixa da dpH/dt durante a reação aeróbia.....	131
Figura 5.24 - Faixa da concentração do OD durante a reação anóxica	132
Figura 5.25 - Faixa da dORP/dt durante a reação anóxica	132
Figura 5.26 - Sintonia do controle difuso na reação aeróbia	137
Figura 5.27 - Sintonia do controle difuso na reação anóxica	137
Figura 5.28 - Duração da reação aeróbia, com o controle difuso	139
Figura 5.29 - Duração da reação anóxica, com o controle difuso	139
Figura 5.30 - Perfil temporal dos sólidos, ciclo 85.....	141
Figura 5.31 - Perfil temporal da DQO solúvel, ciclo 85.....	141
Figura 5.32 - Perfil temporal do nitrogênio total, Kjeldhal e oxidado, ciclo 85.....	142

Figura 5.33 - Perfil temporal do nitrogênio amoniacal e orgânico, ciclo 85	142
Figura 5.34 - Perfil temporal do nitrogênio nitrito, nitrato e oxidado, ciclo 85	143
Figura 5.35 - Perfil temporal da alcalinidade total, ciclo 85	143
Figura 5.36 - Perfil temporal do pH, ciclo 85.....	146
Figura 5.37 - Perfil temporal do ORP, ciclo 85.....	147
Figura 5.38 - Perfil temporal do OD, ciclo 85.....	147
Figura 5.39 - Perfil temporal do controle difuso na reação aeróbia, ciclo 85.....	148
Figura 5.40 - Perfil temporal do controle difuso na reação anóxica, ciclo 85.....	148
Figura 9.1 - Tela do <i>menu</i> <u>A</u> rquivo	165
Figura 9.2 - Tela do <i>submenu</i> <u>G</u> era configuração do reator 1 – Primeira tela.....	166
Figura 9.3 - Tela do <i>submenu</i> <u>G</u> era configuração do reator 1 – Segunda tela.....	167
Figura 9.4 - Tela do <i>submenu</i> <u>L</u> er configuração do reator 1	168
Figura 9.5 - Tela do <i>menu</i> <u>C</u> alibração	169
Figura 9.6 - Tela do <i>menu</i> <u>C</u> ontrola.....	170
Figura 9.7 - Tela do <i>submenu</i> <u>M</u> anual	171
Figura 9.8 - Tela do <i>menu</i> <u>M</u> onitoramento.....	172
Figura 9.9 - Tela do <i>submenu</i> <u>N</u> umérico – RSB 1 e 2.....	173
Figura 9.10 - Tela do <i>submenu</i> Gráficos - RSB <u>1</u>	174
Figura 9.11 - Tela do <i>menu</i> <u>S</u> obre	175
Figura 9.12 - Balanço de massa do nitrogênio	365
Figura 9.13 - Perfil temporal do pH, ciclo 14.....	367
Figura 9.14 - Perfil temporal do ORP, ciclo 14.....	368
Figura 9.15 - Perfil temporal do OD, ciclo 14.....	368
Figura 9.16 - Perfil temporal do pH, ciclo 28.....	369
Figura 9.17 - Perfil temporal do ORP, ciclo 28.....	369
Figura 9.18 - Perfil temporal do OD, ciclo 28.....	370
Figura 9.19 - Perfil temporal do pH, ciclo 42.....	370
Figura 9.20 - Perfil temporal do ORP, ciclo 42.....	371
Figura 9.21 - Perfil temporal do OD, ciclo 42.....	371

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Reações comuns no processo de lodos ativados	10
Tabela 3.2 - Parâmetros cinéticos e estequiométricos típicos para sistemas aeróbios com cultura mista	19
Tabela 3.3 - Parâmetros cinéticos e estequiométricos típicos para bactérias nitrificantes	25
Tabela 3.4 - Faixa típica da taxa de desnitrificação específica (q_D) e da demanda de substrato	33
Tabela 3.5 - Parâmetros cinéticos e estequiométricos para a desnitrificação	34
Tabela 3.6 - Descrição dos pontos notáveis no perfil temporal do pH e do ORP	53
Tabela 4.1 - Ciclo operacional predeterminado 1 ao 70	92
Tabela 4.2 - Composição do esgoto sintético	95
Tabela 4.3 - Métodos analíticos	95
Tabela 4.4 - Ciclo operacional 71 ao 85	111
Tabela 5.1 - Composição físico-química do esgoto sintético	113
Tabela 5.2 - Parâmetros de performance do RSB	114
Tabela 5.3 - Valores extremos das variáveis <i>crisps</i> medidas e suas derivadas em relação ao tempo	130
Tabela 5.4 - Base de regras para o período aeróbio	135
Tabela 5.5 - Base de regras para o período anóxico	136
Tabela 5.6 - Dados do perfil temporal do RSB, ciclo 85	140

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, a sobrevivência do homem sempre esteve associada com a existência de água e alimentos. O modo de vida nômade, progressivamente, foi sendo substituído pelo aparecimento dos primeiros aglomerados humanos.

O crescimento populacional, acompanhado do desenvolvimento industrial e da intensificação de outras atividades humanas vêm sendo as principais causas da utilização desordenada dos recursos hídricos. Os múltiplos usos desses recursos e a geração de resíduos, em quase todas as atividades, causam a poluição ambiental.

Dentre os resíduos gerados, os efluentes líquidos urbanos representam a maior parcela, visto que a água é o meio de transporte de resíduos mais usado, em que os destinos finais da maioria dos efluentes urbanos são os corpos de água. As conseqüências desses lançamentos não tratados geram muitas inconveniências, como a proliferação de doenças de veiculação hídrica, o desequilíbrio dos ecossistemas aquáticos e outras.

O crescente despertar da consciência ecológica e as exigências legais, cada dia mais rigorosa, vêm ao encontro das necessidades de desenvolvimentos tecnológicos inovadores do tratamento de efluentes.

Os compostos de nitrogênio estão entre os poluentes que necessitam melhores e mais econômicos meios de tratamento. Essas substâncias estão presentes em maior ou menor quantidades, nas águas residuárias de origem doméstica e industrial. Se não removidas adequadamente, poderão causar uma série de problemas ambientais, entre os quais pode-se citar: a eutrofização e a toxicidade da biota aquática, com risco à saúde humana.

A remoção biológica das formas de nitrogênio está entre os processos capazes de serem empregados para minimizar os problemas acima mencionados.

Os processos envolvidos são conhecidos como nitrificação e desnitrificação. A nitrificação emprega as bactérias autotróficas aeróbias para a oxidação de nitrogênio-amoniaco a nitrogênio-nitrito e a nitrogênio-nitrato. Essas formas de nitrogênio oxidadas serão utilizadas, sequencialmente, no processo de

desnitrificação, pelas bactérias heterotróficas facultativas, na ausência de oxigênio livre, sendo reduzidas a nitrogênio gasoso. Como pode ser visto, estes processos exigem condições ambientais diferentes: ambientes aeróbios e anóxicos, o que acarretará considerável atenção na operação da planta de tratamento.

Os processos, mencionados acima, podem ser otimizados a partir de técnicas de automação e controle de processo. Afortunadamente, a tecnologia existente atualmente nos fornece as ferramentas necessárias para isso. Os computadores, temporizadores, válvulas solenóides e sensores de pH, ORP, OD, amônia, nitrato, entre outros, já existem há algum tempo.

A operação de processos biológicos para o tratamento de águas residuárias utilizando-se de medições em tempo real, de parâmetros como pH, ORP e OD, para o controle do processo de lodos ativados, irá possibilitar a otimização deste, tanto em termos de eficiência, quanto em termos de custos. Essa tecnologia vem sendo tentativamente empregada em diversos países. No entanto, antes que tal processo se torne totalmente operacional, mais pesquisas serão necessárias, em termos do entendimento da fenomenologia dos processos envolvidos na operação de plantas de lodos ativados, utilizadas para a remoção de nutrientes, na apropriação de sensores para o monitoramento em tempo real do processo e na aplicação e desenvolvimento de técnicas de controle de processos.

O reator seqüencial em batelada é uma das modalidades do sistema de tratamento de águas residuárias, por meio do lodo ativado. O ciclo operacional típico do reator seqüencial em batelada é composto pelos períodos de: enchimento, reação, sedimentação, esvaziamento e descanso.

Normalmente, as durações das reações aeróbias e anóxicas, em cada ciclo, são preestabelecidas com espaços de tempo maiores que os necessários para a ocorrência dos processos de remoção da matéria orgânica e do nitrogênio. Esse procedimento requer mais incorporação de energia ao processo e reduz a qualidade do efluente final, visto que exerce efeitos adversos na ecologia microbiana (CHANG & HAO, 1995).

O principal obstáculo para a obtenção de um ciclo com durações das reações adequadas é a dificuldade operacional das sondas em tempo real medir parâmetros de

matéria orgânica, nitrito e nitratos, além das variações do afluente e das variáveis ambientais no reator.

O monitoramento dos parâmetros inferenciais do potencial hidrogeniônico, potencial de oxirredução e o oxigênio dissolvido tem-se mostrado uma ferramenta útil na indicação do estado biológico dos processos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo a estruturação de um controle difuso, para a automação de reatores seqüenciais em batelada, no processo de remoção biológica de matéria orgânica e nitrogênio em águas residuárias domésticas, utilizando parâmetros inferenciais, como: o potencial hidrogeniônico, o potencial de oxirredução e o oxigênio dissolvido, em que as variáveis controladas foram as durações da reação aeróbia e anóxica.

2.2 Objetivos específicos

Em termos de objetivos mais específicos, pode-se citar:

- implantar um protótipo experimental de bancada, para operação do processo de lodos ativados em batelada;
- monitorar e operar, de forma automática, o referido protótipo, utilizando-se os sensores de pH , ORP, OD e temperatura, acoplados a um microcomputador por meio de uma interface analógica/digital;
- identificar os pontos de mudanças de estados nos processos de remoção biológica de nitrogênio, capazes de serem utilizados no controle dos processos;
- estruturar e codificar o modelo computacional do controle difuso, para o processo biológico de nitrificação e desnitrificação;
- sintonizar o controlador difuso, a partir do monitoramento dos sensores;
- operar e avaliar o desempenho do experimento, aplicando o controle difuso nos processos biológicos de nitrificação e desnitrificação.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A definição de um sistema de tratamento de águas residuárias, dentre os vários existentes, depende dos poluentes a serem removidos no tratamento do afluente líquido, do nível de tratabilidade requerido pelo corpo receptor, dos impactos ambientais causados pela sua localização e da disposição dos lodos, dos custos envolvidos na sua implantação e na operação.

Os tratamentos das águas residuárias podem ser classificados como: operações físicas unitárias, processos químicos unitários e processos biológicos unitários (TCHOBANOGLIOUS & BURTON, 1991). Nas situações em que os processos biológicos podem ser aplicados, esses apresentam vantagens significativas sobre os processos químicos, destacando-se impactos ambientais e custos operacionais menores.

As características das águas residuárias domésticas, geralmente objeto dos processos de tratamento são sólidos em suspensão, matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e organismos patogênicos. Os sólidos em suspensão podem ser removidos por meio de operações físicas unitárias. A matéria orgânica, o nitrogênio, o fósforo e os organismos patogênicos podem ser removidos por meio de processos físico-químicos e biológicos.

Entre os processos biológicos, os lodos ativados destacam-se pela sua elevada eficiência na remoção de matéria orgânica, bem como a remoção de nitrogênio e fósforo. Existem muitas variantes do processo de lodos ativando, dentre essas, o reator seqüencial em batelada destaca-se pela sua grande flexibilidade operacional e o baixo custo de implantação, porém requer um elevado nível de controle do ciclo operacional.

Na maioria das vezes, o controle do ciclo é realizado de forma empírica, no qual os diversos períodos são previamente determinados. O monitoramento em tempo real, com sondas de parâmetros inferenciais, é uma forma de estabelecer a duração desses períodos, a qual pode ser controlada com a utilização de técnicas de inteligência artificial, como o controle difuso.

A revisão bibliográfica apresentada neste capítulo, possuirá a seguinte seqüência: lodos ativados, remoção de matéria carbonácea, remoção de nitrogênio, reator seqüencial em batelada, parâmetros inferenciais de monitoramento, monitoramento e controle de processo biológico em RSB, inteligência artificial e o controle difuso.

3.1 Lodos ativados

O conceito de utilizar aeração suplementar no tratamento de águas residuárias, data do século dezenove. Os experimentos iniciais mostraram a possibilidade de remover rapidamente a matéria orgânica nas águas residuárias. Nesses experimentos nenhuma importância foi dada relativamente à formação dos depósitos dos lodos de descarte, causados pela gradual decomposição da matéria orgânica na água residuária, exceto que o depósito deveria ser descartado, antes que um novo experimento fosse iniciado. Em 1912, os experimentos na estação experimental de Lawrence, em Massachusetts, demonstraram que a aeração das águas residuárias, por um curto período de tempo em um reator contendo pedras, produzia-se um crescimento compacto marrom sobre as pedras e o processo gerava um efluente clarificado e não nitrificado, sendo denominados leitos filtrantes. Em 1914, Arden e Lockett, na Inglaterra, desbravaram um dos mais populares processos de tratamento de águas residuárias. Indiferente às práticas correntes, eles guardaram os sólidos floculados e estudaram o efeito do seu uso repetido no tratamento de águas residuárias, submetidas à aeração. Esses sólidos floculados, denominados de lodos ativados, aumentaram consideravelmente o potencial de tratabilidade, quando submetidos à aeração (ARDERN & LOCKETT, 1914).

Atualmente, muitas versões do processo original são usadas, mas os seus fundamentos são todos similares, sendo o processo mais usado na redução da concentração poluentes biodegradáveis orgânicos, dissolvidos, particulados e coloidais das águas residuárias, com uma elevada qualidade do efluente e reduzidos requisitos de área. No entanto, ele inclui um grau de mecanização superior

comparado aos outros sistemas de tratamento, implicando numa operação mais sofisticada e maiores consumos de energia elétrica.

O lodo ativado é composto, essencialmente, pelo reator aeróbio e o decantador secundário. No reator aeróbio, a água residuária é misturada com o lodo ativado sob aeração, formando o licor misto, em que os microrganismos presentes no lodo utilizam a matéria orgânica para geração de energia e síntese de novas células. Após a aeração, o lodo ativado é separado da fase líquida em decantadores secundários, e parte do lodo separado é recirculado de volta ao reator aeróbio. Uma proporção do lodo ativado sedimentado pode ser removida do sistema, de forma contínua ou intermitente, para manter a concentração da biomassa ativa no reator aeróbio dentro de uma faixa de valores desejável. A Figura 3.1 mostra um esquema característico do processo de lodos ativados convencional.

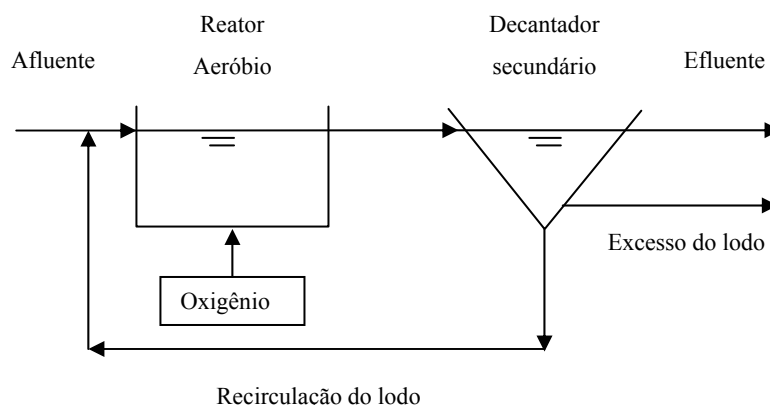


Figura 3.1 - Esquema característico do processo de lodo ativado convencional.

(Fonte: CASEY, 1993, modificada)

O conteúdo do reator de lodo ativado compreende uma massa de flocos, em meio líquido. Esses flocos de lodo ativado, são constituídos de agregados de microrganismos, material inorgânico, materiais orgânicos coloidais e materiais particulados, todos fixados ao mesmo tempo em uma compacta matriz orgânica. Um grande número de protozoários é fixado no floco por meio de pedúnculos, adicionalmente os ciliados livres-nadantes e os flagelados são encontrados no licor misto e na matriz do floco. Embora os fungos sejam ocasionalmente observados,

participam em pequena parte no tratamento das águas residuárias. Similarmente, os bacteriófagos são encontrados no lodo ativado, e atuam no provável papel de remover bactérias, incluindo espécies patogênicas (HORAN, 1990).

Embora os microrganismos sejam os agentes de remoção de matéria orgânica, o floco tem um papel essencial no processo de lodos ativados. A matéria orgânica afluyente solúvel e insolúvel, é absorvida na matriz do floco. Nela, o substrato é acessível à hidrólise, por enzimas extracelulares, antes de ser absorvido e metabolizado pelas bactérias floculadas (HORAN, 1990).

Dentre as comunidades de microrganismos, as bactérias representam o mais numeroso e importante grupo presente no lodo ativado. Elas podem ser classificadas sob os aspectos morfológicos, atividades metabólicas, necessidades nutricionais, condições ambientais quanto ao oxigênio, temperatura ótima para crescimento e outras.

No processo de lodos ativados, a mais importante classificação refere-se as suas necessidades nutricionais, isto é, de acordo com a fonte de carbono usada em sua rota metabólica. GAUDY & GAUDY (1988) citaram que as três necessidades nutricionais mais importantes são: a fonte de carbono, a fonte de energia e o doador de elétrons.

A fonte de carbono pode ser inorgânica e orgânica. Os microrganismos que requerem componentes orgânicos como fonte de carbono, na síntese de material celular, são denominados heterotróficos; enquanto aqueles que podem utilizar o dióxido de carbono como fonte de carbono são denominados autotróficos.

Os microrganismos podem obter energia da luz ou pela oxidação de componentes químicos. Aqueles que utilizam a energia luminosa são denominados fototróficos, enquanto aqueles que oxidam componentes orgânicos ou inorgânicos são denominados quimiotróficos.

O doador de elétrons pode ser inorgânico ou orgânico. Os microrganismos que utilizam o componente orgânico como fonte de elétrons são denominados organotróficos, enquanto aqueles que utilizam fonte inorgânica de elétrons são denominados litotróficos.

O termo mixotrófico é usado para classificar os microrganismos que são capazes de utilizar fontes de energia alternadas, química ou luminosa, com igual facilidade ou fontes alternativas de energia simultaneamente.

Dentre as condições ambientais, destacam-se os meios: aeróbios, anóxicos e anaeróbios. Quando o processo biológico ocorre na presença de oxigênio dissolvido, as condições são ditas como aeróbias. As condições anóxicas ocorrem na ausência, ou concentrações muito baixas, de oxigênio dissolvido, porém na presença de oxigênio molecular, como os ânions nitrito e nitrato. As condições anaeróbias ocorrem na ausência de oxigênio dissolvido e molecular.

WANNER (1991) apresentou um resumo, na Tabela 3.1, das diferentes reações bioquímicas e as suas dependências das condições ambientais.

3.2 Remoção de matéria carbonácea

A descoberta do processo de lodos ativados em 1914, por Locket e Arden, teve como foco inicial a remoção da matéria orgânica nas águas residuárias, de forma a diminuir a demanda oxigenada nos corpos receptores, mantendo uma concentração adequada de oxigênio e preservando a vida aquática.

A matéria orgânica é normalmente composta por uma combinação de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, enxofre e outros elementos químicos de menor importância. Esses átomos são combinados em moléculas complexas, como: proteína, carboidratos, gorduras e óleos. De outra forma, existem alguns compostos sintéticos orgânicos como os surfactantes, poluentes orgânicos prioritários e pesticidas agrícolas (CYBIS, 1992).

Tabela 3.1 - Reações comuns no processo de lodos ativados

Atividade metabólica	Forma de carbono requerido	Doador de elétrons	Reação fornecedora de energia	Aceptor de elétrons	Produtos	Forma de crescimento no lodo ativado
Heterotróficas aeróbias	Carbono orgânico	Carbono orgânico	Oxidação aeróbia de carbono orgânico	O ₂	CO ₂ + H ₂ O	Formadora do floco e filamentosa
Micróbios fermentativos anaeróbios	Carbono orgânico	Carbono orgânico	Fermentação de carbono orgânico	Carbono orgânico	Componentes moleculares leves e CH ₄ + CO ₂	Formadora do floco
Desnitrificantes	Carbono orgânico	Carbono orgânico	Oxidação anóxica do carbono orgânico	NO ₃ ⁻ e NO ₂ ⁻	N ₂ , CO ₂ , H ₂ O e OH ⁻	Formadora do floco e, raramente, filamentosa
Nitrificantes	Carbono inorgânico	NH ₄ ⁺ e NO ₂ ⁻	Oxidação aeróbia de NH ₄ ⁺ e NO ₂ ⁻	O ₂	NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , H ⁺ e H ₂ O	Fixada no floco
Micróbios sulfato redutores	Carbono orgânico	Carbono orgânico	Oxidação anaeróbia do carbono orgânico	SO ₄ ⁻	S ⁰ e S ²⁻	Formadora do floco
Micróbios oxidantes do enxofre e sulfeto	Carbono inorgânico	S ⁰ e S ²⁻	Oxidação aeróbia de S ⁰ e S ²⁻	O ₂	SO ₄ ⁻	Formadora do floco e freqüentemente filamentosos
Bactéria acumuladora de fosfato (Poli-P)	Carbono Orgânico (produtos armazenados)	Carbono Orgânico (produtos armazenados)	Oxidação aeróbia de produtos armazenados e absorção do fosfato	O ₂	CO ₂ + H ₂ O e fósforo polimerizado	Bloco da célula individual
Bactéria acumuladora de fosfato (Poli-P)	Carbono Orgânico (produtos armazenados)	Carbono Orgânico (produtos armazenados)	Formação anaeróbia de produtos armazenados e liberação do fosfato	Carbono orgânico (composto molecular leve)	Produtos armazenados e PO ₄ ⁻	Bloco da célula individual

(Fonte: WANNER, 1991, modificada)

No meio líquido, a matéria orgânica pode ser considerada como parte em solução, correspondente aos sólidos dissolvidos rapidamente biodegradáveis, e parte em suspensão, relativa aos sólidos suspensos lentamente biodegradáveis. Os sólidos suspensos podem expressar a unidade de massa microbiana, no caso de crescimento disperso, uma vez que a biomassa é constituída de sólidos que se encontram suspensos no reator. Entretanto, nem toda massa de sólido participa da conversão do substrato orgânico, havendo uma fração inorgânica que não desempenha funções em termos do tratamento biológico. Portanto, a biomassa é, também, freqüentemente expressa em termos de sólidos suspensos voláteis. Esses representam a fração orgânica da biomassa, já que a matéria orgânica pode ser convertida em gás por oxidação (von SPERLING, 1997).

Entretanto, nem toda a fração orgânica da biomassa é ativa. Os sólidos suspensos voláteis podem ser divididos em uma fração ativa e uma fração não ativa. A fração ativa é a que tem real participação na remoção do substrato (GRADY & LIM, 1980).

Os sólidos também podem ser interpretados em relação à sua biodegradabilidade. Assim, nem todos sólidos suspensos voláteis são biodegradáveis, havendo uma fração biodegradável e não-biodegradável.

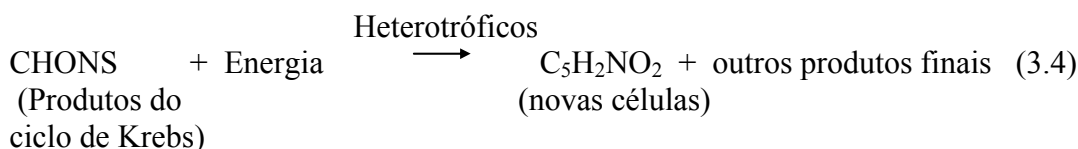
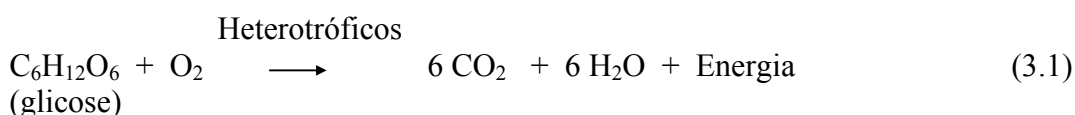
A remoção de matéria carbonácea é possível, sob as três condições ambientais: aeróbia, anóxica e anaeróbia.

Sob condições aeróbias, os microrganismos heterotróficos utilizarão a matéria orgânica presente como fonte de carbono e energia. Nessas condições, a degradação da matéria orgânica segue a rota metabólica: glicólise, ácido pirúvico em acetil-coenzima A e o ciclo de Krebs, com a produção líquida de 38 moléculas de ATP por mol de glicose oxidada (HÄNEL, 1998; HORAN, 1990; GRADY & LIM, 1980).

Em condições anóxicas, a matéria orgânica é utilizada pelas bactérias heterotróficas facultativas em seu metabolismo, porém menos energia é gerada. Isso é ocasionado pelo menor ciclo de descarboxilação do ácido pirúvico, porque os produtos resultantes previamente não ingressam no ciclo de Krebs, sendo portanto formadas somente 26 moléculas de ATP por mol de glicose oxidada (GRADY & LIM, 1980).

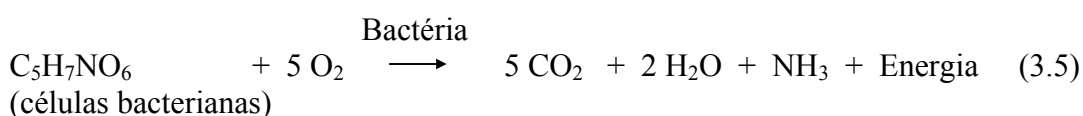
Sob condições anaeróbias, em processo fermentativo, a matéria orgânica é utilizada para energia e síntese com um ganho energético de duas moléculas de ATP por mol de glicose oxidada (HORAN, 1990). Esse processo caracteriza-se pela ausência de um oxidante, resultando em um rearranjo dos elétrons da molécula fermentada de modo a formar no mínimo dois produtos.

No metabolismo dos microrganismos heterotróficos em condições aeróbias, normalmente, utiliza-se a glicose como substrato para ilustrar a seqüência das rotas metabólicas na degradação da matéria orgânica. As equações 3.1 a 3.4 descrevem o metabolismo aeróbio, sob o aspecto energético. A rota metabólica glicólise, ácido pirúvico em acetil-coenzima A e o ciclo de Krebs, juntamente com a cadeia respiratória, oxidam a molécula de glicose, formando dióxido de carbono e água, produtos com baixo valor energético (Equação 3.1). Essa energia é armazenada na forma de ligações químicas, na síntese da molécula de ATP, pelo processo de fosforilação oxidativa (Equação 3.2). Quando a célula necessita de energia é realizada a hidrólise das moléculas de ATP (Equação 3.3), essa energia é utilizada para a síntese de novas células (Equação 3.4) e locomoção:



Postula-se que haja o decaimento do lodo ativado, independentemente dos processos metabólicos, e que parte do lodo ativado decaído seja oxidado para

substância inorgânicas, enquanto o restante permanece como resíduo endógeno. O consumo de oxigênio associado à oxidação do lodo ativado é denominado respiração endógena, isto para diferenciar do consumo de oxigênio associado à oxidação do material biodegradável extracelular, na qual é denominada respiração exógena (VAN HAANDEL & MARAIS, 1999). A Equação 3.5 mostra a estequiometria do processo da respiração endógena (TCHOBANOGLIOUS & BURTON, 1991).



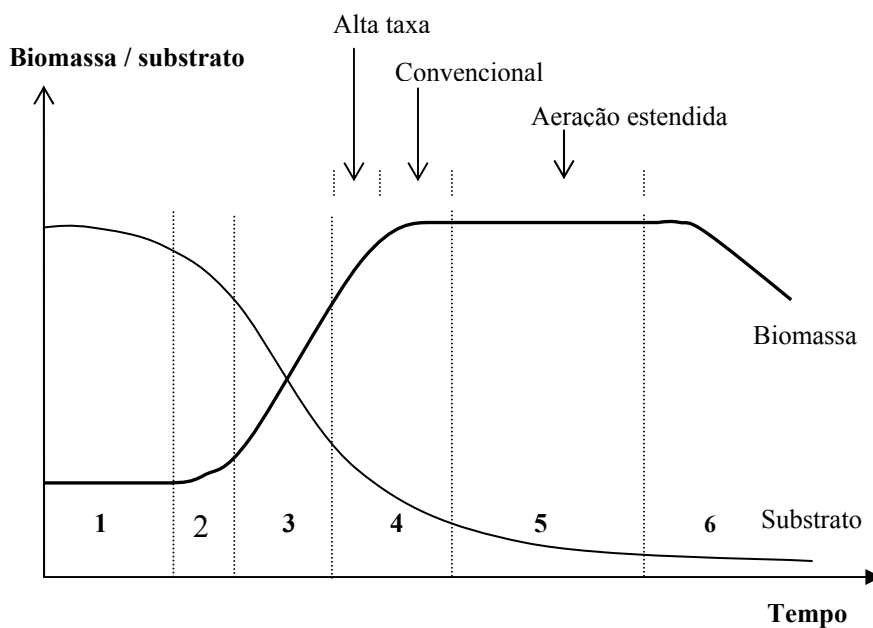
3.2.1 Cinética do crescimento microbiano e da utilização do substrato

A cinética das reações, tradicionalmente, envolve dois processos: o crescimento e o decaimento microbiano, uma vez que o processo estequiométrico associa a utilização do substrato com o crescimento microbiano, esses processos são considerados conjuntamente. O decaimento bacteriano é normalmente definido para explicar todos os fenômenos de redução na biomassa. A combinação dos efeitos desses dois processos simultâneos é visualizada por meio da curva de crescimento de uma pequena quantidade de biomassa viável, cultivada em um reator fechado, inicialmente contendo todos substratos necessários em excesso. A Figura 3.2 ilustra uma curva de crescimento típica, juntamente com o perfil de concentração do substrato remanescente no meio líquido.

Após a etapa de aclimação, na qual ocorre a adaptação dos microrganismos às novas condições ambientais, esses começam a crescer durante a fase de aceleração. Durante a próxima fase, denominada exponencial, a taxa de crescimento atinge o nível constante máximo. Um gradual decréscimo na concentração de substrato e o acúmulo de produtos metabólicos, de natureza inibitória, reduzem a taxa de crescimento dos microrganismos durante a fase de desaceleração. Quando uma relativa quantidade do metabolismo endógeno aumenta e equilibra a taxa de síntese celular, os microrganismos atingem a fase estacionária. No final, durante a fase endógena, o decaimento microbiano é dominante devido a depleção do substrato

disponível, após um longo período de tempo, a curva de crescimento reduz a zero, após a completa perda de viabilidade (ORHON & ARTAN, 1990).

Uma vez que o principal objetivo do tratamento biológico das águas residuárias é obter a mais alta eficiência de remoção do substrato, os reatores são operados com baixas concentrações de matéria orgânica. Portanto, a fase exponencial, na qual são mantidas altas concentrações de matéria orgânica, não é normalmente aplicada. A maioria dos reatores de lodos ativados opera com os processos convencional e aeração estendida, sendo associados com as fases de desaceleração e estacionária, onde a taxa de crescimento varia em função do substrato no reator (ORHON & ARTAN, 1990; WEF, 1992).



- 1 – Fase de aclimatação ou LAG
- 2 – Fase de aceleração
- 3 – Fase de crescimento exponencial ou logarítmico
- 4 – Fase de desaceleração
- 5 – Fase estacionária
- 6 – Fase endógena

Figura 3.2 - Curva de crescimento bacteriano e absorção de substrato.

(Fonte: ORHON & ARTAN, 1990)

As fases exponencial e endógena, na curva de crescimento, compõem uma forte relação matemática na qual subsidia a representação da remoção do substrato (GAUDY & GAUDY, 1988). Na Figura 3.2, observa-se o incremento na taxa de

crescimento dos microrganismos (dX/dt), da fase de aclimação para a fase exponencial, que se mantém constante até o ponto de inflexão, decrescendo até a fase estacionária, quando dX/dt iguala a zero. Na fase exponencial, a taxa de crescimento microbiana pode ser expressa matematicamente pela equação de primeira ordem, mostrada na Equação 3.6:

$$dX / dt = \mu \cdot X \quad (3.6)$$

Onde: μ é o coeficiente de crescimento específico; e X é a concentração de bactérias heterotróficas no reator.

A taxa de crescimento específica, em geral, é expressa pela equação empírica de Monod (1949), a qual foi desenvolvida a partir de experimentos com cultura pura de *Escherichia Coli* crescendo em glicose, em reator operado em batelada. A Equação de Monod é dada pela equação hiperbólica, mostrada na Equação 3.7:

$$\mu = \mu_{\text{máx.}} \cdot S / (K_s + S) \quad (3.7)$$

Onde: $\mu_{\text{máx.}}$ é o coeficiente de crescimento específico máximo; K_s é a constante de meia saturação; e S é a concentração do substrato ou nutriente limitante.

O valor de K_s fornece uma indicação da não afinidade dos microrganismos em relação a um dado substrato, assim quanto maior o valor de K_s , menor a taxa de crescimento específico e menor é a afinidade dos microrganismos com o substrato.

A grande vantagem da Equação de Monod reside na sua estrutura, que permite representar, de forma contínua, a faixa de variação entre os extremos de escassez e abundância do substrato no meio, mostrada na Figura 3.3 (von SPERLING, 1997).

Quando a concentração do substrato, no meio, é elevada e ainda não há limitação, a taxa de crescimento específica independe da concentração do substrato, assim a taxa de crescimento específica aproxima-se de uma reação de ordem zero, conforme é mostrado a seguir:

$$S \gg K_s, \text{ substituído na Equação 3.7 } \rightarrow \mu = \mu_{\text{máx}} \quad (3.8)$$

Quando a concentração do substrato, no meio, é baixa, a taxa de crescimento específica passa a ser limitada e dependente do substrato, portanto, a taxa de crescimento específica aproxima-se de uma reação de ordem um, conforme é mostrado a seguir:

$$S \ll K_s, \text{ substituído na Equação 3.7 } \rightarrow \mu = \mu_{\text{máx}} \cdot S / K_s \quad (3.9)$$

Substituindo a Equação 3.7 na Equação 3.6, obtém-se a seguinte expressão para a taxa do crescimento microbiano:

$$dX / dt = \mu_{\text{máx}} \cdot X \cdot S / (K_s + S) \quad (3.10)$$

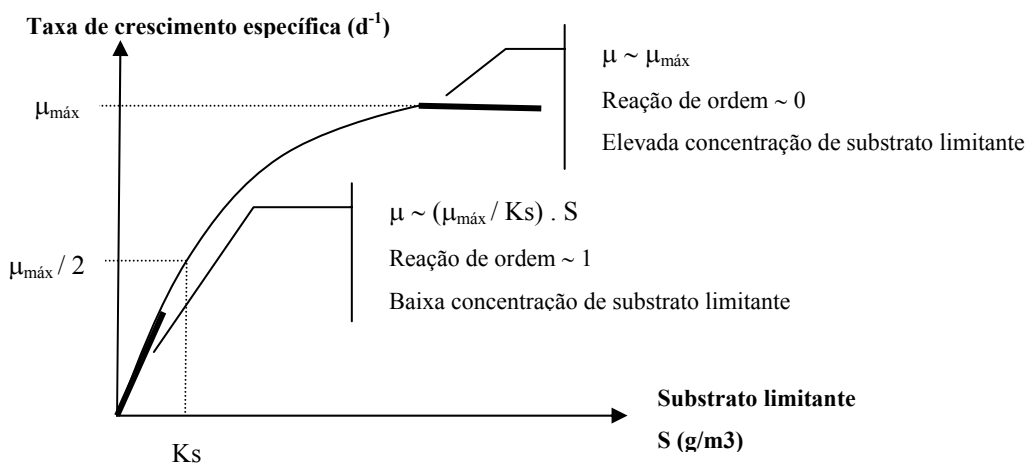


Figura 3.3 - Condições extremas na Equação de Monod.

(Fonte: von SPERLING, 1997)

O coeficiente de produção celular (Y) é definido na fase exponencial, como a razão da taxa variacional da concentração de microrganismos pela taxa variacional

do substrato, expresso em (mg VSS/mg COD) ou (mg VSS/mg DBO), conforme a Equação 3.11:

$$Y = - (dX / dt) / (dS / dt) \quad (3.11)$$

A taxa de utilização de substrato pode ser expressa pela substituição da Equação 3.11 na Equação 3.10, como:

$$dS / dt = - (\mu_{\text{máx}} / Y) . X . S / (K_s + S) \quad (3.12)$$

GRADY & LIM (1980) observaram que o coeficiente de produção celular, descrito na Equação 3.11, não é uma constante e sofre variação. Essa variação foi atribuída aos múltiplos substratos utilizados por uma mistura de culturas de microrganismos, em que na maioria do tempo, pode estar na fase: de aclimatação, estacionária ou mesmo endógena. Assim, o coeficiente de produção celular deve ser substituído pelo coeficiente de produção celular verdadeiro (Y_T), que representa o máximo coeficiente de produção celular teórico quando a energia requerida para manutenção é zero.

Na fase endógena, a taxa de decaimento bacteriano pode ser expressa matematicamente pela equação de primeira ordem, mostrado na Equação 3.13 (ORHON & ARTAN, 1990):

$$dX / dt = - K_d . X \quad (3.13)$$

Onde: K_d é o coeficiente de respiração endógena; e X é a concentração de bactérias heterotróficas ativas no reator.

A taxa de crescimento bacteriana líquida é obtida da soma das Equações 3.6 e 3.13 ou Equações 3.10 e 3.13, mostradas nas Equações 3.14 e 3.15:

$$dX / dt = \mu \cdot X - K_d \cdot X \quad (3.14)$$

ou

$$dX / dt = \mu_{\text{máx}} \cdot X \cdot S / (K_s + S) - K_d \cdot X \quad (3.15)$$

A taxa de remoção do substrato líquida mostrada na Equação 3.16 e 3.17, é obtida da Equação 3.12, com o coeficiente de produção celular verdadeiro (Y_T):

$$dS / dt = - (\mu_{\text{máx}} / Y_T) \cdot S \cdot X / (K_s + S) \quad (3.16)$$

ou

$$dS / dt = - (\mu / Y_T) \cdot X \quad (3.17)$$

Para a aplicação das Equações 3.14 a 3.17, em simulações e projeto dos processos de lodos ativados, fazem-se necessárias as determinações experimentais dos parâmetros cinéticos: $\mu_{\text{máx}}$, K_s , Y_T , e K_d . Esses parâmetros podem ser obtidos a partir de métodos aplicados em experimentos de bancada ou plantas pilotos (GRADY & LIM, 1980). A Tabela 3.2 apresenta os parâmetros cinéticos e estequiométricos típicos, para sistemas aeróbios com cultura mista.

MARAIS & EKAMA (1976) esclareceram que a Equação de Monod não se aplica em sistemas que não alcançam o estado estacionário, tendo a sua aplicação restrita aos sistemas contínuos, em estado estacionário.

SANTOS (2005) estudou o comportamento do RSB sob estado estacionário dinâmico, utilizando a idade do lodo como parâmetro de controle operacional. No desenvolvimento foram utilizadas equações diferenciais do crescimento da biomassa,

do decaimento endógeno e do descarte do lodo, em detrimento a aplicação da equação de Monod, possibilitando também a inclusão do tempo de reação.

Tabela 3.2 - Parâmetros cinéticos e estequiométricos típicos para sistemas aeróbios com cultura mista

Parâmetro Cinético	Unidade	Valores
$\mu_{\text{máx}}$	d^{-1}	2,3 a 13,2
K_S	(mg DQO)/L	10,0 a 70,0
	(mg DBO)/L	25,0 a 120,0
Y_T	(mg SSV / mg DQO)	0,25 a 0,70
	(mg SSV / mg DBO)	0,04 a 0,8
K_d	d^{-1}	0,025 a 0,12

(Fonte: ALLEMAN, 1978; BARNES & BLISS, 1983; GRADY & LIM, 1980; HORAN 1990; TCHOBANOGLIOUS & BURTON, 1991; USEPA, 1993; von SPERLING, 1997)

3.2.2 Fatores ambientais que afetam a remoção de carbono

Vários fatores ambientais podem afetar a oxidação do carbono orgânico pelas bactérias heterotróficas, tais como: a temperatura, a concentração de oxigênio dissolvido, o pH, o potencial de oxirredução, os nutrientes, os elementos traços e as concentrações de substâncias tóxicas (VAN HAANDEL & MARAIS, 1999). Esses fatores ambientais são descritos a seguir.

O efeito da temperatura sobre os lipídios, um dos componentes estruturais da membrana citoplasmática, ocorre essencialmente sobre os mecanismos de paralisação no crescimento para baixas temperaturas e a morte para as altas temperaturas. Nas proteínas que constituem as enzimas e nas reações de crescimento celular, o efeito térmico é irreversível quando ocorre o desarranjo espacial da molécula, descaracterizando a sua especificidade ao substrato (GAUDY & GAUDY, 1988). A maioria dos processos de lodos ativados, normalmente, opera na faixa mesofílica entre 12 e 25°C. O efeito da temperatura sobre as taxa de reações pode ser definida pela Equação 3.18.

$$K_T = K_{20} \cdot \theta^{(T-20)} \quad (3.18)$$

Onde: K_T e K_{20} são as taxas de reação para as temperaturas de T ($^{\circ}\text{C}$) e 20°C , respectivamente; T é a temperatura do licor misto em $^{\circ}\text{C}$ e θ é o coeficiente empírico de temperatura.

Observa-se que o valor de K_T aumenta exponencialmente com a temperatura, sendo aplicável na faixa de temperatura de 4 a 31°C . Para temperaturas do licor misto entre 31 e 39°C , o valor de K_T é, aproximadamente, constante e declina para temperaturas elevadas (ECKENFELDER & GRAU, 1992).

A concentração de oxigênio tipicamente mantida no processo de lodo ativado, para oxidação carbonácea é de 1 a 2 mg/L, devendo proporcionar condições aeróbias no interior do floco, contudo a concentração de supersaturação do oxigênio dissolvido pode ser tóxica aos microrganismos aeróbios (CASEY, 1993). TCHOBANOGLOUS & BURTON (1991) recomendaram que os sistemas de aeração devem ser adequados, de forma a satisfazer a demanda bioquímica de oxigênio orgânica e nitrogenada do esgoto, a respiração endógena dos microrganismos, a mistura do licor misto e a concentração de oxigênio, mencionada anteriormente.

O processo de lodo ativado opera efetivamente na faixa de pH de 6,5 a 8,5, sendo a atividade microbiana inibida para pH acima de 9; e para pH menor que 6,5 os fungos predominam sobre as bactérias na competição pelo substrato (ECKENFELDER & GRAU, 1992).

O nitrogênio e o fósforo são nutrientes importantes no crescimento ótimo dos microrganismos, estando presentes em abundância nos esgotos domésticos. Considerando que, os nutrientes presentes no esgoto estejam numa forma disponível para as bactérias, o crescimento ótimo relativo a quantidade de carbono, pode ser expresso como DBO, N e P, nas proporções 100:4,3 a 5,6:0,9 a 1,2 para lodo ativado convencional, e nas proporções 100:2,6 a 3,2:0,5 a 0,6 para lodo ativado com aeração prolongada (GRADY & LIM, 1980). Além desses nutrientes principais, existe a necessidade de outros nutrientes em menores concentrações, como: enxofre, ferro, cálcio, magnésio, potássio, manganês, cobre, zinco e molibdênio.

ECKENFELDER & GRAU (1992) relataram que o potencial de oxirredução, em condições aeróbias, varia de 50 a 200 mV durante a oxidação do carbono orgânico.

Algumas substâncias tóxicas, como metais pesados e alguns componentes orgânicos, podem atuar com efeitos tóxicos ou inibitórios sobre a comunidade dos microrganismos, caso estejam presentes em concentrações acima de determinados limiares (TCHOBANOGLIOUS & BURTON, 1991).

3.3 Remoção de nitrogênio

O nitrogênio é essencial para a síntese das proteínas, sendo de fundamental importância caracterizar a sua concentração no tratamento das águas residuárias domésticas e industriais nos processos biológicos.

A caracterização da concentração do nitrogênio também é fundamental no controle da eutrofização dos corpos receptores de água, podendo ser conveniente a sua eliminação ou a sua redução nas águas residuárias dos efluentes das estações de tratamento.

O nitrogênio orgânico, presente nas águas residuárias domésticas, podem ser transformados em nitrogênio-amoniaco pela ação de microrganismos facultativos fermentativos, pela decomposição de material protéico e da hidrólise da uréia pela enzima urease, no processo denominado amonificação (USEPA, 1993; CALLADO & FORESTI, 2001).

Em condições aeróbias, as bactérias nitrificantes podem oxidar o nitrogênio-amoniaco em nitrogênio-nitrito e nitrogênio-nitrato. A predominância de nitrogênio-nitrato indica que a água residuária está estabilizada em relação à demanda química de oxigênio. O nitrogênio-nitrato pode ser utilizado pelas algas e plantas aquáticas, para síntese de proteínas vegetais, que por sua vez podem ser utilizadas por animais, para síntese de proteínas animais. A morte e a decomposição por bactérias das proteínas animais e vegetais produzem, novamente, o nitrogênio-amoniaco. Como o nitrogênio-nitrato pode ser reutilizado pelas algas e plantas para formar proteínas, pode ser necessário eliminar ou reduzir a concentração de nitrogênio presente, para evitar esses crescimentos.

Existem várias configurações de reatores utilizadas na remoção biológica de nitrogênio, porém o processo pode ser dividido em duas etapas: na primeira etapa, o

nitrogênio-amoniaco é oxidado para nitrato - nitrificação; e na segunda etapa, o nitrato é empregado como aceptor de elétrons na respiração biológica, sendo reduzido a nitrogênio molecular - desnitrificação (RANDALL *et al.*, 1992; SLIEKERS *et al.*, 2002). A Figura 3.4 mostra as transformações do nitrogênio nos processos de tratamento biológico. Esses processos de remoção biológica do nitrogênio em reatores são expostos mais detalhadamente, nos itens a seguir.

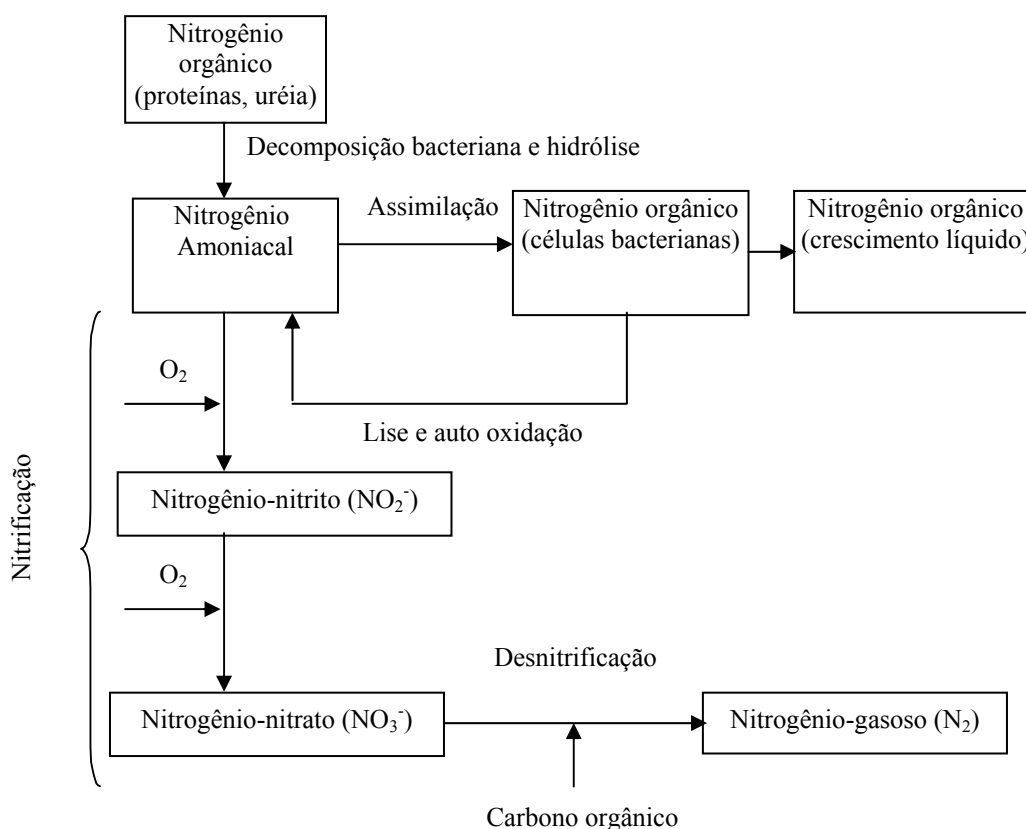


Figura 3.4 - Transformação do nitrogênio no processo de tratamento biológico.

(Fonte: SEDLAK, 1991)

3.3.1 Nitrificação

A nitrificação é definida como a oxidação biológica do nitrogênio-amoniaco em nitrogênio-nitrato, com a formação de nitrogênio-nitrito como um intermediário, sob condições aeróbias. Esse processo é realizado, respectivamente, pela atividade de

duas espécies de bactérias quimioautotróficas: a *Nitrosomona* e a *Nitrobacter* (USEPA, 1993).

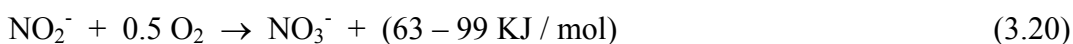
Essas bactérias realizam rotas metabólicas separadas para a incorporação do carbono e a geração de energia. A incorporação do carbono é realizada por meio do ciclo de Calvin, no qual o dióxido de carbono é utilizado como única fonte de carbono. Neste caso, a rota de Krebs é responsável pela formação de produtos intermediários necessários a síntese de novas células, mas de maneira diferente a rota de Krebs não gera energia para as bactérias nitrificantes, devido a uma pequena alteração que impede a rota ser operada de forma cíclica. A falta da enzima responsável pela oxidação do ácido α -cetoglutárico é a causa da interrupção da operação cíclica (GRADY & LIM, 1980).

As necessidades energéticas das bactérias nitrificantes são obtidas pela oxidação do nitrogênio-amoniaco para nitrogênio-nitrito ou nitrogênio-nitrato. Nota-se, que a matéria orgânica não é requerida para o crescimento das bactérias autotróficas.

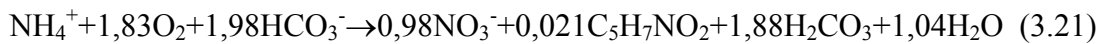
A primeira etapa da nitrificação, mostrada na Equação 3.19, retrata a oxidação do nitrogênio amoniaco em nitrogênio-nitrito, pelas bactérias do gênero *Nitrosomonas* (USEPA, 1993):



A segunda etapa, mostrada na Equação 3.20, retrata a oxidação do nitrogênio-nitrito em nitrogênio-nitrato, pelas bactérias do gênero *Nitrobacter* (USEPA, 1993):



Sob condições estacionárias, essas duas reações estarão em equilíbrio. A reação geral da nitrificação, baseada em observações experimentais, é mostrada na Equação 3.1 (USEPA, 1993):



Da Equação 3.21 pode-se inferir algumas observações significativas para os projetos de sistemas nitrificantes (USEPA, 1993).

A quantidade de oxigênio necessário para oxidar o nitrogênio-amoniaco é de 4,57 mg O₂/L para 1 mg/L de NH₄⁺-N oxidado.

A alcalinidade é consumida na reação para neutralizar os ácidos produzidos e requerida para a síntese de biomassa, pois o nitrogênio-amoniaco é uma base, enquanto o nitrogênio-nitrato é um ácido. A alcalinidade requerida é de 7,14 mg/L de alcalinidade como CaCO₃ para 1 mg/L de NH₄⁺-N oxidado.

Os valores de produção de biomassa, para bactérias nitrificantes, são tipicamente baixos. O valor de produção da biomassa para as bactérias nitrificantes (*Nitrosomonas* e *Nitrobacter*) é de 0,03 a 0,13 mg de bactérias como sólidos suspensos voláteis por mg de nitrogênio-amoniaco oxidado.

3.3.2 Cinética da nitrificação

A taxa de crescimento líquida das bactérias *Nitrosomonas* é mostrada na Equação 3.22 e 3.23:

$$dX_n / dt = \mu_n \cdot X_n - K_{d,n} \cdot X_n \quad (3.22)$$

ou

$$dX_n / dt = \mu_{máx,n} \cdot X_n \cdot S_n / (K_{s,n} + S_n) - K_{d,n} \cdot X_n \quad (3.23)$$

Onde: μ_n é o coeficiente de crescimento específico das bactérias *Nitrosomonas*; X_n é a concentração das bactérias *Nitrosomonas* no reator; $K_{d,n}$ é o coeficiente de

respiração endógena para as bactérias *Nitrosomonas*; e S_n é a concentração do substrato ou nutriente limitante, para as bactérias *Nitrosomonas*.

A taxa de remoção líquida do nitrogênio amoniacal é mostrada na Equação 3.24 e 3.25:

$$dS_n / dt = - (\mu_n / Y_{T,n}) \cdot X_n \quad (3.24)$$

ou

$$dS_n / dt = - (\mu_{máx,n} / Y_{T,n}) \cdot X_n \cdot S_n / (K_{s,n} + S_n) \quad (3.25)$$

Onde: $Y_{T,n}$ é o coeficiente de produção celular verdadeiro, para as bactérias *Nitrosomonas*.

A Tabela 3.3 apresenta alguns parâmetros cinéticos e estequiométricos para as bactérias nitrificantes.

Tabela 3.3 - Parâmetros cinéticos e estequiométricos típicos para bactérias nitrificantes

Parâmetro Cinético	Unidade	<i>Nitrosomonas</i>	<i>Nitrobacter</i>
$\mu_{máx}$	d^{-1}	0,3 a 2,2	0,14 a 1,44
K_s	(mg NH_4^+ -N)/L ou (mg NO_2^- -N)/L	0,06 a 5,6	0,06 a 8,4
Y_T	(mg SSV/mg NH_4^+ -N) ou (mg SSV/mg NO_2^- -N)	0,03 a 0,13	0,02 a 0,08
K_d	d^{-1}	0,00 a 0,12	0,03 a 0,13

(Fonte: ALLEMAN, 1978; BARNES & BLISS, 1983; GRADY & LIM, 1980; HORAN 1990; TCHOBANOGLOUS & BURTON, 1991; USEPA, 1993; von SPERLING, 1997; VAN HAANDEL & MARAIS, 1999)

3.3.3 Fatores ambientais que afetam a nitrificação

Os fatores ambientais interferem no processo de nitrificação de forma mais significativa, quando comparado com o processo de oxidação do carbono pelas

bactérias heteotróficas. Isso ocorre em função dos seus baixos valores de crescimento específico e coeficiente de produção celular, implicando em baixos valores no crescimento da biomassa nitrificante e um tempo maior de duplicação. Convém salientar que o fato do coeficiente de produção celular das *Nitrosomonas* ser, geralmente, maior que os das *Nitrobacters* reflete na relação da energia produzida, para ambos os gêneros (ALLEMAN, 1978).

Dentre os principais fatores ambientais que interferem na nitrificação, têm-se: a temperatura, a concentração de oxigênio dissolvido, o pH, a concentração de inibidores e o potencial de oxirredução (SEDLAK, 1991; RANDALL *et al.*, 1992; USEPA, 1993). Esses fatores são descritos a seguir.

O processo de nitrificação ocorre em uma faixa aproximada de 4°C a 45°C, com valores ótimos aproximado de 35°C para as *Nitrosomonas*, e de 35°C a 42°C para as *Nitrobacters* (USEPA, 1993). O estudo de HEAD & OLESZKIEWICZ (2004) determinou o impacto no decréscimo repentino da temperatura na taxa de nitrificação, obtendo decréscimos médios de 58%, 71% e 82% para a biomassa resfriada à 10°C, quando a biomassa foi aclimatada à 20°C, 25°C e 30°C.

A temperatura interfere significativamente sobre a taxa de crescimento e o coeficiente de meia saturação das bactérias nitrificante, conforme a expressão de Arrhenius (GRADY & LIM, 1980; SEDLAK, 1991):

$$\mu_{\text{máx},T} = \mu_{\text{máx},15^{\circ}\text{C}} \cdot e^{K \cdot (T-15)} \quad (3.26)$$

Onde: $\mu_{\text{máx},T}$ é o coeficiente específico de crescimento máximo para a temperatura T (°C); $\mu_{\text{máx},15^{\circ}\text{C}}$ é o coeficiente específico de crescimento máximo para uma temperatura de 15°C; para as *Nitrosomonas* o valor de K varia de 0,095 a 0,12 (°C)⁻¹, enquanto para as *Nitrobacter* o valor de K varia de 0,056 a 0,069 (°C)⁻¹.

BARNES & BLISS (1983) propuseram as seguintes equações para representar o efeito da temperatura sobre o coeficiente de meia saturação (Ks):

$$K_{S,T} = 0,405 \cdot e^{0,118 \cdot (T-15)} \quad \text{para as } \textit{Nitrosomonas} \quad (3.27)$$

$$K_{S,T} = 0,625 \cdot e^{0,146 \cdot (T-15)} \quad \text{para as } \textit{Nitrobacter} \quad (3.28)$$

O oxigênio dissolvido é primordial para a ocorrência da nitrificação. A concentração de oxigênio tem sido considerada como um substrato limitante, juntamente com a concentração de nitrogênio-amoniaco no processo de nitrificação. A USEPA (1993) recomendou a concentração mínima de oxigênio dissolvido de 2,0 mg/L, de forma a evitar os picos de amônia afluente e garantir o seu acesso ao interior do floco.

O pH do licor misto tem importante efeito sobre a taxa de nitrificação, sendo recomendado na faixa ótima de 6,0 a 7,5, dependendo da formação de amônia livre e do ácido nitroso livre (ANTHONISEN *et al.*, 1976). Com o pH abaixo de 8,0, a velocidade de nitrificação diminui, sendo completamente inibida para o pH abaixo de 5,0, mesmo que as bactérias nitrificantes tenham sido aclimatadas para valores de pH ligeiramente inferiores a 5,0 (USEPA, 1993). GRUNDITZ & DALHAMMAR (2001) mencionaram que o pH ótimo para as bactérias *Nitrosomonas* foi de 8,1 e para as *Nitrobacter* de 7,9, mostrando que os valores do pH menores que 7,0 ou maiores que 9,0 inibem as atividades dessas bactérias.

O equilíbrio do pH, na faixa de 5,0 a 8,0, é regido pela alcalinidade e pelo dióxido de carbono presentes no sistema. Assim, altos valores de pH podem ser mantidos com níveis de alcalinidade baixos, desde que o dióxido de carbono seja volatilizado. Nos casos em que a volatilização do dióxido de carbono não ocorre, como em sistemas fechados, a alcalinidade no afluente deve ser dez vezes maior que a quantidade de nitrogênio amoniaco nitrificado, para manter o pH maior que 6,0, lembrando que a taxa de alcalinidade teórica consumida de 7,10 mg CaCO₃ / mg NH₄⁺-N é, geralmente, o valor máximo em reatores abertos que usam ar atmosférico como fonte de oxigênio (USEPA, 1993). Para evitar a atenuação no valor do pH, a operação do reator deverá proporcionar uma alcalinidade residual mínima de 50 mg CaCO₃/L nos sistemas aerados abertos (WEF, 1992).

As bactérias nitrificantes, principalmente as *Nitrosomonas*, são sensíveis a uma faixa de substâncias inibidoras orgânicas e inorgânicas em ocasião de cargas de choque acidentais, porém essas bactérias podem adaptar-se a algumas substâncias inibidoras quando presentes nas águas residuárias. SEDLAK (1991), RANDALL *et al.* (1992) e a USEPA (1993) apresentaram listas incluindo vários compostos tóxicos e inibidores, para as bactérias nitrificantes. A inibição pode ocorrer pela interferência no metabolismo geral da célula ou nas reações oxidativas primárias. Algumas formas de nitrogênio causam inibições nas bactérias nitrificantes, quando presentes acima de determinadas concentrações, tais como: a amônia não ionizada, a amônia livre, o ácido nitroso e o ácido nitroso livre (USEPA, 1993).

A amônia livre começa a inibir as *Nitrosomonas* em concentrações de 10,0 a 150,0 mg/L e as *Nitrobacter* na faixa de 0,1 a 1,0 mg/L. O ácido nitroso livre começa a inibir as *Nitrosomonas* e as *Nitrobacter* na faixa de 0,22 a 2,8 mg/L. Na aplicação destas concentrações deve-se considerar que as concentrações de amônia livre e o ácido nitroso livre estão correlacionados com o pH, a temperatura e as respectivas concentrações de amônias, íon amônio, nitrito e ácido nitroso. Para a temperatura de 20°C e pH menores que 8,0, existe a predominância de nitrogênio na forma ionizada (NH_4^+); para pH = 9,5 há aproximadamente 50% de NH_4^+ e 50% de NH_3 e para pH maiores que 11 há predominância de nitrogênio na forma de NH_3 (USEPA, 1993).

ECKENFELDER & GRAU (1992) relataram que o potencial de oxirredução, em condições aeróbias, varia de 50 a 250 mV durante a nitrificação. WANNER (1991) citou que a faixa ótima do potencial de oxirredução para a nitrificação é de 100 a 300 mV. PENG *et al.* (2004) concluíram que o valor adequado do potencial de oxirredução, como indicador do final do período aeróbio com nitrificação, é de 400,0 mV.

3.4 Desnitrificação

A redução do nitrato por meio de processos biológicos, pode ser realizada de duas formas: a redução assimilativa do nitrato e a redução dissimilativa do nitrato. A redução assimilativa do nitrato, a catalização é feita pela enzima redutase nitrato,

convertendo nitrato em amônia, seguindo a rota metabólica inversa da nitrificação, a amônia resultante é usada na síntese de novas estruturas celulares. Na redução dissimilativa do nitrato, também denominada desnitrificação, as formas mais oxidadas do nitrogênio, nitrito e nitrato são convertidas em formas mais reduzidas de nitrogênio, tais como: o nitrogênio molecular (N_2), o óxido nitroso (N_2O) e o óxido nítrico (NO) (GRADY & LIM, 1980).

A remoção de nitrogênio pela desnitrificação é resultado das reações redutivas para obtenção de energia de compostos orgânicos em condições anóxicas, sendo realizada por uma variedade de bactérias heterotróficas facultativas, tendo os nitritos e os nitratos como aceptores finais de elétrons. Essas mesmas bactérias são capazes de realizarem a oxidação do carbono orgânico, sob condições aeróbias. A rota metabólica utilizada para as respirações aeróbias e anóxicas são semelhantes, diferenciando nas enzimas, que catalizam a transferência final dos elétrons e suas posições, na cadeia transportadora de elétrons (GRADY & LIM, 1980; SEDLAK, 1991).

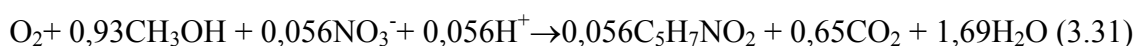
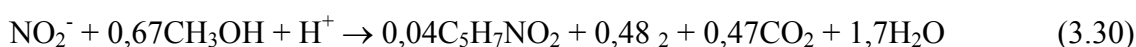
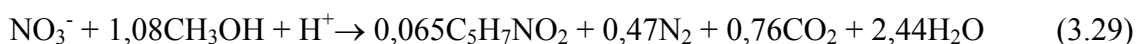
A desnitrificação, como um processo redutivo, necessita de fonte doadora de elétrons, entre as diferentes fontes doadoras de elétrons têm sido usadas: a própria água residuária, as externas, os produtos endógenos e de reserva (SEDLAK, 1991).

As águas residuárias afluentes, quando utilizadas como fonte externa de carbono, apresentaram a taxa de desnitrificação aproximadamente três vezes menor comparada com a taxa de desnitrificação, utilizando fonte externa de carbono (ISAACS & HENZE, 1995).

A desnitrificação resultante do metabolismo endógeno da biomassa, que ocorre quando o lodo ativado é subalimentado, é alcançada por meio de um tanque de aeração prolongada simples, com a operação descontínua dos aeradores. Porém, o rendimento global na remoção de nitrogênio por nitrificação e desnitrificação, geralmente, não supera a 70% (USEPA, 1993).

A maioria das fontes de carbono utilizada nos sistemas de lodos ativados é externa, sendo freqüente o uso do metanol, do ácido acético, da acetona e do ácido cítrico (SEDLAK, 1991).

As equações 3.29, 3.30 e 3.31 mostram a formulação estequiométrica do consumo de metanol, pelos microrganismos heterótrofos para a remoção do nitrato, nitrito e a desoxigenação, respectivamente (USEPA, 1993):



Na conversão de massa a Equação 3.29 sugere que 2,47 mg/L de metanol são necessários para reduzir 1,00 mg/L de nitrogênio-nitrato e produzir 0,525 mg/L de novas células. A Equação 3.30 apresenta a necessidade de 1,53 g/L de metanol para produzir 0,322 mg/L de novas células, para cada mg/L de nitrito reduzido.

As equações, a seguir, mostram o consumo do metanol e da biomassa heterótrofica produzida, em função das concentrações de nitrogênio-nitrato, nitrogênio-nitrito e oxigênio dissolvido:

$$C_{\text{metanol}} = 2,47 \cdot [\text{NO}_3^-] + 1,53 \cdot [\text{NO}_2^-] + 0,87 \cdot [\text{OD}] \quad (3.32)$$

$$C_{\text{Biomassa}} = 0,53 \cdot [\text{NO}_3^-] + 0,32 \cdot [\text{NO}_2^-] + 0,19 \cdot [\text{OD}] \quad (3.33)$$

Onde: $[\text{NO}_3^-]$ é a concentração de nitrogênio-nitrato; $[\text{NO}_2^-]$ é a concentração de nitrogênio-nitrito e $[\text{OD}]$ é a concentração de oxigênio dissolvido, considerada no início da desnitrificação.

Durante o processo de desnitrificação a alcalinidade é produzida e os ácidos carbônicos são reduzidos. A estequiometria teórica da alcalinidade produzida é de 3,57mg de alcalinidade como CaCO₃ por mg nitrogênio-nitrato reduzido a nitrogênio gasoso (USEPA, 1993). CALLADO & FORESTI (2001) obtiveram dos resultados experimentais, a alcalinidade produzida de 4,28 mg de alcalinidade como CaCO₃ por mg nitrogênio reduzido, sem a utilização de fonte externa de carbono.

3.4.1 Cinética da desnitrificação

A expressão das taxas de crescimento da biomassa e de consumo do substrato para as bactérias desnitrificantes são semelhantes as taxas das equações para a remoção carbonácea e para a nitrificação. A diferença principal incide sobre o coeficiente de crescimento específico (μ_d) para a biomassa desnitrificante, que utiliza a Equação de Monod com duplo substrato limitante, neste caso: a concentração da matéria orgânica (S), o nitrogênio-nitrato e o acceptor final de elétrons. A Equação 3.34 expressa a taxa de crescimento específico da biomassa desnitrificante, sob duplo substratos limitantes:

$$\mu_d = \mu_{m\acute{a}x,d} \cdot [S_d / (K_{s,d} - S_d)] \cdot [NO_3^- / (K_{NO_3^-} - NO_3^-)] \quad (3.34)$$

Onde: $\mu_{m\acute{a}x,d}$ é o coeficiente de crescimento específico máximo; S_d é a concentração da matéria orgânica; $K_{s,d}$ é a constante de meia saturação; e $K_{NO_3^-}$ é a constante de meia saturação.

A taxa de crescimento líquida das bactérias desnitrificantes é mostrada nas Equações 3.35 e 3.36.

$$dX_d / dt = \mu_d \cdot X_d - K_{d,d} \cdot X_d \quad (3.35)$$

ou

$$dX_d / dt = \mu_{\text{máx,d}} [S_d / (K_{s,d} - S_d)] \cdot [\text{NO}_3^- / (K_{\text{NO}_3^-} - \text{NO}_3^-)] - K_{d,d} \cdot X_d \quad (3.36)$$

Onde: μ_d é o coeficiente de crescimento específico; X_d é a concentração das bactérias desnitrificantes no reator; e $K_{d,d}$ é o coeficiente de respiração endógena.

A taxa de remoção líquida de nitrogênio-nitrato é mostrada nas Equações 3.37 e 3.38.

$$dS_d / dt = - (\mu_d / Y_{T,d}) \cdot X_d \quad (3.37)$$

ou

$$dS_d / dt = - [\mu_{\text{máx,d}} / Y_{T,d}] \cdot [S_d / (K_{s,d} - S_d)] \cdot [\text{NO}_3^- / (K_{\text{NO}_3^-} - \text{NO}_3^-)] \quad (3.38)$$

Onde: $Y_{T,d}$ é o coeficiente de produção celular verdadeiro.

A Equação 3.34 pode ser avaliada em duas situações. A primeira ocorre quando $\text{NO}_3^- \gg K_{\text{NO}_3^-}$, indicando que a taxa de crescimento não depende da concentração de nitrogênio-nitrato, pois a reação é de ordem zero em relação ao nitrogênio-nitrato. A segunda ocorre em relação ao valor de $K_{s,d}$ para a matéria carbonácea, que depende fundamentalmente do tipo de carbono orgânico, na qual é função do sistema de desnitrificação adotado e das características do processo, como da idade do lodo. Com essa faixa de variação, torna-se pouco prático expressar a taxa de remoção de nitrogênio-nitrato em termos da taxa de crescimento específica dos microrganismos desnitrificantes, em função da cinética de Monod. Uma das maneiras simplificadas de expressar a taxa de remoção de nitrogênio-nitrato (q_D) é por meio da relação com os sólidos suspensos voláteis no reator, mostrada na Equação 3.39 (RANDALL *et al.*, 1992; USEPA, 1993):

$$q_D = \mu_d / Y_{T,d} \quad (3.39)$$

A taxa de remoção de nitrogênio-nitrato diminui com o aumento da idade do lodo e a conseqüente redução da relação A/M, conforme Equações 3.40 (com zona anóxica a montante da zona aerada) e 3.41 (com zona anóxica a jusante da zona aerada):

$$q_D = 0,03 \cdot (A/M)_{\text{anóxico}} + 0,029 \quad (3.40)$$

Onde: $(A/M)_{\text{anóxico}}$ é a relação alimento/microrganismo, no reação anóxica.

$$q_D = 0,12 \cdot \theta_c^{-0,706} \quad (3.41)$$

Onde: θ_c é a idade do lodo.

Os valores típicos da taxa de remoção de nitrogênio-nitrato (q_D) e a demanda de substrato estão apresentados na Tabela 3.4.

A Tabela 3.5 apresenta a faixa de valores dos parâmetros cinéticos e estequiométricos, no processo de desnitrificação.

Tabela 3.4 - Faixa típica da taxa de desnitrificação específica (q_D) e da demanda de substrato

Doador de elétrons	Posição da zona anóxica	q_D (mg NO ₃ ⁻ -N / mg SSV.d)	Demanda de substrato (mg DBO/ mg NO ₃ ⁻ -N)
Água residuária bruta	Zona anóxica a montante da zona aerada	0,03 a 0,11	1,5 a 6,0
Metabolismo endógeno	Zona anóxica a jusante da zona aerada	0,015 a 0,048	2,0 a 3,5
Metanol	Zona anóxica a jusante da zona aerada	0,12 a 0,90	1,9

(Fonte: HÄNEL, 1988; SEDLAK, 1991; TCHOBANOGLOUS & BURTON, 1991, USEPA, 1993)

Tabela 3.5 - Parâmetros cinéticos e estequiométricos para a desnitrificação

Parâmetro Cinético	Unidade	Substrato	Substrato
		NO ₃ ⁻ -N	Fonte de Carbono
$\mu_{\text{máx}}$	d ⁻¹	0,24 a 0,90	3,10 a 8,00
K _S	(mg NO ₃ ⁻ -N) /L ou (mg DQO) /L	0,06 a 0,20	10 a 72,5
Y _T	(mg SSV/mg NO ₃ ⁻ -N) ou (mg SSV/mg DQO)	0,40 a 0,90	0,18
K _d	d ⁻¹	0,04 a 0,08	0,048

(Fonte: ALLEMAN, 1978; BARNES & BLISS, 1983; GRADY & LIM, 1980; HORAN 1990; TCHOBANOGLOUS & BURTON,1991; RANDALL *et al.*, 1992)

3.4.2 Fatores ambientais que afetam a desnitrificação

Os fatores ambientais, em geral, ocasionam menores impactos nas bactérias desnitrificantes quando comparadas com as bactérias nitrificantes. Dentre esses fatores ambientais destacam-se: o oxigênio dissolvido, a temperatura, o pH e as substâncias tóxicas ou inibidoras (USEPA, 1993). Tais fatores serão discutidos a seguir.

A concentração de oxigênio dissolvido deverá ser zero, para proporcionar as condições ideais no desenvolvimento das bactérias desnitrificantes. Contudo, a desnitrificação poderá ocorrer com baixas concentrações de oxigênio dissolvido no meio líquido, desde que haja condições anóxicas no interior do floco. SEDLAK (1991) mencionou que a concentração máxima de oxigênio de 0,2 mg/L é considerada como concentração de baixo oxigênio dissolvido, sendo a desnitrificação paralizada para concentrações de oxigênio dissolvido maiores que 1,0 mg/L. TCHOBANOGLOUS & BURTON (1991) apresentaram a Equação 3.42 para representar o efeito da inibição pela presença de oxigênio dissolvido:

$$q_{D(OD)} = q_D \cdot (1 - S_{O_2}) \quad (3.42)$$

Onde: q_D é a taxa de remoção de nitrogênio-nitrato; e S_{O_2} é a concentração de oxigênio dissolvido.

A concentração de oxigênio dissolvido influencia a taxa de crescimento específica das bactérias desnitrificantes, mencionada na Equação 3.34, com a inclusão do termo $[K_{O_2} / (K_{O_2} + S_{O_2})]$, que atua como uma função de chaveamento, aproximando de zero se $S_{O_2} \gg K_{O_2}$ e de um se $S_{O_2} \cong 0$ mg/L, conforme a Equação 3.43 (RANDALL *et al.*, 1992; USEPA, 1993):

$$\mu_d = \mu_{\text{máx,d}} \cdot [S_d / (K_{s,d} - S_d)] \cdot [NO_3^- / (K_{NO_3^-} - NO_3^-)] \cdot [K_{O_2} / (K_{O_2} + S_{O_2})] \quad (3.43)$$

Onde: $\mu_{\text{máx,d}}$ é o coeficiente de crescimento específico máximo; S_d é a concentração da matéria orgânica; $K_{s,d}$ é a constante de meia saturação; $K_{NO_3^-}$ é a constante de meia saturação; e K_{O_2} é o coeficiente de saturação do oxigênio.

BARNES & BLISS (1983) citaram que a temperatura ótima para a desnitrificação situa-se na faixa de 35°C a 50°C, podendo ocorrer na faixa ampla de 0°C a 50°C. A temperatura influencia o coeficiente de crescimento específico máximo das bactérias desnitrificantes com a inclusão do termo $\theta^{(T-20)}$, conforme a Equação 3.44 (SEDLAK, 1991; TCHOBANOGLOUS & BURTON, 1991; USEPA, 1993):

$$\mu_{\text{máx,d}}(T^\circ\text{C}) = \mu_{\text{máx,d}}(20^\circ\text{C}) \cdot \theta^{(T-20)} \quad (3.44)$$

Onde: θ é o coeficiente de temperatura, varia de 1,03 a 1,20.

Os valores do pH sofrem variações incrementais durante o processo de desnitrificação devido a recuperação da alcalinidade, podendo atuar como efeito seletivo na biomassa, caso as altas concentrações de nitratos sejam reduzidas (GRADY & LIM, 1980). Existem variadas faixas de valores do pH, ótimo para os microrganismos desnitrificantes citados nas literaturas, sendo a faixa mais ampla encontrada de 6,0 a 8,0 (USEPA, 1993).

As bactérias desnitrificantes são menos sensíveis aos inibidores comparadas com as bactérias nitrificantes. Em geral, a inibição esperada nas bactérias desnitrificantes tem grau similar de impacto aos das bactérias heterotróficas, com respiração aeróbia (USEPA, 1993).

A faixa ótima do potencial de oxirredução para a desnitrificação é de -50,0 mV a 50,0 mV (WANNER, 1991; ECKENFELDER & GRAU, 1992).

AKIN & UGURLU (2005) observaram que o valor adequado do potencial de oxirredução, utilizado como indicador do final do período anóxico foi de -55,0 mV, porém PENG *et al.* (2004) concluíram que esse valor foi de 150,0 mV.

3.4 Reator seqüencial em batelada

O reator seqüencial em batelada é uma das modalidades do processo de lodos ativados, em que períodos distintos ocorrem em um único tanque, sendo denominados: enchimento, reação, sedimentação, esvaziamento e repouso. Assim, a biomassa permanece no reator durante todo o ciclo, eliminando a necessidade de: equalizadores, decantadores fisicamente distintos e elevatórias para recirculação do lodo (USEPA, 1999).

Os fundamentos dos processos unitários do reator seqüencial em batelada e do lodo ativado convencional, são os mesmos. Enquanto no reator seqüencial em batelada os processos ocorrem durante intervalos de tempo distintos, em um único espaço físico; no lodo ativado convencional os processos unitários ocorrem ao mesmo tempo, em espaços físicos distintos. O reator seqüencial em batelada, quando comparado com os processos contínuos, é caracterizado como um processo operacional que requer um alto nível de controle e automação (CHAMBER, 1993).

Embora a primeira aplicação do RSB para tratamento de águas residuárias municipais date do começo do século XX (ARDERN & LOCKETT, 1914), a grande aceitação e aplicações dos reatores seqüenciais em batelada iniciaram na década de setenta. As aplicações têm sido estimuladas pelas disponibilidades de controles microprocessados e aperfeiçoamentos dos equipamentos, dentre esses incluem: os dispositivos atuadores pneumáticos, as válvulas motorizadas, as válvulas solenóides,

os sensores de níveis, os medidores de vazão e os temporizadores automáticos (IRVINE *et al.*, 1983).

Os períodos operacionais típicos do RSB, mostrados na Figura 3.5, serão descritos a seguir (KETCHUM, 1997).

O período de enchimento corresponde ao período de ingresso do afluente a ser tratado no reator. Esse período pode ser estático, misturado ou com aeração, dependendo do objetivo do tratamento. O enchimento estático resulta na economia de energia elétrica consumida e na concentração do substrato. O enchimento com mistura resulta na desnitrificação, caso haja nitratos. O enchimento com a aeração resulta no início dos processos de biodegradação da matéria orgânica, contribuindo para a redução no tempo do ciclo e na manutenção da baixa concentração de substrato, que pode ser importante caso existam compostos tóxicos em altas concentrações.

O período de reação corresponde a predominância das condições: anaeróbias, aeróbias e anóxicas, dependendo dos objetivos do tratamento. A reação anaeróbia com mistura e sem a presença de oxigênio dissolvido ou nitratos, favorece a fermentação, a formação de poli-hidroxitirato e a liberação de ortofosfato para o meio líquido. A reação aeróbia com mistura resulta na oxidação da matéria orgânica e na nitrificação; e a reação anóxica com mistura, somente com a presença de nitratos, resulta no processo de desnitrificação.

O período de sedimentação ocorre após o período de reação, tendo como objetivo a separação física do sólido com o líquido, sob condições tranquilas. Nesse período, não há enchimento no reator seqüencial em batelada, sendo os misturadores e os aeradores desativados.

O período de esvaziamento corresponde a retirada do volume líquido sobrenadante, no reator seqüencial em batelada.

No período de repouso o lodo ativado permanece no reator por uma dada duração de tempo, aguardando o início de um novo ciclo. Durante esse período poderão ser realizados os ajustes nos ciclos seqüentes, e eventualmente ocorre a desnitrificação.

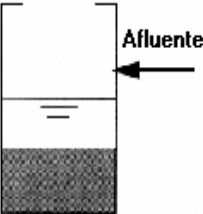
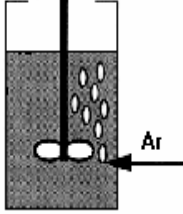
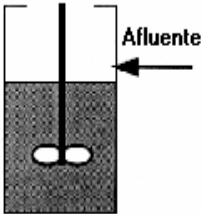
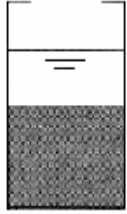
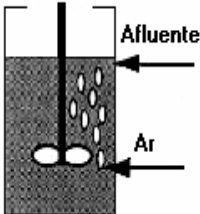
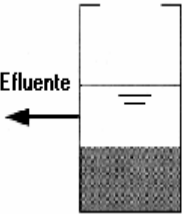
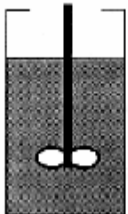
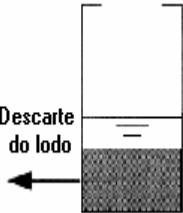
Propósito	Período	Operação	Propósito	Período	Operação
<ul style="list-style-type: none"> • Adicionar o substrato. • Ocorrência mínima das reações. • O acúmulo de substrato é máximo. 	<p>Enchimento estático</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Sem mistura. • Sem aeração. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reações aeróbias. • Oxidação do carbono. • Nitrificação. 	<p>Reação com aeração</p> <p>Misturador</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Com mistura. • Com aeração.
<ul style="list-style-type: none"> • Adicionar substrato e reduzir a duração do ciclo. • Reações anóxicas e/ou anaeróbias. • Desnitrificação a monstane do período aeróbio. 	<p>Enchimento com mistura</p> <p>Misturador</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Com mistura. • Sem aeração. 	<ul style="list-style-type: none"> • Condições tranquilas. • Separação líquido-sólido. 	<p>Sedimentação</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Sem mistura. • Sem aeração
<ul style="list-style-type: none"> • Adicionar o substrato e reduzir a duração do ciclo. • Reações aeróbias. • Oxidação do carbono. • Minimizar o consumo de energia e produção do lodo 	<p>Enchimento com aeração</p> <p>Misturador</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Com mistura. • Com aeração. 	<ul style="list-style-type: none"> • Remoção do efluente líquido 	<p>Esvaziamento</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Sem mistura. • Sem aeração
<ul style="list-style-type: none"> • Reações anóxicas e/ou anaeróbias. • Desnitrificação 	<p>Reação com mistura</p> <p>Misturador</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Com mistura. • Sem aeração. 	<ul style="list-style-type: none"> • Remoção do lodo excedente. • Ajustes operacionais para o ciclo seguinte. 	<p>Repouso</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Sem mistura. • Sem aeração

Figura 3.5 - Esquema operacional típico de um reator sequencial em batelada.

(Fonte: KETCHUN, 1997, modificada)

No final do período de reação ou durante o período de repouso poderá ser realizado o descarte do lodo excedente, visando a manutenção da idade do lodo.

Os parâmetros de projeto e operação do reator seqüencial em batelada, tratando águas residuárias domésticas, como a relação A/M, a idade do lodo, a concentração do SSTLM e os ciclos operacionais são mencionados a seguir (USEPA, 1992).

Os valores recomendados na relação A/M, utilizados nos processos de lodos ativados intermitentes, estão na faixa de 0,05 a 0,50 kg DBO / kg SSTLM.d .

A consideração da idade do lodo é particularmente importante quando se avalia um sistema nas diferentes modalidades. Na modalidade convencional, com o processo de lodo ativado operando sem remoção de nitrogênio, a idade do lodo estaria na faixa de quatro a seis dias. Na modalidade convencional, com remoção de nitrogênio na faixa de oito a dez dias; e na modalidade aeração prolongada, com remoção de nitrogênio na faixa de vinte a vinte cinco dias.

A concentração de sólidos suspensos no licor misto, durante o período de reação, varia na faixa de 1500,0 a 3500,0 mg/L.

A duração e a seqüência dos períodos, no ciclo operacional, dependem das características do afluente no reator seqüencial em batelada e da qualidade do efluente a ser lançado no corpo receptor. A USEPA (1992) recomenda o tempo de duração do ciclo na faixa de quatro a seis horas, para a modalidade convencional e de seis a oito horas para sistemas com remoção de nitrogênio.

3.5 Parâmetros de monitoramento em tempo real

O monitoramento e o controle operacional dos sistemas de lodos ativados têm como principais objetivos: a produção de um efluente final com qualidade, de forma que satisfaça os padrões de lançamento; reduzir a variabilidade da qualidade do efluente final; evitar grandes falhas do processo; reduzir custos de operação; aumentar a capacidade de tratamento, sem a expansão física do sistema; implementar uma operação com eficiência variável, de forma a acomodar variações sazonais; reduzir as necessidades de mão de obra e permitir uma partida mais rápida.

Um fator importante na operação do reator seqüencial em batelada é o controle, em tempo real, sobre as durações dos períodos das reações biológicas. Esse controle deve ser aplicado devido às variações das características do licor misto no início de cada batelada, a qual se modifica em composição e em concentração, levando a necessidade de ajustes sobre as durações dos períodos das reações a cada batelada. Dessa maneira, se cada fase for interrompida de forma automatizada, quando as correspondentes reações biológicas forem completadas, haverá um incremento significativo na qualidade da água residuária a ser tratada e minimizará o consumo de energia.

A dificuldade para a aplicação desse controle é a falta de informações em tempo real, para acompanhar os processos de biodegradação durante a batelada. As medidas das concentrações das águas residuárias, fundamentais para determinar o final dos períodos na batelada, poderiam ser obtidas em análises de laboratórios. Contudo, as análises de laboratórios são muito laboriosas e demoradas, não sendo apropriadas para um controle em tempo real. Igualmente, as medidas em tempo real, quando disponíveis, são freqüentemente não confiáveis e têm grandes tempos de atraso, sendo inadequadas para o controle.

Apesar desses problemas, a utilização de parâmetros indiretos como o pH, o ORP e o OD têm sido utilizados com sucesso para os controles em tempo real nas durações dos períodos das reações.

Na operação do reator seqüencial em batelada, esses parâmetros, podem ser usados para detectar o instante do tempo em que ocorrerá o processo da completa nitrificação e desnitrificação, durante o período aeróbio e anóxico do ciclo, respectivamente. Dessa forma é possível evitar os períodos de nitrificação muito longo, racionalizando o consumo de energia e os períodos de desnitrificação incompletos, reduzindo a eficiência na remoção de nitrogênio.

Nos itens seguintes serão abordados, com mais detalhes, as informações sobre as medições do pH, do potencial de oxirredução e do oxigênio dissolvido.

3.5.1 Potencial hidrogeniônico

O pH é um termo usado para expressar a intensidade das condições ácidas ou alcalinas de uma solução. É um meio de expressar a atividade do íon hidrogênio. No tratamento biológico de águas residuárias, o pH deve ser controlado dentro de faixas favoráveis a um particular microrganismo envolvido (SAWYER & McCARTY, 1987).

SAWYER & McCARTY (1987), propuseram a expressão logaritmo negativo da atividade do íon hidrogênio (a_{H^+}) para definir o pH:

$$pH = -\log a_{H^+} \quad \text{ou} \quad pH = \log 1/a_{H^+} \quad (3.45)$$

A escala do pH é, usualmente, representada pela faixa de zero a quatorze, com o pH sete representando a neutralidade; os valores de pH menores que sete, correspondendo as condições ácidas e os valores de pH maiores que sete, correspondendo as condições básicas.

Os sensores do pH são construídos com base nos princípios potenciométricos, nos quais se desenvolve uma diferença de potencial elétrico em relação a um eletrodo de referência, gerada pela atividade do íon H^+ , especificamente.

Os primeiros métodos para medida de pH empregavam o eletrodo indicador de hidrogênio. O eletrodo era imerso na solução, cujo pH deveria ser determinado, e por meio de uma ponte salina era ligado a um eletrodo de referência com potencial conhecido, então a tensão elétrica era medida entre eles para a determinação do pH. O eletrodo de referência comumente usado é o eletrodo saturado de calomelano, constituído de cloreto de mercúrio I, em que os íons Cl^- são provenientes da solução saturada de cloreto de potássio (RUSSELL, 1994). A Figura 3.6 mostra um medidor de pH com eletrodos não combinados.

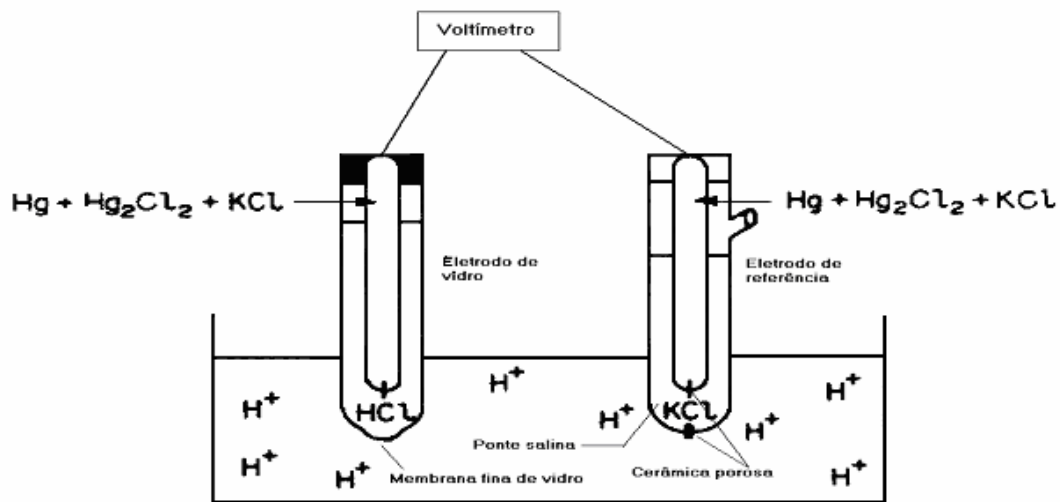


Figura 3.6 - Princípio da medição do pH.

(Fonte: SAWYER & McCARTY, 1987, modificada)

Ultimamente, as medidas de pH são realizadas usando eletrodos combinados de vidro. Os eletrodos indicadores podem ser de prata/cloreto de prata, com cloreto de potássio ou formulações especiais como solução eletrolítica. Alguns eletrodos contêm encapsulamento cerâmico na meia célula de referência, capaz de prevenir contaminação por fungos e bactérias, caso haja necessidade de esterilização dos eletrodos (STANBURY *et al.*, 1995).

O princípio de funcionamento do eletrodo de vidro é o surgimento de uma diferença de potencial nas superfícies de uma membrana de vidro permeável, que separa duas soluções de pH diferentes. Essa diferença de potencial varia com o pH de uma das soluções, da mesma forma como varia o potencial do eletrodo de hidrogênio com o pH. O medidor do pH é composto pelo eletrodo de vidro combinado com o eletrodo de referência, que na maioria das vezes, é de calomelano (RUSSELL, 1994).

MEYER *et al.* (1989) descreveram a formação do potencial na membrana de vidro pelo desenvolvimento de uma camada gel no lado externo da membrana em contato com a solução aquosa, e de outra camada gel no lado interno da membrana, em contato com uma solução tampão específica. Quando a solução aquosa é alcalina os íons de hidrogênio difundirão para fora, de maneira que uma carga negativa é estabelecida sobre o outro lado da camada gel. Uma vez que a solução tampão tem um valor de pH constante, o potencial na superfície interna da membrana é também

constante. Assim, o potencial total da membrana é a diferença entre as cargas interna e externa.

Não é possível fabricar um eletrodo de vidro com potencial elétrico predeterminado. Portanto, antes de utilizar o medidor de pH, deve-se calibrar o sistema. A calibração é realizada mergulhando os eletrodos numa solução tampão com pH conhecido, ajustando o medidor ao valor do pH da solução tampão.

A Equação 3.46, derivada da Equação de Nernst, é utilizada para converter a diferença de potencial em valores de pH (LIPTAK, 1974; SAWYER & McCARTY, 1987):

$$\text{pH}_{\text{solução}} = \text{pH}_{\text{tampão}} + [E_{\text{medido}} - E_o] / E_N \quad (3.46)$$

Onde: $\text{pH}_{\text{solução}}$ é o valor do pH medido da solução; $\text{pH}_{\text{tampão}}$ é o valor do pH da solução tampão interna; E_{medido} é o potencial do eletrodo; E_o é o potencial do eletrodo de referência; e E_N é a constante de Nernst (aproximadamente 60 mV/unidade de pH para 25° C).

MEYER *et al.* (1989) mencionaram que a atividade do íon de hidrogênio depende da temperatura, portanto a temperatura tem influência sobre os valores de pH. A maioria dos medidores de pH, atualmente, possuem compensadores de temperatura, superando esse problema.

3.5.2 Potencial de oxirredução

A reação de oxidação é aquela na qual uma espécie química perde elétrons, e a reação de redução é aquela na qual uma espécie química ganha elétrons. As reações de oxidação e redução sempre ocorrem de forma acoplada e complementar, portanto uma espécie não pode perder elétrons a menos que alguma espécie ganhe elétrons (RUSSELL, 1994).

O potencial de oxirredução é o valor determinado pela atividade dos elétrons, nas reações de oxidação e redução (RUSSELL, 1994). BÜHLER & GALSTER

(1979) mencionaram que este potencial pode ser definido como uma medida da facilidade com o qual uma solução absorve ou libera elétrons.

A medição do potencial de oxirredução faz-se por meio de eletrodos potenciométricos, depende do equilíbrio das espécies químicas reduzidas e oxidadas, sendo expressa em Volts (STANBURY *et al.*, 1995). A Figura 3.7 mostra um medidor deste potencial, com eletrodos não combinados.

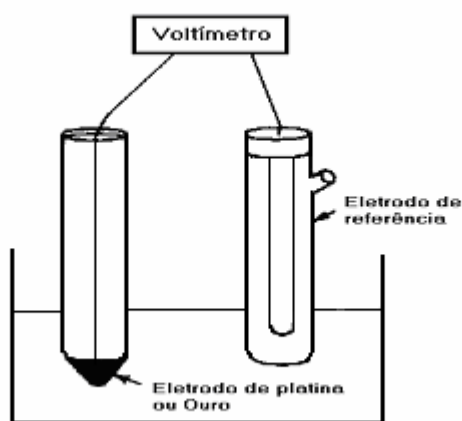


Figura 3.7 - Princípio da medição do potencial de oxirredução.

(Fonte: SAWYER & McCARTY, 1987, modificada)

A Equação 3.47 apresentada por LIPTAK (1974), descreve o potencial de oxirredução medido (E_{medido}):

$$E_{\text{medido}} = E_o + (E_N / n) \cdot \log \{ [\text{Oxi}] / [\text{Red}] \} \quad (3.47)$$

Onde: E_o é uma constante que depende da escolha do sensor de referência; E_N é o constante de Nernst; o n representa o número de elétrons envolvidos; $[\text{Oxi}]$ e $[\text{Red}]$ são as atividades das espécies químicas oxidadas e reduzidas, respectivamente.

SAWYER & McCARTY (1987) expuseram as duas principais diferenças entre os eletrodos de pH e do potencial de oxirredução: (a) o eletrodo para medição do potencial de oxirredução é construído com metais, o de pH com vidro; e (b) o eletrodo de pH mede a atividade de um íon específico H^+ , enquanto o eletrodo do

potencial oxirredução mede a atividade dos íons indistintamente, indicando a taxa de atividade das espécies químicas oxidadas para que outras espécies químicas reduzam.

BÜHLER & GALSTER (1979) mencionaram que os eletrodos com princípio potenciométrico, praticamente não estabelecem nenhum fluxo significativo de corrente no meio da amostra durante a medição, em consequência atenuam o efeito de eletrólise e polarização.

O sistema de medição do potencial de oxirredução é composto por três elementos: o voltímetro, o eletrodo indicador e o eletrodo de referência (SAWYER & McCARTY, 1987). Os eletrodos indicadores são construídos de ouro, platina ou irídio unidos a um condutor de cobre (STANBURY *et al.*, 1995). BÜHLER & GALSTER (1979) descreveram que os eletrodos de referência, construídos com diferentes materiais, produzem diferentes valores de oxirredução para uma mesma solução. Normalmente, para a obtenção da informação sobre um par de oxirredução, o eletrodo padrão de referência utilizado nas medições deve ser citado. O eletrodo padrão de referência universal é conhecido como eletrodo de hidrogênio padrão (SHE). Usualmente, as medições tomadas com outros eletrodos de referência são convertidas para o SHE, através da Equação 3.48:

$$E_{\text{SHE}} = E_{\text{meter}} + E_{\text{ref}} \quad (3.48)$$

Onde: E_{SHE} é o potencial de oxirredução frente ao SHE; E_{meter} é o potencial de oxirredução frente ao eletrodo de referência; E_{ref} é o potencial de oxirredução padrão do eletrodo de referência, esse valor é, aproximadamente, 200 mV, para prata/eletrodo de referência cloreto de prata, a 25°C.

BÜHLER & GALSTER (1979) mencionaram que o potencial de oxirredução pode ser dependente ou não do pH, estando ligado às reações de oxidativa e redutivas envolvidas. Se o íon hidrogênio está envolvido nas nestas reações, existe uma dependência do pH, variando com o número de íons H^+ que tomam parte da reação.

3.5.3 Oxigênio dissolvido

LEE & TSAO (1979) destacaram a existência de dois tipos de sensores para medição do oxigênio dissolvido: os sensores galvânicos e os polarográficos. Em ambos os casos, ocorre circulação da corrente elétrica na solução amostrada, conforme é mostrado na Figura 3.8.

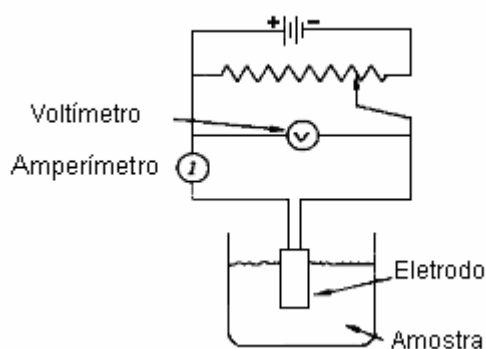


Figura 3.8 - Princípio da medição do oxigênio dissolvido.

(Fonte: SAWYER & McCARTY, 1987, modificada)

Os sensores galvânicos são mais comuns em reatores pequenos (um dm^3), possuem ânodo de chumbo, cátodo de prata e empregam hidróxido de potássio, cloreto de potássio, bicarbonato de potássio ou acetato de potássio como eletrólito. A ponta do sensor é constituída por uma membrana de teflon, polietileno ou poliestireno, que permite a passagem do gás até que o equilíbrio de concentração seja estabelecido, entre a fase gasosa interna e externa no eletrodo (STANBURY *et al.*, 1995). A Figura 3.9a mostra os componentes de um eletrodo galvânico.

Os sensores polarográficos são mais volumosos que os galvânicos, sendo mais empregados em plantas pilotos, em que as portas dos sensores são de doze, dezenove ou 25 milímetros. Esses sensores possuem ânodo de prata, que são polarizados negativamente, em relação ao cátodo de platina ou ouro, e utilizam cloreto de potássio como eletrólito (STANBURY *et al.*, 1995). A Figura 3.9b mostra os componentes de um sensor polarográfico.

INGOLD (1980) mencionou que a relação entre a corrente elétrica medida e a pressão parcial do oxigênio é baseada na lei de Fick, expressa na Equação 3.49:

$$i = K \cdot D \cdot a \cdot A \cdot pO_2 / X \quad (3.49)$$

Onde: “i” é a corrente elétrica do eletrodo; “K” é uma constante; “a” é a solubilidade do oxigênio, depende do material que compõe a membrana; “A” é a área do cátodo; “pO₂” é a pressão parcial do oxigênio; e “X” é a espessura da membrana permeável.

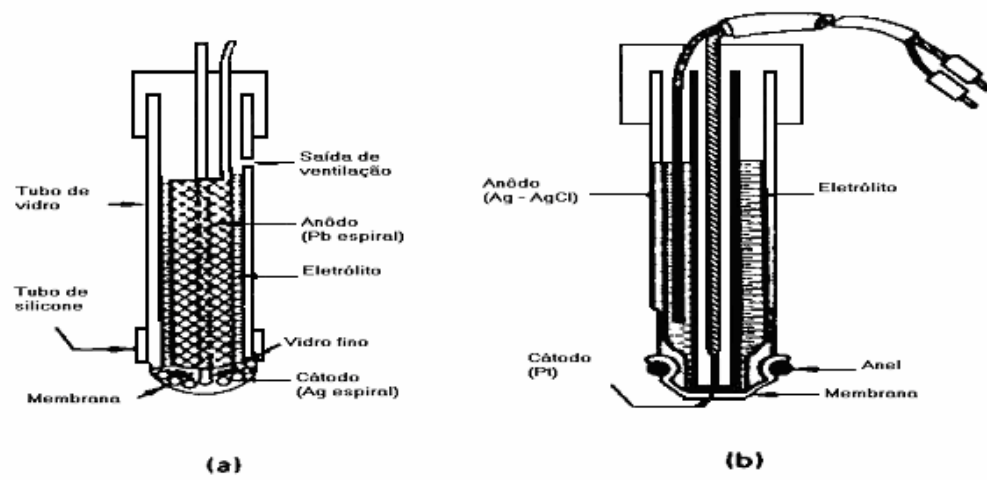


Figura 3.9 - Sensor galvânico (a) e polarográfico (b).

(Fonte: STANBURY *et al.*, 1995, modificada)

A variação da pressão atmosférica pode ter um significativo efeito sobre o instrumento de medição do OD, pois a determinação da concentração do OD é realizada pela medida da pressão parcial do oxigênio dissolvido na amostra (STANBURY *et al.*, 1995).

O efeito da temperatura da amostra sobre o instrumento de medição do OD deve ser considerado, pois com o incremento da temperatura ocorre o aumento da permeabilidade na membrana do eletrodo. A temperatura da amostra também modifica a solubilidade do oxigênio no meio aquoso, alterando a concentração do OD, assim muitos eletrodos possuem compensadores internos de temperatura. (STANBURY *et al.*, 1995).

INGOLD (1980) mencionou que a viscosidade e o fluxo da solução amostrada, em contato com o eletrodo do OD, são importantes. A razão disso, é que

as sondas do OD consomem oxigênio da solução amostrada, continuamente. Portanto, o líquido em contato com a sonda deve ser continuamente renovado, para evitar leituras falsas do OD.

BÜHLER & INGOLD (1976) mencionaram que o tempo de resposta para as sondas galvânicas é de cinquenta segundos para obter 98% da leitura de um valor verdadeiro. Essa característica possibilita a sua aplicação no monitoramento de variações lentas da concentração de oxigênio, além de possuírem dimensões compactas e custo relativamente baixo. A desvantagem dessas sondas é a sua vida útil limitada, devido à corrosão do ânodo.

LEE & TSAO (1979) citaram o tempo de resposta para sondas polarográficas na ordem de 0,05 s a 15 segundos para obter 95% da leitura de um valor verdadeiro, o que possibilita a sua utilização no monitoramento de variações rápidas da concentração de oxigênio. O custo de manutenção dessas sondas é consideravelmente baixo. Contudo, o custo de aquisição pode ser 600% maior que a sonda equivalente galvânica.

3.6 Monitoramento e controle dos processos biológicos em RSB

Nas pesquisas relacionadas com os parâmetros de medidas indiretas e nos monitoramentos dos processos de tratamento biológico de esgoto, os parâmetros ORP, pH e OD vêm sendo propostos para detectar o tempo final dos períodos anaeróbio, aeróbio e anóxico.

CHARPENTIER *et al.* (1989) pesquisaram o controle do processo baseado no valor absoluto do ORP, enquanto WAREHAM *et al.* (1993), SASAKI *et al.* (1993), WOUTERS-WASIAK *et al.* (1994), PLISSON-SAUNE *et al.* (1996) e YU *et al.* (1997) recomendaram o controle do processo com base nas mudanças relativas do ORP com o tempo. PARVSELJ *et al.* (2001) afirmaram que a estratégia com valor absoluto é menos confiável devido a variação temporal no comportamento e a tendência do sinal, enquanto a estratégia com mudança relativa é adaptável à variação da carga afluente ao reator e não há influência da tendência do sinal.

Em alguns casos, o uso das medidas do pH (CYBIS, 1992; CHANG & HAO, 1996; YU *et al.*, 1997) e do OD (DEMUYNCK *et al.*, 1994; WOUTERS-WASIAK *et al.*, 1994, PAVSELJ *et al.*, 2001) têm sido sugeridas para a detecção do instante de tempo final dos períodos das reações.

A seguir, serão apresentados diversos trabalhos onde foram realizadas observações por meio das sondas aqui mencionadas, dos processos biológicos de remoção carbonácea, nitrificação e desnitrificação

CYBIS (1992) monitorou os parâmetros pH, ORP e OD em dois reatores seqüenciais em batelada em escala de bancada, alimentados com água residuária doméstica, com a operação visando a remoção da matéria orgânica, nitrificação e desnitrificação. A Figura 3.10 mostra, de forma esquemática, os perfis temporais típicos e os pontos notáveis obtidos nesta pesquisa. Os perfis temporais do ORP e OD apresentaram semelhanças geométricas e fenomenológicas das reações bioquímicas com a pesquisa de PAVSELJ *et al.* (2001). Porém, o perfil temporal do pH entre as duas pesquisas foi divergente, durante o início da reação com aeração não foi perceptível na pesquisa de PAVSELJ *et al.* (2001) o ponto “B”, citado por CYBIS (1992), LEE *et al.* (2001) e KIM *et al.* (2004) como a diminuição na concentração da matéria orgânica devido a volatilização do dióxido de carbono no reator, concomitante com o aumento das taxas de nitrificação. CYBIS (1992) destacou que dentre os parâmetros inferenciais medidos, o pH foi o mais indicado para o controle dos processos biológicos no tratamento de águas residuárias com RSB. O pH mostrou-se bem expressivo quando o aerador foi ligado, iniciando a reação aeróbia (ponto “A”); o início da nitrificação (ponto “B”); o término da nitrificação (ponto “BB”) foi denominado como “vale” da amônia; quando o aerador foi desligado, finalizando a reação aeróbia (ponto “C”); e quando iniciam as condições anóxicas, após o desligamento do aerador (ponto “D”).

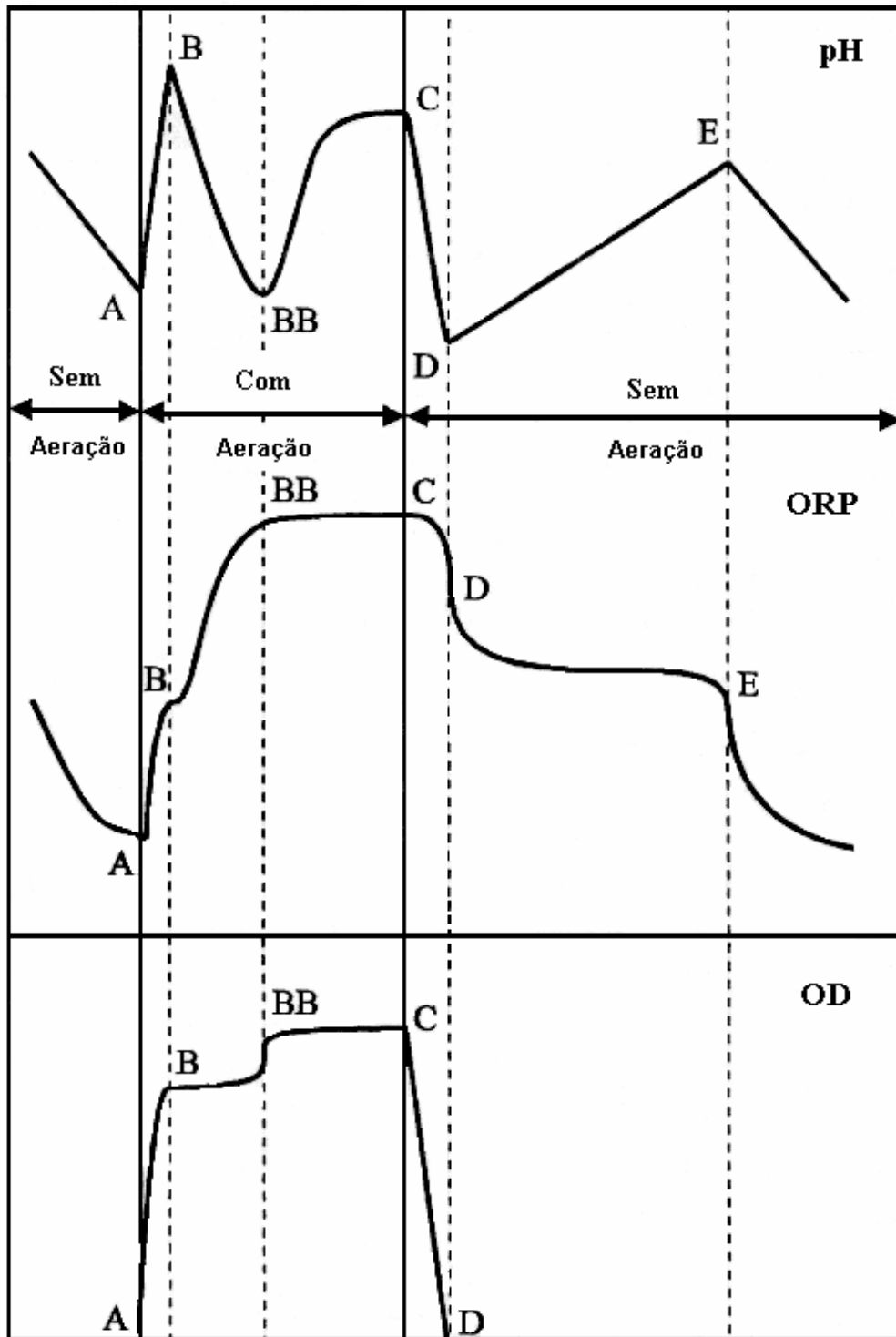


Figura 3.10 - Perfis temporais típicos do pH, ORP e OD, para remoção carbonácea, nitrificação completa e desnitrificação.

(Fonte: CYBIS, 1992, modificada)

PLISSON-SAUNE *et al.* (1996) monitoraram o comportamento dos perfis temporais do ORP e do OD em um sistema de lodo ativado convencional, alimentado com água residuária doméstica em escala piloto, visando a otimização das reações de nitrificação e desnitrificação. A Figura 3.11 mostra os três pontos notáveis: o ponto “ α ” corresponde ao desaparecimento do nitrogênio amoniacal, com a formação de nitrogênio oxidado a partir do nitrogênio amoniacal; o ponto “ β ” corresponde ao desaparecimento do OD, marcando o início das condições anóxicas e o ponto “ χ ” corresponde ao desaparecimento do nitrogênio nitrato, indicando o final da desnitrificação e o início das atividades sulfato-redutivas.

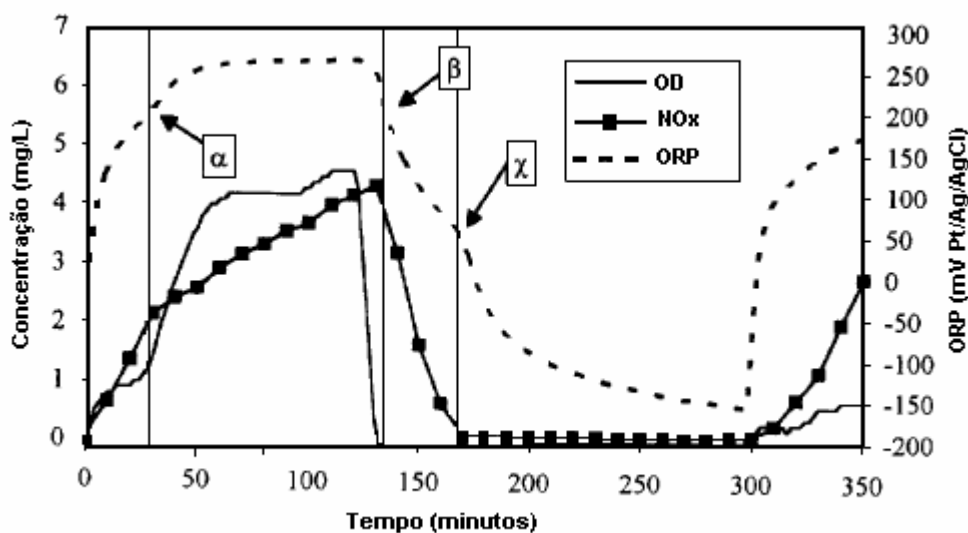


Figura 3.11 - Perfil temporal típico durante um ciclo de nitrificação-desnitrificação.

(Fonte: PLISSON-SAUNE *et al.*, 1996, modificada)

Os experimentos realizados com água pura mostraram que o acréscimo do nitrogênio oxidado de 0,0 a 30,0 mg N/L, provocou um aumento no perfil do ORP de 30,0 mV; enquanto o acréscimo do OD de 0,0 a 2,0 mg/L, provocou um aumento de 200,0 mV, confirmando o maior impacto do OD no perfil temporal do ORP durante a nitrificação. O impacto no perfil temporal do ORP por ocasião do início das atividades sulfato-redutivas e o final da desnitrificação foi confirmado pelo acréscimo de 0,07 mg S-sulfetos/L, em água pura na ausência de OD e a diminuição

de 100,0 mV, conformando o ponto de inflexão semelhante ao “joelho” do nitrato. Assim, o aumento da concentração de sulfetos durante a reação com mistura poderá ser um indicador que não ocorre mais reação anóxica no reator, pois a atividade sulfato-redutiva não acontece antes do completo desaparecimento do nitrogênio nitrato, o qual são inibidores dessa atividade (PLISSON-SAUNE *et al.*, 1996).

CHANG & HAO (1996) monitoraram os parâmetros pH e ORP em um RSB, em escala de bancada, alimentados com esgoto doméstico real, com a operação visando a remoção carbonácea, nitrificação e desnitrificação. Na pesquisa foram adotadas duas estratégias operacionais, o estudo um foi composto pelos períodos de enchimento estático (30min), reação com mistura (1h30min), reação com aeração (4h), sedimentação (30min), esvaziamento (30min) e repouso (1h), respectivamente. O estudo dois foi composto pelos períodos de enchimento estático (30min), reação com mistura (1h), reação com aeração (2h), sedimentação (30min), esvaziamento (30min) e repouso (1h30min), respectivamente. As idades dos lodos foram de quinze e dez dias, para o estudo um e dois, respectivamente.

A Figura 3.12 mostra os perfis temporais típicos e os pontos notáveis obtidos nesta pesquisa. A Tabela 3.6 mostra a discriminação desses pontos notáveis nos perfis temporais do pH e ORP. Os significados desses pontos serão discutidos a seguir. No começo da reação com aeração, um rápido incremento do pH ocorreu em um curto período de tempo (ponto um para o dois), principalmente devido a volatilização do dióxido de carbono para fora do meio líquido. A partir de então, o pH decresce (ponto dois para o três) até alcançar o “vale” da amônia (ponto três), com um subsequente incremento no pH (ponto três para o seis), esse fenômeno é tipicamente observado neste período. A duração da reação de nitrificação (ponto dois para o três) variou de acordo com a variação do nitrogênio amoniacal afluyente (CHANG & HAO, 1996; FURUMAI *et al.* 1999, AKIN & UGURLU, 2005).

A reação com mistura iniciou no ponto dez com uma significativa redução no pH (aproximadamente 0,5 unidade) entre o ponto dez e onze, isto foi ocasionado pela resuspensão de bioproductos dos sedimentos. A seguir, a desnitrificação aumentou o pH do sistema (ponto onze para doze), sendo a reação de desnitrificação completada brevemente, quando o pH alcançou o pico local - ponto doze (CHANG & HAO, 1996).

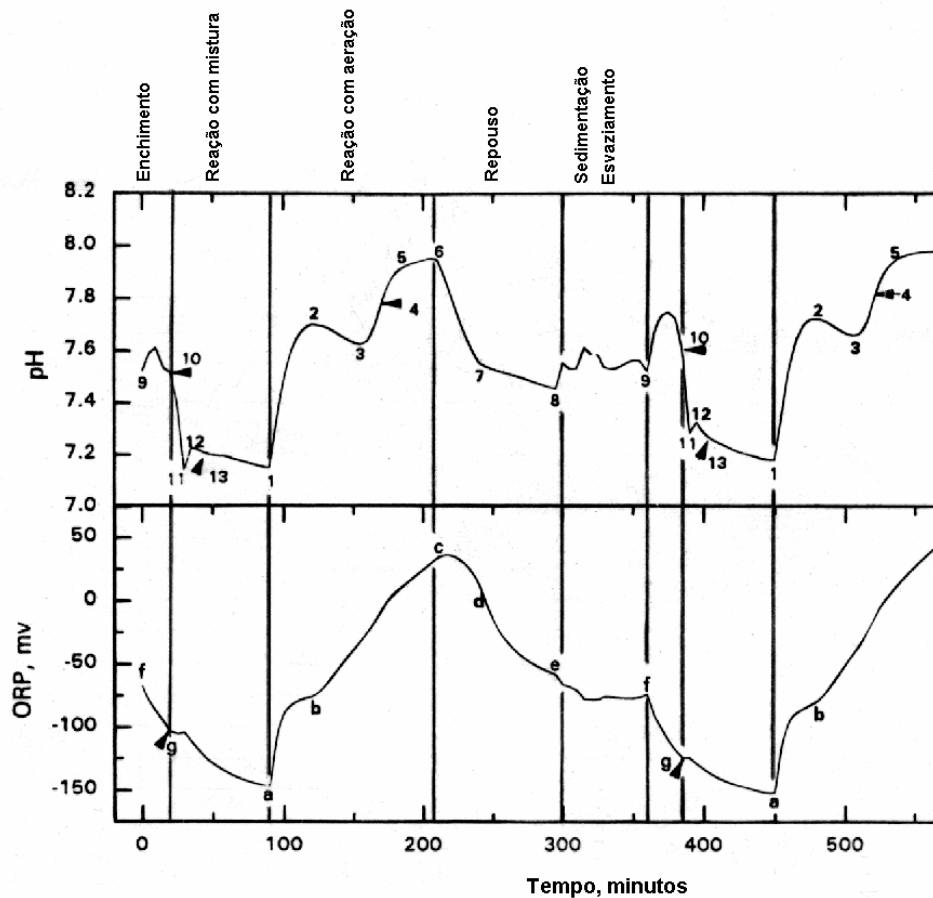


Figura 3.12 - Perfil típico de ORP e pH, durante dois ciclos no estudo dois.

(Fonte: CHANG & HAO, 1996, modificada)

Tabela 3.6 - Descrição dos pontos notáveis no perfil temporal do pH e do ORP

Perfil do pH	Perfil do ORP
1 Início da reação com aeração	a Início da reação com aeração
2 Início da nitrificação	b Início da nitrificação
3 Final da nitrificação (“vale” da amônia)	
4 Final da absorção do ortofosfato	
5 Final da amonificação	
6 Final da reação com aeração	c Final da reação com aeração
7 Início da desnitrificação endógena	d Início da desnitrificação endógena
8 Final do repouso	e Final do repouso
9 Início do enchimento	f Início do enchimento
10 Início da reação com mistura	g Início da reação com mistura
11 Início do sistema bem misturado	
12 Fim da desnitrificação	
13 Final da liberação de ortofosfato	

(Fonte: CHANG & HAO, 1996)

Diferentemente dos pontos no perfil de pH, as indicações das reações biológicas foram não evidentes no perfil do ORP. Sob aeração, o ORP aumentou significativamente (a partir do ponto “a”). O ponto notável “b” indicou o início da reação de nitrificação. O ponto correspondente ao “vale” da amônia (ponto três no perfil de pH) indicou o fim da nitrificação, não foi observado no perfil do ORP. No término da aeração (ponto “c”), o valor do ORP diminuiu e a inflexão (ponto “d”) indicou o começo da respiração endógena do nitrato. Com a adição do afluente, o ORP imediatamente diminuiu (ponto “f” para baixo) até alcançar o começo da reação com mistura (ponto “g”). Não houve pontos evidentes no perfil temporal do ORP que indicassem o final da desnitrificação. Portanto, somente a leitura do ORP não convém ser usada como parâmetro de controle em tempo real (CHANG & HAO, 1996).

As Figuras 3.13 e 3.14 mostram os perfis do pH, ORP e as suas derivadas durante a reação com mistura (reação anóxica/anaeróbia) e a reação com aeração (reação aeróbia), no estudo dois. Os pontos de mínimo correspondem as modificações dos esquemas operacionais (ponto um, início da aeração) e das reações biológicas (ponto três, fim da nitrificação). O ponto de máximo dois (começo da nitrificação) pode ser rapidamente identificados pela primeira derivada do perfil de pH (CHANG & HAO, 1996).

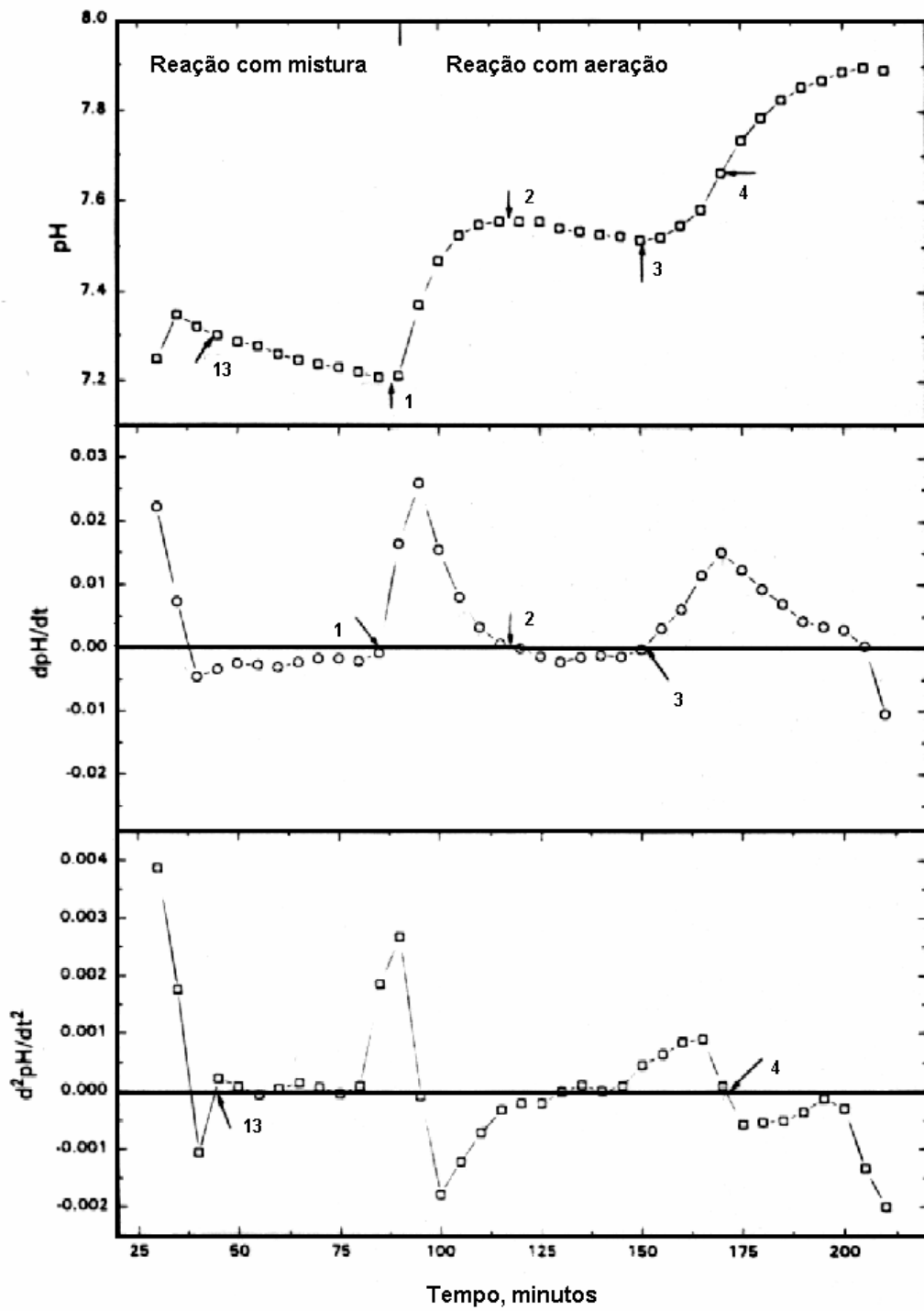


Figura 3.13 - Perfil temporal da primeira e segunda derivada do pH, estudo dois.
 (Fonte: CHANG & HAO, 1996, modificada)

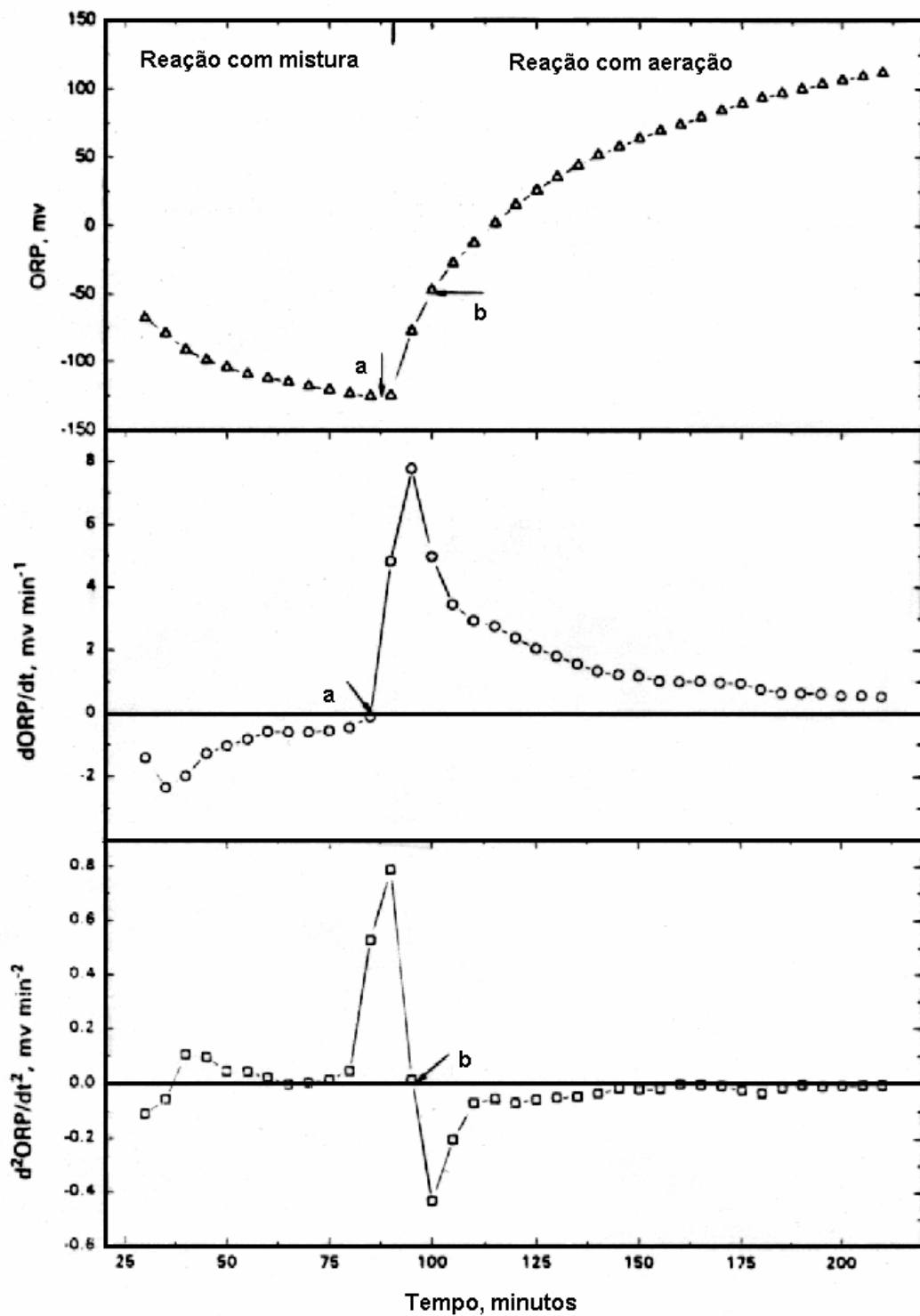


Figura 3.14 - Perfil temporal da primeira e segunda derivada do ORP, estudo dois.

(Fonte: CHANG & HAO, 1996, modificada)

YU *et al.* (1997) apresentaram uma estratégia de controle, em tempo real, de um reator em batelada, utilizando esgoto sintético. As variáveis de controle foram o pH e o ORP, tendo como objetivo otimizar as durações nos períodos de reações para remoção carbonácea, nitrificação e desnitrificação. A estratégia operacional adotada, em tempo real, foi composta pelos períodos de enchimento durante os períodos de reações, reação com mistura (1,75h a 2,2h), reação com aeração (3,6h a 4,6h), reação anóxica (0,7h a 1,15h), sedimentação (0,5h) e esvaziamento (0,5h), respectivamente. A estratégia de operação não automatizada, para obtenção dos pontos notáveis, é mostrada na Figura 3.15 por meio dos perfis temporais do ORP, pH e OD, juntamente com as concentrações das formas nitrogenadas.

Os pontos notáveis nos perfis temporais do ORP e pH, com as correspondentes primeiras derivadas, são mostrados na Figura 3.16. Esses pontos notáveis foram semelhantes aos apresentados por CYBIS (1992), CHANG & HAO(1996), PAVSELJ *et al.* (2001) e PENG *et al.* (2004). O ponto “A” correspondeu ao desaparecimento do nitrogênio nitrato, devido a desnitrificação; o ponto “B” correspondeu a mudança operacional da reação anóxica/anaeróbia para reação aeróbia, com início da oxidação da matéria orgânica e do nitrogênio amoniacal; o ponto “C” correspondeu ao final da primeira etapa da nitrificação, com a diminuição da concentração de nitrogênio amoniacal e aumento da concentração de nitrogênio nitrito; o ponto “D” correspondeu ao final da segunda etapa da nitrificação, com a diminuição da concentração de nitrogênio nitrito e aumento da concentração de nitrogênio nitrato; o ponto “E” correspondeu a mudança operacional da reação aeróbia para a sedimentação e o ponto “D” correspondeu a mudança operacional da sedimentação para o esvaziamento.

Os finais das reações aeróbias e anóxica foram determinados pelos pontos notáveis dos perfis do ORP e do pH, com o relacionamento de ambos. Se um dos pontos notáveis foi determinado em um perfil, o procedimento de controle verificou a ocorrência também no outro perfil, tomando os respectivos tempos de detecção. O tempo de duração de cada período foi estabelecido como 120% dos tempos de detecção, limitado pelo tempo máximo de pesquisa. A taxa de eficiência na remoção

de nitrogênio total, para a operação em tempo real, foi de 81%, sendo as mesmas eficiências com a operação de tempos predeterminados de 74% (YU *et al.*, 1997).

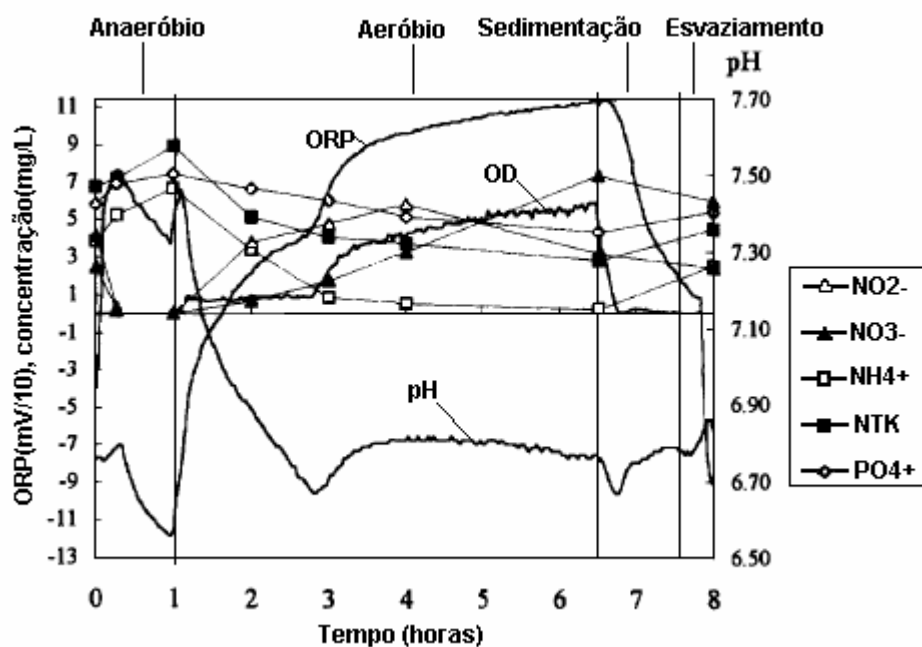


Figura 3.15 - Variação do ORP, pH, OD e N.

(Fonte: YU *et al.*, 1997, modificada)

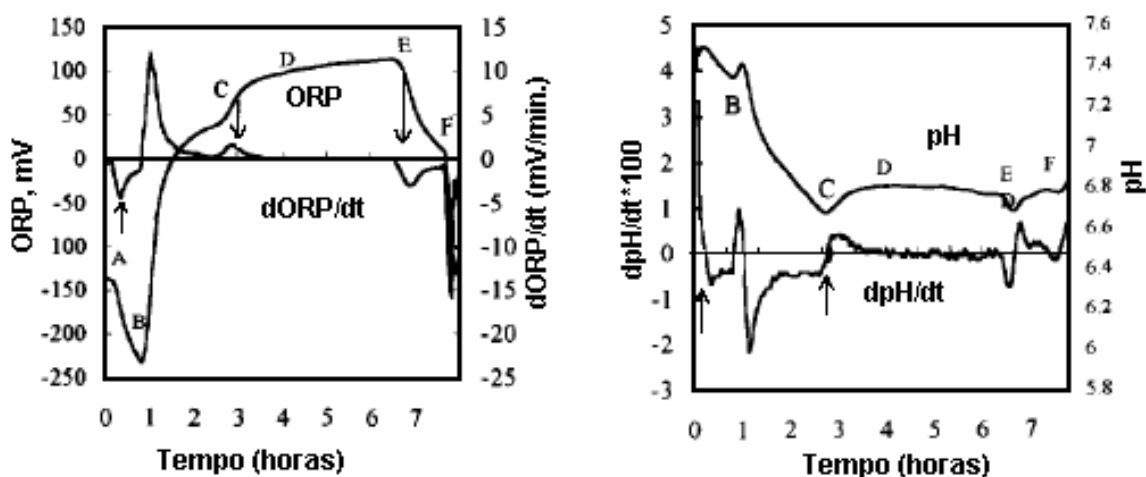


Figura 3.16 - Variação do ORP, dORP/dt, pH, dpH/dt durante um ciclo.

(Fonte: YU *et al.*, 1997, modificada)

PAUL *et al.* (1998) monitoraram o comportamento dos perfis temporais do ORP, OD e pH em um sistema de lodo ativado convencional alimentado com água residuária doméstica, em escala piloto. Os três pontos notáveis: “ α ”, “ β ” e “ χ ” encontrados durante o monitoramento corresponderam as mesmas situações operacionais apresentadas por PLISSON-SAUNE *et al.* (1996), CHEN *et al.* (2002) e PUIG *et al.* (2005), a Figura 3.17 mostra esses pontos notáveis. Essa pesquisa mostrou que a presença ou ausência desses pontos notáveis e a variação da declividade do pH permitem a identificação do estado operacional do reator, durante as reações de nitrificação e desnitrificação. Durante a operação da estação de tratamento, as visualizações dos pontos notáveis nos perfis temporais do ORP, OD e pH dependeram de vários fatores e condições operacionais, que serão descritos a seguir.

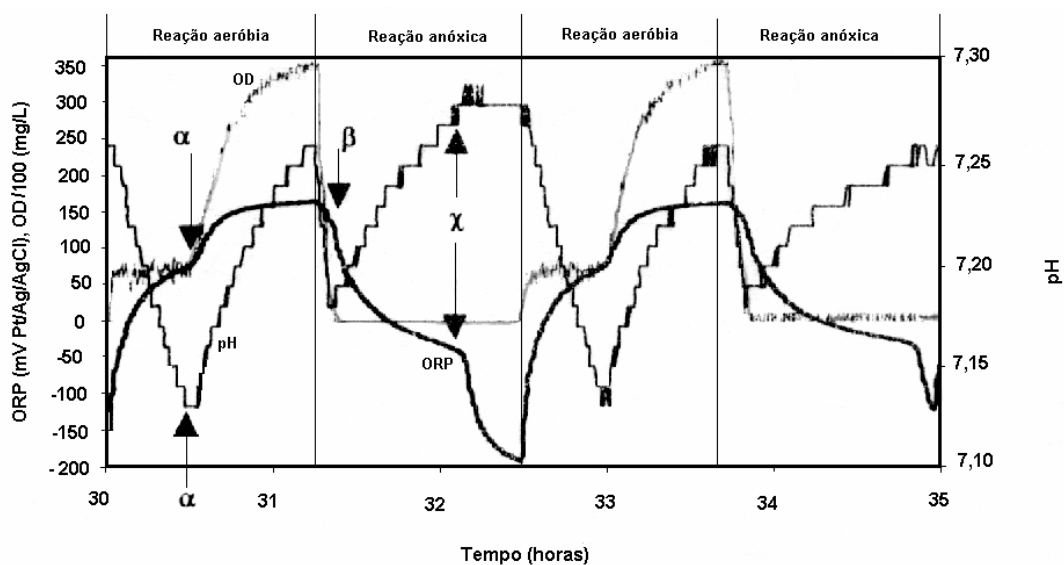


Figura 3.17 - Pontos notáveis α , β e χ nos perfis do ORP, pH e OD, durante os períodos aeróbio e anóxico.

(Fonte: PAUL *et al.*, 1998, modificada)

A concentração do OD elevada (maior que 2 mg/L) fez com que uma pequena variação na taxa de evolução do OD, não fosse visualizada no perfil temporal do ORP. A pequena duração temporal destinada à reação de nitrificação, ou a presença de substâncias inibidoras, ocasionou a ausência do ponto “ α ” e “ χ ”. A

inibição da atividade sulfato-redutiva, causada pela forte depleção de sulfato no afluente, ocasionou a ausência do ponto “ χ ”. A estreita faixa do pH medido de 7,0 a 7,4, e a dependência da alcalinidade da água residuária afluente ao reator causou uma difícil detecção dos pontos notáveis no perfil temporal do pH (PAUL *et al.*, 1998).

As condições de sobrecarga, caracterizada pela taxa de acúmulo de amônia igual ou superior à taxa de consumo, mostrada na Figura 3.18a, com 2,5 vezes a concentração inicial de nitrogênio total e a concentração do OD maior que 3 mg/L, ocasionou a não visualização dos pontos “ α_{ORP} ”, “ α_{OD} ” e “ χ_{ORP} ”. Os perfis do ORP e OD mostrados na Figura 3.18b aparentaram um cenário de supraaeração com as ausências dos pontos “ α_{ORP} ” e “ α_{OD} ”; o ponto “ χ_{ORP} ”.

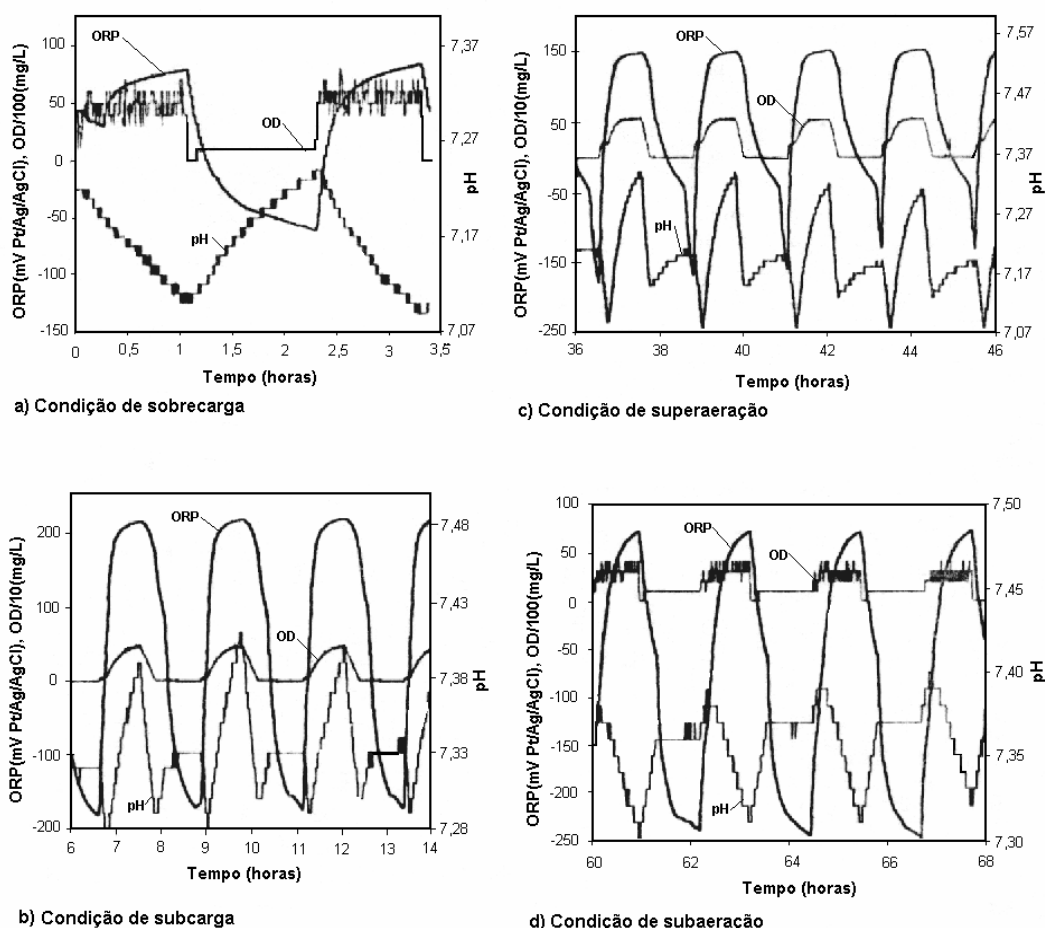


Figura 3.18 - Perfis do ORP, pH e OD para várias condições operacionais, nos períodos aeróbio-anóxico.

(Fonte: PAUL *et al.*, 1998, modificada)

As condições de supraaeração, caracterizada pela constante e alta concentração do OD durante a reação aeróbia são mostradas na Figura 3.18c; o ponto “ α_{ORP} ” não foi detectado. As condições de subaeração, caracterizada pela baixa concentração de OD (menor que 0,5 mg OD/L), durante as reações aeróbias, são mostradas na Figura 3.18d, em que a concentração de nitrogênio amoniacal aumentou e a nitrificação lentamente diminuiu; os pontos “ α ” e “ χ ” não foram visualizados; o pH apresentou somente uma diminuição durante o período aeróbio e um aumento seguido da estabilização no período anóxico (PAUL *et al.*, 1998).

PAVSELJ *et al.* (2001) apresentaram o desenvolvimento de um algoritmo para o controle em tempo real de um RSB, usando as medições do pH, ORP e OD com o objetivo de otimizar a duração dos períodos de remoção carbonácea, nitrificação e desnitrificação. Para o desenvolvimento desse algoritmo foram pesquisadas as correlações dos pontos notáveis dos perfis temporais do ORP, pH e OD, com as correspondentes reações bioquímicas durante a degradação do substrato.

O perfil temporal típico do ORP durante a reação com aeração e a reação anóxica é mostrado na Figura 3.19, em que destacam cinco pontos notáveis. O ponto “A” correspondente ao início da reação com aeração, quando o aerador é acionado. O ponto “B” ocorre devido o aumento do OD, causado pelo desaparecimento do nitrogênio amoniacal. Quando o aerador é desativado (ponto “C”), o ORP diminui até a concentração do OD ficar menor que 1,0 mg/L. O desaparecimento do OD corresponde ao ponto “D” e indica que o ORP não é mais dominado pelo oxigênio, mas pelo nitrogênio nitrato, sob condições anóxicas. Com o desaparecimento do nitrato, o ORP continua diminuindo. Quando o nitrogênio nitrato é totalmente consumido, o ponto de inflexão “E” é observado no perfil temporal do ORP. O ponto “E” é, freqüentemente, referenciado como “joelho” do nitrato, iniciando o fim das condições anóxicas (ausência do OD e presença de nitrogênio oxidado) e o início das condições anaeróbias (ausência de OD e de nitrogênio oxidado). Em condições anaeróbias acontecem as atividades sulfato-redutivas e a fermentação. Do exposto, os pontos “B” e “E” do perfil temporal do ORP poderão ser utilizados para determinar o tempo final das reações com aeração (nitrificação) e anóxica, respectivamente. Nos experimentos desenvolvidos em laboratório, os pontos “B” e “C” no perfil temporal do ORP não foram muito expressivos, porém o ponto “B” foi muito importante na

determinação do instante final do período aeróbio, o correspondente ponto foi detectado no perfil temporal do OD (FURUMAI *et al.* 1999; PAVSELJ *et al.*, 2001).

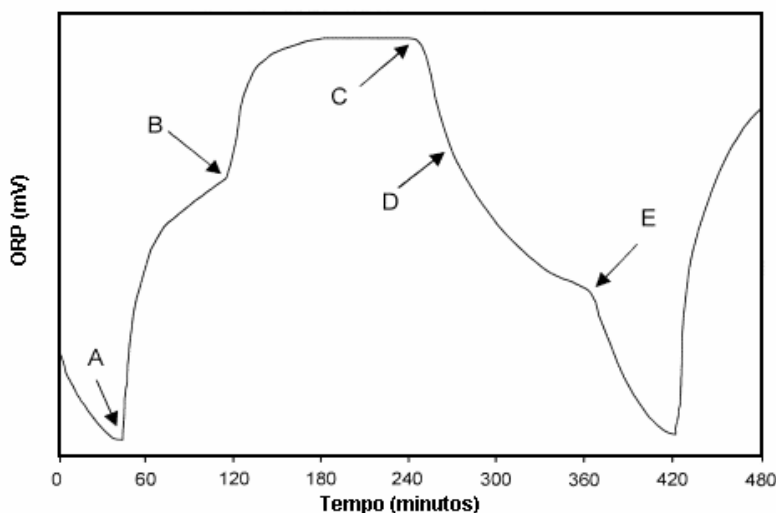


Figura 3.19 - Perfil temporal típico do ORP durante uma batelada.

(Fonte: PAVSELJ *et al.*, 2001, modificada)

O perfil temporal típico do OD, que ocorreu somente durante a reação aeróbia até o início das condições anóxicas, é mostrado na Figura 3.20, em que destacaram quatro pontos notáveis. Esses pontos correspondem aos mesmos fenômenos já descritos no perfil temporal do ORP. O ponto “E” não é detectado no perfil temporal do OD, pois o valor da medição do OD em condições anóxicas e anaeróbias foram zero (PAVSELJ *et al.*, 2001).

Para o controle do final da reação anóxica, PAVSELJ *et al.* (2001) recomendaram a utilização do ponto “E” (“joelho” do nitrato) no perfil temporal do ORP, na qual corresponde ao desaparecimento do nitrato. Porém, a Figura 3.21 mostra que o ponto correspondente ao desaparecimento do OD (ponto “D”), após a desativação do aerador, é geometricamente semelhante ao ponto “E”. Para evitar a detecção do ponto “D”, o procedimento de busca dos pontos notáveis não foi iniciada, até que a concentração do OD reduzisse a um valor pequeno, tal como 0,5 mg/L. A linha tracejada na Figura 3.21 marca o final da reação anóxica, aproximadamente após 30,0 minutos ocorreu o final da atividade sulfato-redutora e o início da fermentação.

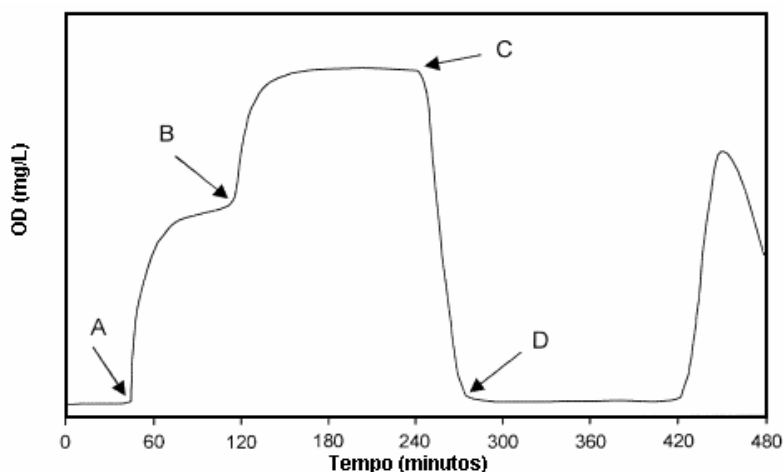


Figura 3.20 - Perfil temporal típico do OD durante uma batelada.

(Fonte: PAVSELJ *et al.*, 2001, modificada)

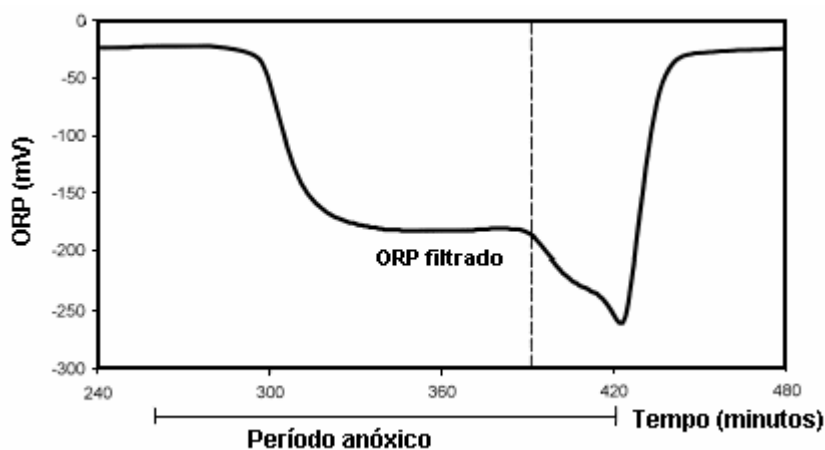


Figura 3.21 - Sinal filtrado do ORP.

(Fonte: PAVSELJ *et al.*, 2001, modificada)

Para o controle do final da reação aeróbia, PAVSELJ *et al.* (2001) recomendaram a utilização do ponto “B” no perfil temporal do OD, que corresponde ao desaparecimento do nitrogênio amoniacal e a formação do nitrogênio nitrito. Porém, um período adicional na reação aeróbia deverá ocorrer para a completa oxidação do nitrogênio nitrito, com a formação do nitrogênio nitrato. A incompleta oxidação do nitrogênio nitrito ocasionará o seu acúmulo, podendo proporcionar condições tóxicas à biomassa. Uma vez que o perfil temporal do OD não indicou o final da segunda etapa da nitrificação, o perfil de pH foi utilizado para tal.

Os perfis temporais das derivadas do OD e do pH são utilizados na detecção do final da reação aeróbia, obtidos nos experimentos de laboratório são mostrados na Figura 3.22. No perfil temporal da primeira derivada do OD dois máximos locais podem ser observados, indicando o início da estabilização na concentração do OD para um dado nível. O segundo máximo local foi definido como o menor tempo possível, para o término da reação aeróbia. Porém, realizou-se o término da reação aeróbia após a detecção do segundo máximo local no perfil de OD e quando a inclinação do perfil do pH lentamente diminuiu, tendendo a uma inclinação suave (terceira linha tracejada). Nesse caso, a derivada do pH teve a tendência em reduzir para um determinado valor, na qual foi obtido empiricamente pela observação na inclinação da derivada do pH, quando os nitrogênios nitritos foram completamente removidos - nitrificação completa (PAVSELJ *et al.*, 2001).

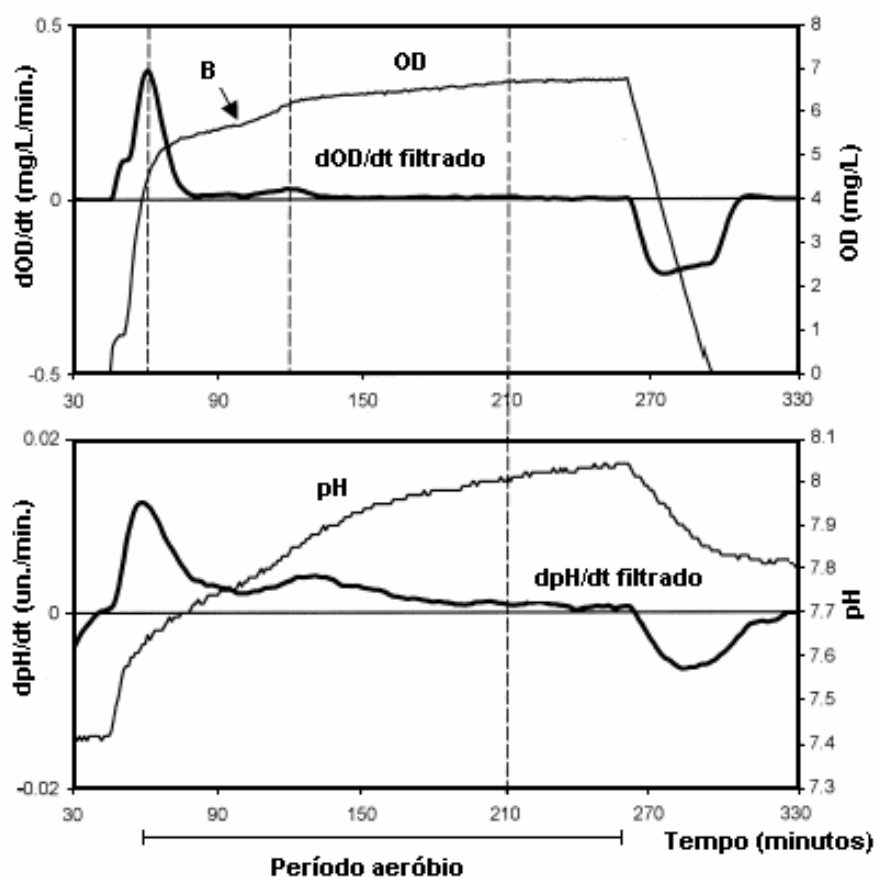


Figura 3.22 - Derivadas do OD e do pH.

(Fonte: PAVSELJ *et al.*, 2001, modificada)

3.7 Inteligência artificial

A inteligência artificial é definida como a “ciência de desenvolver máquinas que façam coisas que poderiam exigir inteligência se realizadas pelo Homem”. Essa definição não implica que uma máquina terá inteligência por si própria, isto é, a habilidade de aprender, raciocinar e compreender, mas que esta possa exibir comportamentos orientados por modelos do raciocínio humano (CORTINOVI, 1986).

BARR & FEIGENBAUM (1981) definem a inteligência artificial como a parte da Ciência da Computação preocupada com o projeto de sistemas inteligentes de computador, isto é, sistemas que exibem as características associadas com comportamento inteligente humano. HARMON & KING (1988) citaram que as pesquisas em inteligência artificial preocupam-se em desenvolver sistemas de computador que produzam resultados, na qual normalmente se associariam à inteligência humana.

Um sistema é considerado inteligente, caso possua habilidades mentais ou capacidades classificadas como inteligentes, tais como: raciocinar e realizar inferências; resolver problemas; acumular e usar conhecimentos; compreender línguas humanas e imagens; planejar as próprias ações e provar o resultado delas; aprender com a experiência; e enxergar, ouvir e interpretar corretamente estímulos sensoriais (ARARIBÓIA 1989; SCHANK, 1992).

Dentre os vários comportamentos distintos estudados pela inteligência artificial, as áreas de abordagem podem também ser divididas em subáreas com objetivos específicos para simplificar e direcionar a pesquisa, nas quais destacam: a compreensão de linguagem natural; a robótica; os sistemas baseados no conhecimento; a programação automática e ensinamento; o projeto e a manufatura inteligente; a representação do conhecimento; a resolução de problemas; o aprendizado; as redes neurais e a inteligência artificial distribuída (KELLER, 1991).

DRIANKOV *et al.* (1996) definiram que o sistema baseado no conhecimento, para controle de malha fechada, é o sistema de controle que intensifica a performance, confiabiliza e torna-se robusto, incorporando o conhecimento que não

pode ser ajustado no modelo analítico, e que é usualmente realizado pelo modo manual de operação, ou outro mecanismo seguro e de auxílio lógico.

Muitas aplicações são encontradas, nos dias de hoje, utilizando os sistemas baseados no conhecimento, dentre os quais destacam-se os controles difusos com resultados satisfatórios.

Os controles difusos de regras são aplicações usuais da teoria dos conjuntos nebulosos, proposto por ZADEH (1965). Esses sistemas são apropriados para modelar processos cujos comportamentos são descritos de forma apenas aproximada, por meio de regras heurísticas e por modelo matemático complexo ou que necessite de robustez.

Um dos principais fatores a ser considerado na elaboração dos controles difusos é o tratamento da imprecisão, visto que o raciocínio humano, na maioria dos modelos, pressupõe a manipulação da imprecisão. É nesse sentido, que a lógica nebulosa, ou difusa, fundamenta o tratamento da imprecisão presente no raciocínio e na linguagem humana.

Na seqüência, da abordagem de inteligência artificial, serão apresentados a teoria da lógica nebulosa e o do controle difuso.

3.7.1 Teoria da lógica nebulosa

A história dos métodos baseados nos conceitos da lógica nebulosa, é recente. Esses conceitos foram introduzidos em meados da década de 1960, com o artigo pioneiro de ZADEH (1965), na qual um novo caminho das incertezas, de características não probalísticas, denominados conjunto nebulosos foram conceituados. Desde então, tem sido considerável o crescimento nas ciências multidisciplinares e na engenharia, que adotaram as idéias nebulosas (HELLENDORN & DRIANKOV, 1997).

A lógica nebulosa é fundamentada pela lógica multivalorada, que se estende à lógica Booleana, incorporando os graus de incertezas, em proposições e predicados, cujas operações lógicas são realizadas pelas de funções algébricas ordinárias (ENGEL, 1998).

RUSSELL & NORVIG (2004) conceituam a lógica nebulosa como um método para raciocínio com expressão lógica, que descreve a pertinência aos conjuntos nebulosos, apresentando a teoria de conjuntos nebulosos como um meio de especificar o quanto um objeto satisfaz a uma descrição vaga.

3.7.1.1 Conjuntos nebulosos

Os conjuntos normais são denominados conjuntos *crisps*, para diferenciar dos conjuntos nebulosos (DRIANKOV, 1996).

O conceito de conjuntos *crisps* é uma coleção de elementos, tal como números e nomes. Esses elementos podem pertencer ao conjunto *crisp* ou não, similar a idéia na álgebra Booleana (SILER, 2000).

ZADEH (1965) propôs o conceito de conjuntos nebulosos como aqueles em que os objetos podem pertencer ao conjunto, porém com diferentes graus, denominados graus de pertinência.

Definido o universo de discurso (U) como uma faixa de valores numéricos, que cobre uma definida faixa as variáveis lingüísticas. O valor da função de pertinência expressa o grau de pertinência do objeto ao conjunto nebuloso correspondente (F). A função de pertinência μ_F , em que F é o conjunto nebuloso, é expressa como (DRIANKOV , 1996):

$$\mu_F : U \rightarrow [0,1] \tag{3.50}$$

Assim, todos os objetos (u) do universo de discurso (U) possuem um grau de pertinência $\mu_F(u) \in [0,1]$. O conjunto nebuloso (F) é completamente determinado pelo conjunto de tuplas.

$$F = \{ (u , \mu_F(u)) \mid u \in U \} \tag{3.51}$$

O conjunto nebuloso (F) pode, também, ser notado como:

$$F = \mu_F(u_1)/u_1 + \mu_F(u_2)/u_2 + \dots + \mu_F(u_n)/u_n \quad (3.52)$$

Onde: n é o número de objeto (u) no universo de discurso (U).

Um exemplo da representação gráfica dos conjuntos nebulosos é mostrado na Figura 3.23. A representação gráfica mostra os conjuntos nebulosos, denominados: frio, morno e quente, cuja a variável lingüística é a temperatura (T), em que o universo de discurso apresenta valores no intervalo [0,100]. Com os graus de pertinência dos conjuntos nebulosos (μ_T) para um dado valor da variável (T).

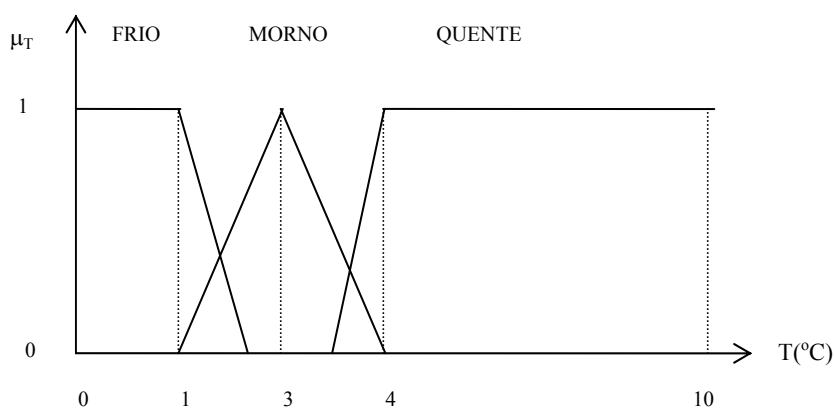


Figura 3.23 - Representação gráfica dos conjuntos nebulosos.

(Fonte: ENGEL, 1998)

3.7.1.2 Nebulização

Define-se como instância um elemento qualquer do universo de discurso. A nebulização consiste na determinação do grau de pertinência da instância em cada um dos conjuntos nebulosos, que descrevem os valores da variável lingüística correspondente (DRIANKOV, 1996).

Supondo os conjuntos nebulosos da Figura 3.24, a nebulização da instância $T^* = 20^\circ\text{C}$, geram os graus de pertinência: $\mu_{\text{FRIO}}(T^*) = 0,6$; $\mu_{\text{MORNO}}(T^*) = 0,4$ e $\mu_{\text{QUENTE}}(T^*) = 0$.

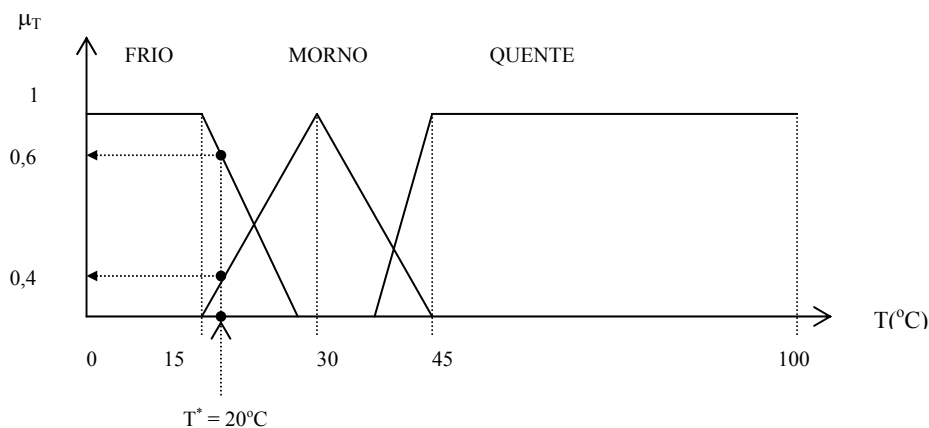


Figura 3.24 - Representação gráfica da nebulização da instância ($T^*=20^\circ\text{C}$).

(Fonte: ENGEL, 1998)

3.7.1.3 Raciocínio aproximado

ZADEH (1965) definiu por variável lingüística aquela cujos valores são palavras, sentenças em linguagem natural ou artificial. Por exemplo, IDADE é uma variável lingüística, caso seus valores são lingüísticos em vez de numéricos, então pode-se ter como valores: JOVEM, NÃO_JOVEM, MUITO_JOVEM, REALMENTE_JOVEM, VELHO, NÃO_MUITO_VELHO, NÃO_MUITO_JOVEM em vez de 20, 21, 22, 23...

As proposições nebulosas atribuem um valor lingüístico para a variável lingüística, tal como O ERRO é GRANDE_NEGATIVO. As proposições nebulosas e os conectivos lingüísticos, tal como “e”, “ou”, “não” e “se-então”, podem formar proposições nebulosas compostas, tal como “X é A e X é B”, “X é A ou X é B”, “X é não A”, “(X é A e X é não B) ou X é C”, “se X é A então X é B” (DRIANKOV, 1996).

O raciocínio aproximado é a melhor forma de expressar o conhecimento da lógica nebulosa e envolve uma variedade de regras inferenciais, na qual as premissas contêm proposições nebulosas (DRIANKOV, 1996).

3.7.1.4 Implicações nebulosas

A implicação nebulosa “se-então”, ou regra de produção nebulosa “se-então”, é simbolicamente expressa como: “Se [proposição nebulosa] então [proposição nebulosa]”. Por exemplo: sejam “ e_1 ” e “ e_2 ” variáveis de estado e “ u ” variável controle de saída, portanto pode-se expressar simbolicamente: “Se e_1 é NB e e_2 é PB então u é NS”. O significado dessa implicação é: se o valor de e_1 é negativo_grande (NB) e o valor de e_2 é positivo_grande (PB), então isto causará um pequeno decréscimo (NS) no valor de controle de saída.

Existem várias implicações nebulosas, dentre essas, as implicações: Kleene-Dienes, Lukasiewicz, estocástica, Goguen, Godel, Sharp, generalizada e Mamdani. A implicação de Mamdani é a mais utilizada em controle difuso, sendo sua definição baseada na operação de interseção (DRIANKOV, 1996).

Na implicação de Mamdani os graus de pertinência (μ_A e μ_B) da relação de implicação (R_c), $R_c : A(x) \rightarrow B(y)$ são calculados pela conjunção, ou mínimo, dos conjuntos nebulosos $A(x)$ e $B(y)$:

$$\mu_{R_c}(x,y) = \text{mín.} (\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (3.53)$$

Onde: “ $\mu_{R_c}(x,y)$ ” é o grau de pertinência da relação de implicação (R_c); “mín” é o operador de mínimo entre o grau de pertinência “ $\mu_A(x)$ ” e o grau de pertinência “ $\mu_B(y)$ ”.

3.7.1.5 Regras de inferências

No raciocínio aproximado existem duas regras de inferências de grande relevância: a regra composicional e o *modus ponens* generalizado. A regra composicional utiliza a relação nebulosa para representar explicitamente a conexão

entre duas proposições nebulosas. O MPG utiliza uma regra “se-então” que implicitamente representa uma relação nebulosa (ENGEL, 1998).

Se duas sentenças A e B, em que A implica B e a sentença A* é verdadeira, representado por: $A \rightarrow B$ e A* é verdadeira, então podemos inferir que a sentença B* é verdadeira. Na expressão 3.54 é mostrada a implicação entre a sentença A e a sentença B como verdadeira; na expressão 3.55 é mostrado que a sentença A* é um subconjunto verdade de A; na expressão 3.56 resulta que a sentença B* que é um subconjunto de B é, portanto, verdadeiro.

$$A(x) \rightarrow B(y): \text{“Se peso é pouco_pesado então altura é altura_média”} \quad (3.54)$$

$$A^*(x): \text{“Peso é peso_médio”} \quad (3.55)$$

$$\therefore B^*(y): \text{“Altura é (altura média)^*”} \quad (3.56)$$

O significado do subconjunto “B*(y)” é obtido pela operação composição (\circ) entre um subconjunto nebuloso “A*(x)” e a relação nebulosa de implicação “R(x,y)”:

$$B^*(y) = A^*(x) \circ R(x,y) \quad (3.57)$$

Onde: R(x,y) é a relação nebulosa correspondente à implicação do conjunto “A(x)” implica conjunto “B(y)”, representado por $A(x) \rightarrow B(y)$.

3.7.1.6 Raciocínio com instâncias

O raciocínio com instância significa raciocinar com um único valor de x correspondente à instância x^* do universo de discurso, isso é operar com um *singleton* (DRIANKOV, 1996).

Por *singleton* entende-se: o conjunto nebuloso com apenas um valor diferente de zero.

$$A^*(x^*) = \mu_A(x^*)/x^* \quad (3.58)$$

Onde: A^* é conjunto nebuloso singleton; $\mu_A(x^*)$ é o grau de pertinência da da instância x^* , que pertence a um universo de discurso.

3.7.1.7 *Modus ponens* generalizado com *singletons*

O *modus ponens* generalizado com *singletons* é expresso como (DRIANKOV, 1996):

$$B^*(y) = A^*(x^*) \circ R(x,y) \quad (3.59)$$

Onde: $B^*(y)$ é o conjunto nebuloso resultante da inferência; A^* é conjunto nebuloso singleton; e $R(x,y)$ é a relação nebulosa correspondente à implicação do conjunto “ $A(x)$ ” implica conjunto “ $B(y)$ ”.

A operação de composição de um conjunto *singleton* reduz-se a cortar o conjunto $B(y)$, no valor $\mu_A(x^*)$. Esse resultado é sempre verdadeiro, se os conjuntos $A(x)$ e $B(y)$ utilizados na implicação forem normalizados. O valor (u^*) é o resultado da desnebulização. A Figura 3.25 representa um exemplo do conjunto nebuloso, resultante da inferência, entre dois conjuntos nebulosos.

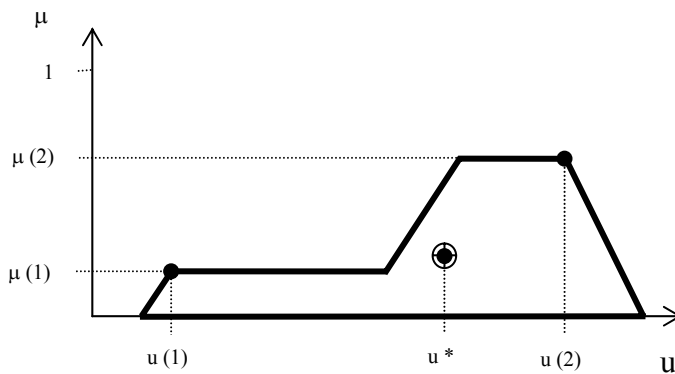


Figura 3.25 - Conjunto nebuloso resultante da inferência.

3.7.1.8 Desnebulização

O conjunto nebuloso cortado, resultante da inferência com o *modus ponens* generalizado, semelhante a Figura 3.25, é informação de entrada do procedimento de desnebulização. Nesse procedimento é gerado um único valor de saída, a partir de um ou vários conjuntos nebulosos cortados, resultante o *modus ponens* generalizado.

Existem seis métodos de desnebulização frequentemente utilizados, dependendo da precisão e da rapidez no processamento: (a) método das alturas; (b) método dos centros das áreas; (c) método das somas dos centros; (d) método do centro da maior área; (e) método da primeira da máxima; (f) método da média da máxima (DRIANKOV, 1996).

O método das alturas é baseado na média ponderada das alturas dos vários conjuntos nebulosos cortados, resultando na expressão discretizada 3.60, mostrada graficamente pela Figura 3.26:

$$u^* = \frac{\sum_{k=1}^m c(k) \cdot \mu(k)}{\sum_{k=1}^n \mu(k)} \quad (3.60)$$

Onde: u^* é o valor da desnebulização; $c(k)$ é o valor correspondente a altura do conjunto nebuloso, no universo de discurso; $\mu(k)$ é o grau de pertinência do conjunto cortado.

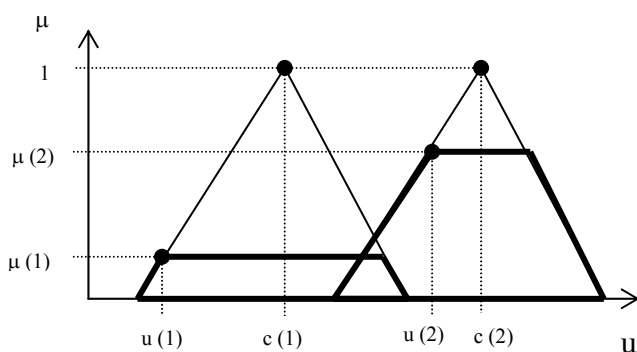


Figura 3.26 - Método das alturas.

(Fonte: DRIANKOV, 1996)

O método dos centros das áreas é baseado no centro da área formada pelos vários conjuntos nebulosos cortados, não considerando a área de sobreposição entre os conjuntos nebulosos, resultando na expressão discretizada 3.61, mostrada graficamente pela Figura 3.27:

$$u^* = \left\{ \sum_{i=1}^p u_i \cdot \mu(u_i) \right\} / \left\{ \sum_{k=1}^p \mu(u_i) \right\} \quad (3.61)$$

Onde: u^* é o valor da desnebulização; u_i é o valor correspondente ao corte do conjunto nebuloso, no universo de discurso; $\mu(k)$ é o grau de pertinência do conjunto cortado.

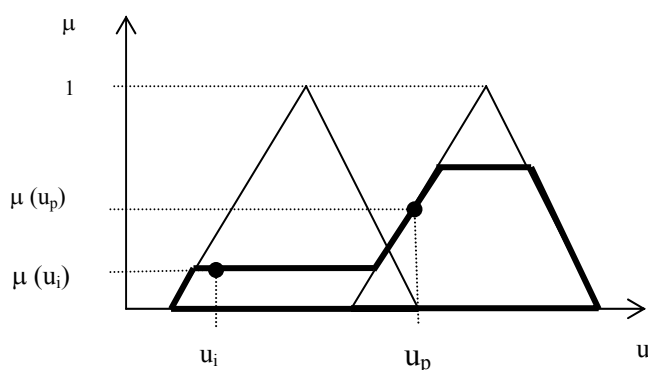


Figura 3.27 - Método do centro da área.

(Fonte: DRIANKOV,1996)

O método das somas dos centros considera a contribuição da área de cada $CLU^{(k)}$ (valor para o controle de saída após o disparo de uma regra) individualmente. As sobreposições de áreas são refletidas mais de uma vez, nesse método. O método é formalizado pela expressão discretizada 3.62, mostrada graficamente pela Figura 3.28:

$$u^* = \left\{ \sum_{i=1}^p u_i \sum_{k=1}^n \mu_{CLU^{(k)}}(u_i) \right\} / \left\{ \sum_{i=1}^p \sum_{k=1}^n \mu_{CLU^{(k)}}(u_i) \right\} \quad (3.62)$$

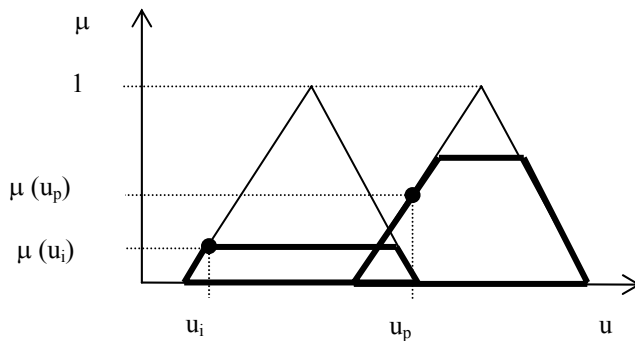


Figura 3.28 - Método das somas dos centros.

(Fonte: DRIANKOV, 1996)

O método do centro da maior área é usado quando \tilde{U} (união dos subconjuntos sobrepostos) é não convexa, isto é, a união consiste de um conjunto menor entre dois subconjuntos convexos nebulosos. O método determina o subconjunto convexo nebuloso com a maior área e define o valor *crisp* de saída (u^*), como o centro de área deste subconjunto nebuloso particular. O método é mostrado graficamente pela Figura 3.29:

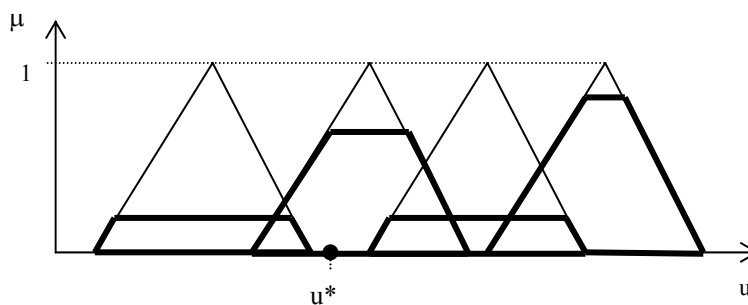


Figura 3.29 - Método do centro da maior área.

(Fonte: DRIANKOV, 1996)

O método primeira da máxima utiliza \tilde{U} (união dos subconjuntos sobrepostos), tomando o menor valor do domínio U com máximo grau de pertinência em \tilde{U} . Esse método é realizado, formalmente, em três etapas:

A variável $hgt(U)$ é o maior grau de pertinência de \tilde{U} , mostrada na expressão 3.63:

$$\text{hgt}(U) = \sup_{u \in U} \mu_U(u) \quad (3.63)$$

A expressão 3.64 mostra o conjunto dos elementos domínio com grau de pertinência igual a $\text{hgt}(U)$:

$$\{ u \in U \mid \mu_U(u) = \text{hgt}(U) \} \quad (3.64)$$

Então, u^* é dado pela expressão 3.65, sendo a representação gráfica do método mostrada na Figura 3.30:

$$u^* = \inf_{u \in U} \{ u \in U \mid \mu_U(u) = \text{hgt}(U) \} \quad (3.65)$$

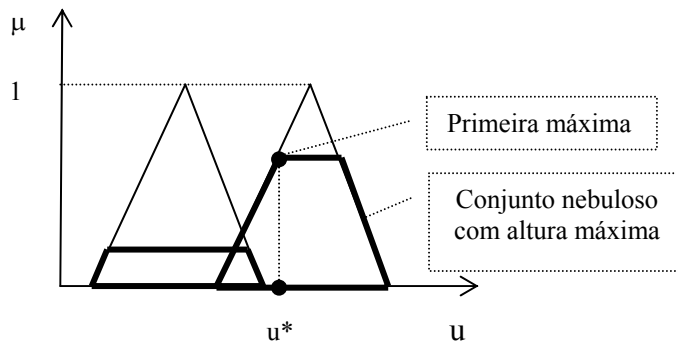


Figura 3.30 - Método primeira da máxima.

(Fonte: DRIANKOV, 1996)

O método média da máxima é operacionalizado pela média aritmética primeira e última da máxima de todos os valores, em que “U” tem o máximo grau de pertinência. A expressão 3.66 formaliza o método, sendo a representação gráfica do método mostrada na Figura 3.31:

$$u^* = \left\{ \inf_{u \in U} \{ u \in U \mid \mu_U(u) = \text{hgt}(U) \} + \sup_{u \in U} \{ u \in U \mid \mu_U(u) = \text{hgt}(U) \} \right\} / 2 \quad (3.66)$$

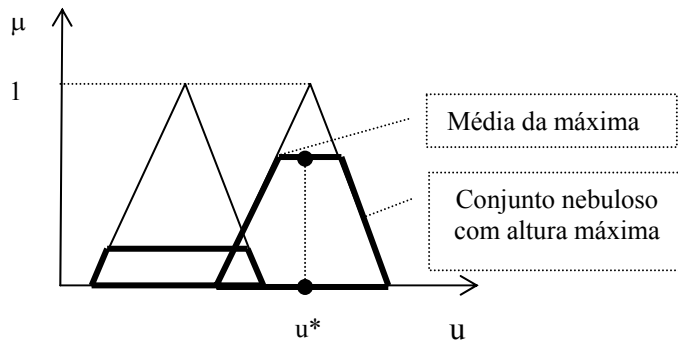


Figura 3.31 - Método média da máxima.

(Fonte: DRIANKOV, 1996)

3.7.2 Controle difuso

O controle difuso é uma metodologia para construir sistemas de controle, em que o mapeamento entre os parâmetros de entrada e saída, com valores reais, é representado por regras nebulosas (RUSSELL & NORVIG, 2004). O controle difuso foi classificado por COELHO *et al.* (2003) como um projeto avançado com aplicação, juntamente com os controles: preditivo, modelo interno e adaptativo.

DRIANKOV *et al.* (1996) definiram que o controle difuso é um sistema especialista em tempo real, implementado através da experiência do operador humano ou do engenheiro de processo, na qual não permite ser facilmente expresso em parâmetros proporcional-integral-derivativo ou equações diferenciais, mas de alguma situação ou regras de ação.

Na elaboração de um controle difuso há duas peças chaves, com papéis absolutamente críticos: o domínio do especialista e o conhecimento de engenharia. O domínio do especialista é representado pela pessoa, cujo conhecimento será incorporado no sistema (SILER, 2000).

O controle difuso difere da tecnologia dos sistemas especialistas em vários aspectos. A principal característica do controle difuso é a sua existência em níveis

distintos, existindo: as regras simbólicas “se-então”, as variáveis nebulosas e os valores, tais como: “se pressão é alta e aumenta lentamente então a energia fornecida é média-negativa“. Esse valor nebuloso como “aumentando lentamente” e o operador nebuloso como “e” estão compilados dentro de vários objetos numéricos elementares e algoritmos, como: tabelas de funções, interpolação, comparadores e outros. A existência desses níveis compilados é a base para a rapidez, a implementação em tempo real, assim como a possibilidade do mapeamento do controle difuso dentro do ambiente, essencialmente numérico, do controle convencional (DRIANKOV *et al.*, 1996).

HELLENDOORN & DRIANKOV (1997) apresentaram duas abordagens para projeto de controles difusos: com base heurística (de regras) e com base em modelo de identificação.

KOSKO (1992) definiu que os controles difusos com base heurística são fundamentados em conhecimentos imprecisos, podendo ser caracterizados por: (1) representação estruturada do conhecimento, por meio de regras; (2) modelagem imprecisa do especialista; (3) operações lógicas não-simbólicas, com processamento numérico; e (4) lógica multivalorada.

A principal motivação para o projeto com base heurística é o fato de muitos processos industriais serem controlados manualmente por um especialista, amparados pelos parâmetros experimentais. Isso implica que o projeto do controlador difuso somente pode ser feito após um algoritmo de controle manual. O projeto, com base no modelo de identificação difuso, utiliza uma modelagem convencional ou uma malha aberta nebulosa em uma planta para obtenção dos conjuntos nebulosos, que constituirão o controlador (TAKAGI & SUGENO, 1985).

DRIANKOV *et al.* (1996) apresentaram uma arquitetura do controle difuso, composta pelos módulos de: nebulização, inferência, desnebulização e o banco de dados, mostrada na Figura 3.32.

O controle difuso estabelece as variáveis de controle com os conjuntos de saída *singletons*, a partir das variáveis controladas com os conjuntos de entrada *singletons*, tendo como inferência uma base de regras. As funcionalidades dos módulos do controle difuso são apresentadas a seguir.

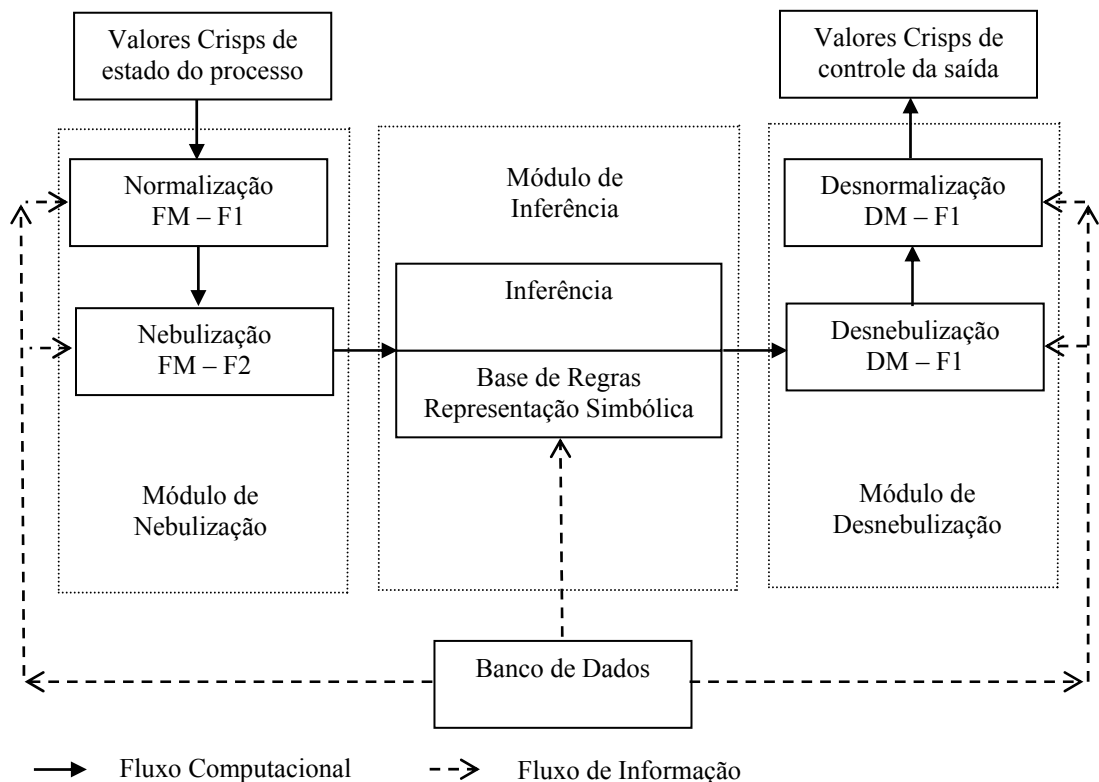


Figura 3.32 - Arquitetura do controle difuso.

(Fonte: DRIANKOV *et al.*, 1996)

O módulo de nebulização é composto pela normalização e a nebulização. A normalização (FM-F1) tem por objetivo a transformação de escala das variáveis de entrada para um universo de discurso normalizado, assim cada variável de entrada deve ser afetada por um fator de escala capaz de transformá-la para dentro de um universo de discurso, que deve ser comum para todas as outras variáveis de entradas normalizadas.

A nebulização (FM-F2) converte o valor *crisp*, normalizado na entrada, em grau de pertinência fundamentado nos conjuntos nebulosos, que representam as variáveis lingüísticas. Isso permite a compatibilização com as variáveis de estado nos antecedentes das regras, no módulo de inferência.

A máquina de inferência pode ser abordada de duas formas: (a) a inferência com base composicional e (b) a inferência com base de regra individual (MPG).

A inferência com base composicional é desenvolvida por meio da operação composição entre a entrada *crisp* nebulizada e a relação nebulosa, representando significativamente todos os conjuntos de regras. O resultado dessa composição é o conjunto nebuloso, descrevendo os valores de controle de saída.

Na inferência com base de regra individual, cada regra é individualmente disparada, no final os valores controles de saída, de cada regra agregada, formam o valor de controle geral de saída.

O módulo de desnebulização é composto pela desnebulização e a desnormalização.

A desnebulização (DM-F2) tem por objetivo a conversão dos conjuntos cortados dos valores controles de saída, em um único valor.

A desnormalização (DM-FM1) converte o valor de saída da desnebulização, para o domínio físico da variável *crisp* de controle.

O banco de dados tem a finalidade de prover os parâmetros necessários para o módulo de nebulização, a base de regras e o módulo de desnebulização. Esses parâmetros incluem: (a) a escolha dos tipos de funções de pertinência, definidas pelo especialista, no caso de base de regra heurística ou a aplicação do método do *cluster*, no caso de modelo com identificação difusa; (b) a escolha dos fatores de escala; (c) a escolha das variáveis de estado e de controle de processo; (d) a escolha dos conteúdos das partes antecedentes e conseqüentes das regras; (e) a escolha das faixas dos valores lingüísticos para as variáveis de estado e de controle de processo; (f) a escolha do tipo de inferência; (g) a escolha do método de desnebulização e (h) a escolha do fator de desnormalização.

A seguir serão apresentadas algumas aplicações do controle difuso em processos biológicos de lodos ativados.

YIN & STENSTROM (1996) citaram que a primeira aplicação de algoritmo com o controle difuso, em processo de lodos ativados, foi realizada por TONG *et al.* (1980).

CHEN *et al.* (1990) desenvolveram um controle difuso para a vazão de retorno do lodo, o tempo de reação e o suprimento de ar para um processo de lodos ativados convencional, em escala real, obtendo melhores eficácias comparado com o método manual de controle.

TSAI *et al.* (1994) apresentaram resultados operacionais eficazes de uma planta piloto, de lodo ativado convencional, com controle baseado na identificação nebulosa. O método do *cluster* foi utilizado, sendo a variável de controle a vazão de recirculação. Os objetivos desse estudo foram a minimização de sólidos suspensos efluentes e a previsão de sólidos suspensos no licor misto.

YIN & STENSTROM (1996) compararam as estratégias de controle convencional proporcional-integral-derivativo e difuso proporcional-integral-derivativo em processo de lodo ativado com a utilização de oxigênio puro, obtendo resultados satisfatórios com as reduções nas variações diurnas de oxigênio dissolvido, a estabilidade no fornecimento do oxigênio e a redução no consumo de energia elétrica, com o controle difuso proporcional-integral-derivativo. A variável de estado foi o erro na pressão do oxigênio e a variável controlada foi a abertura da válvula para suprimento de oxigênio.

HAMAMOTO *et al.* (1996) desenvolveram experimentos com processos cíclicos intermitentes para remoção simultânea de nitrogênio e fósforo, em planta piloto e em escala real, utilizando o controle difuso com base heurística. Os resultados foram a otimização do tempo de mistura e aeração, com a taxa de 96% na remoção de nitrogênio e de 93% na remoção de fósforo, na planta em escala real, destacando a melhor eficiência do controle difuso frente ao controle temporizado.

PENG *et al.* (2002) pesquisaram o comportamento dos perfis do pH, ORP e suas derivadas em relação ao tempo, em um RSB, durante o processo de desnitrificação, com águas residuárias de uma cervejaria. O controle difuso com base heurística teve como objetivo a adição de fonte externa de carbono e a identificação do término do período anóxico.

PENG *et al.* (2004) caracterizaram o comportamento do perfil durante o período aeróbio em RSB, operando na remoção de substrato orgânico da água residuária da indústria química. O controle difuso utilizou o ponto de inflexão do OD, medido em tempo real, como indicador do término do período aeróbio. O resultado obtido foi uma economia de energia de 50%, comparado com a operação sem controle, e uma eficiência de 85% a 90% na remoção de DQO.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Esse trabalho propôs-se a estruturar um controle difuso, em tempo real, para o reator seqüencial em batelada, utilizando parâmetros inferenciais no processo biológico de nitrificação e desnitrificação em esgotos sintéticos, com características domésticas, em que o doador de elétrons para o processo de desnitrificação foram os produtos da respiração endógena e da matéria orgânica residual, não rapidamente biodegradável. Na primeira etapa foi realizada a montagem de um experimento, em escala de bancada, com reatores seqüenciais em batelada, capazes de operarem de forma regular e confiável, proporcionando as condições ambientais necessárias para o estabelecimento do processo biológico de nitrificação e desnitrificação. Na segunda etapa foi realizada a implementação do sistema de automação, para medir as grandezas dos parâmetros inferenciais de monitoramento e controlar com o cronograma predeterminado os dispositivos atuadores (misturadores e conjuntos motores-bombas). Na terceira etapa foi realizada a complementação das rotinas computacionais para atuar o controle difuso, na qual foi implementada a sintonia do controlador difuso e submetido às condições experimentais para a sua avaliação e validação.

Neste capítulo, são abordados com mais detalhes os itens: montagem hidráulica dos reatores seqüenciais em bateladas e a estruturação do sistema da automação do processo.

4.1 Montagem mecânica e hidráulica dos reatores seqüenciais em bateladas

Os reatores foram construídos em acrílico, em formato cilíndrico com o volume total de doze litros, o diâmetro interno foi de trinta centímetros e altura interna de 15,5 centímetros. Nas laterais foram instaladas escalas graduadas com indicações dos volumes, visando facilitar as leituras dos volumes do licor misto. A

Figura 4.1 mostra o experimento montado no Instituto de Pesquisas Hidráulicas, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. No experimento, cada RSB foi operado com o volume mínimo antes do enchimento de quatro litros, e o volume máximo de dez litros, portanto seis litros, foram alimentados em cada reator.

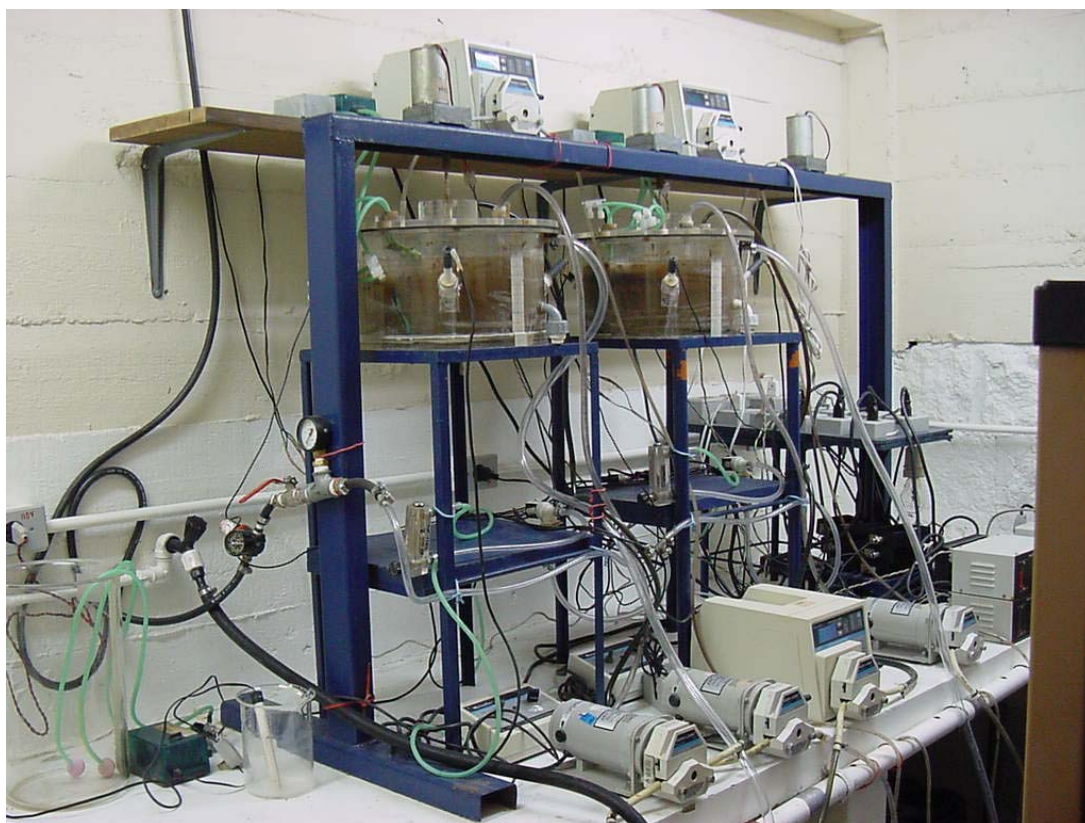


Figura 4.1 - Experimento com RSB, em escala de bancada.

O esquema dos reatores seqüenciais em batelada, na Figura 4.2, mostra o fluxo hidráulico e o sistema de automação do experimento. O experimento foi composto por dois reatores seqüenciais em batelada, em que as estratégias operacionais do RSB 1 e do RSB 2 foram idênticas.

Os conjuntos motores-bombas peristálticos (BA-1 e BA-2) alimentaram o esgoto sintético até os reatores seqüenciais em batelada (RSB-1 e RSB-2), a esse período denominou-se enchimento. O enchimento ocorreu durante um intervalo de tempo predeterminado.

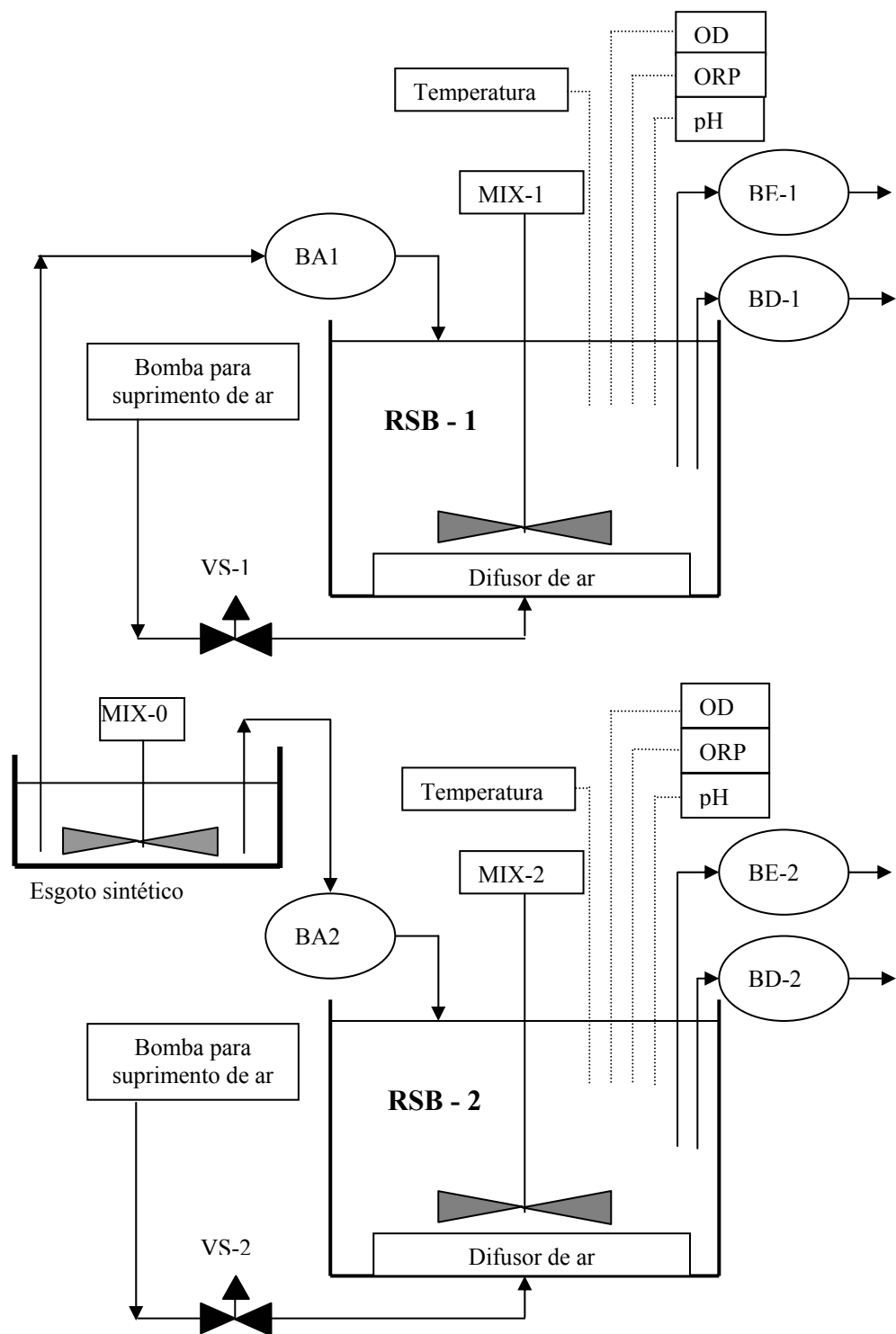


Figura 4.2 - Esquema dos reatores seqüenciais em batelada.

Com os reatores seqüenciais em batelada alimentados, iniciou-se o período da reação aeróbia e da reação anóxica. Durante a reação aeróbia, os conjuntos motores-bombas para suprimento de oxigênio dissolvido foram acionados, juntamente com os conjuntos motores-misturadores (MIX-1 e MIX-2). Durante a reação anóxica, somente os conjuntos motores-misturadores são acionados (MIX-1 e MIX-2). As concentrações de oxigênio dissolvido nos reatores foram controladas com os acionamentos das bombas de suprimento de ar e difusores, tipo pedra porosa, em que as vazões de ar foram previamente ajustadas.

Após os períodos das reações, os conjuntos motores-bombas peristálticos (BD-1 e BD-2) funcionaram para descartaram uma predeterminada quantidade de lodo.

O período seguinte foi a sedimentação, em que os reatores foram submetidos a um predeterminado período de repouso, sem mistura e aeração, permitindo a separação física líquido-sólido.

Após o período de sedimentação, os conjuntos motores-bombas peristálticos (BE-1 e BE-2) descartam as parcelas de líquidos sobrenadantes, esse período foi denominado esvaziamento.

4.2 Estruturação do sistema de automação do processo

Foi estruturado um sistema de automação do processo de nitrificação e desnitrificação, utilizando os produtos da respiração endógena e a matéria orgânica não rapidamente biodegradável, como fonte de carbono para o processo de desnitrificação. Além disso, foi estruturado o controle difuso sobre as durações temporais das reações aeróbias e anóxica. Inicialmente, foi desenvolvido o sistema de automação do processo, dividido em três etapas, descritas a seguir.

A primeira etapa foi a estruturação do sistema de aquisição de dados e dos dispositivos atuadores. O sistema de aquisição de dados foi composto pelas sondas, pelos amplificadores-transmissores de sinais elétricos, pelos terminais analógicos e pela placa analógica de interface. O sistema dos dispositivos atuadores foi

constituído pela placa digital de interface, terminais digitais e dispositivos atuadores (conjuntos motores-bombas e misturadores).

A segunda etapa, denominada estruturação do controle com cronograma predeterminado, teve como princípio a implementação do programa computacional, denominado CONRSB, para o gerenciamento e o controle dos ciclos nos reatores, assim como o desenvolvimento experimental, que ocorreu do ciclo 1 ao 70 para estabelecer os processos de nitrificação e desnitrificação, com um cronograma de ciclo predeterminado.

Nessa etapa, portanto, não houve o controle operacional sobre as durações temporais das reações aeróbias e anóxicas. Assim, durações de tempo maiores que o necessário foram adotadas, para o desenvolvimento completo dos processos biológicos.

Os monitoramentos foram feitos por meio de análises físico-químicas convencionais e das medidas eletroquímicas. A proposta final foi a operação dos reatores seqüenciais em batelada, para a obtenção de informações, capazes de serem aplicadas na sintonia e comporem o banco de dados do controlador difuso.

A Figura 4.3 mostra a integração das estruturas de aquisição de dados, do controle e dos dispositivos atuadores nos reatores seqüenciais em batelada.

A Figura 4.4 mostra o esquema do sistema de automação, em que as informações foram medidas nos sensores, armazenadas no computador e alimentaram as estruturas de controle. As estruturas de controle tiveram a função de realizar as tomadas de decisões, nas quais foram enviadas às estruturas dos dispositivos atuadores.

A terceira etapa constituiu na estruturação do controle difuso. Para isso, o programa computacional CONRSB sofreu o acréscimo das rotinas para a implementação do controle difuso, de forma a operar em tempo real. Nessa etapa, a sintonia do controlador difuso foi realizada, tendo como referência as informações da segunda etapa da pesquisa. As simulações, no programa computacional MATLAB, versão 5.2, da MathWorks, utilizou as informações em tempo não real, para a obtenção dos parâmetros do banco de dados do controlador difuso. A avaliação e a validação do controle difuso foram realizadas por meio do experimento entre os ciclos 71 e 85, nas quais houve a sua atuação sobre as durações temporais das

reações aeróbias e anóxicas. No final dessa etapa, o perfil temporal do ciclo foi realizado, para avaliação do processo biológico sob os aspectos físico-químicos e das medidas eletroquímicas.

Os itens a seguir, relatam com mais detalhes, as etapas mencionadas.

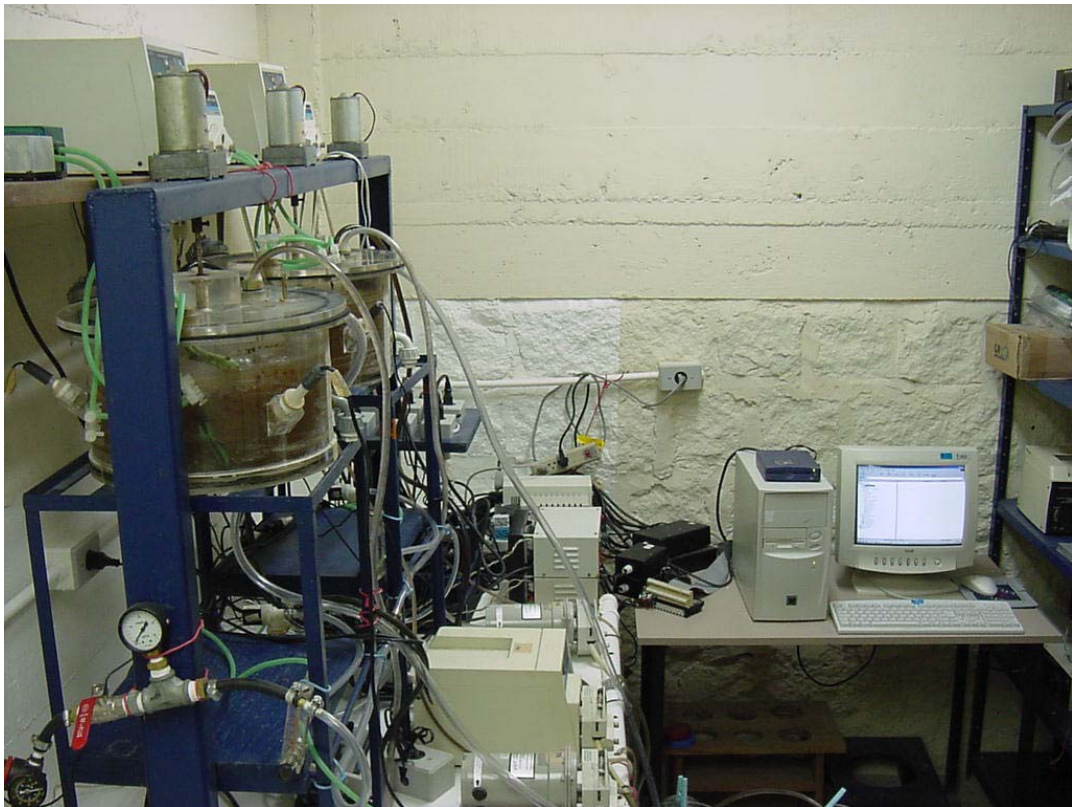


Figura 4.3 - Sistema de automação e reatores seqüenciais em batelada.

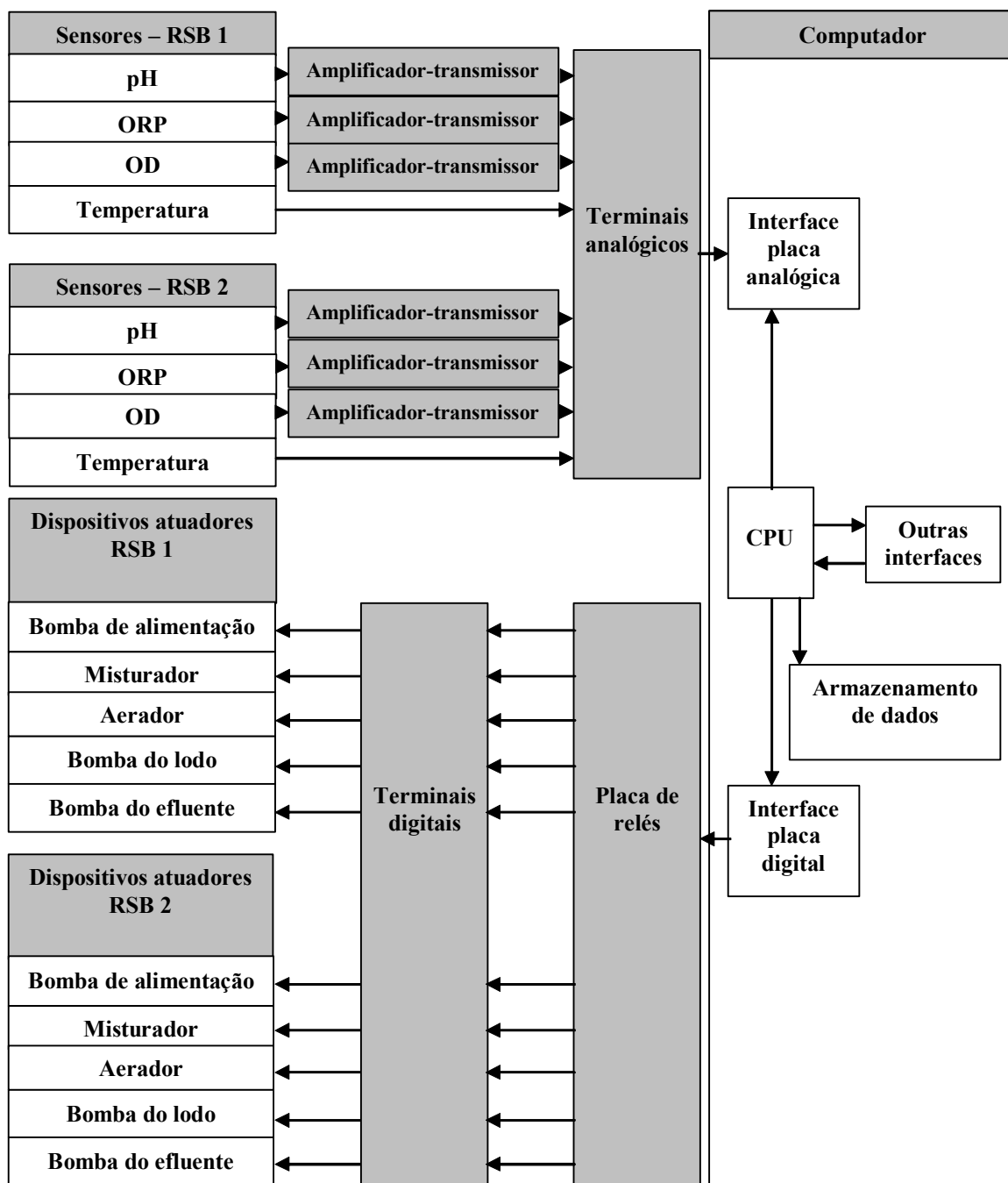


Figura 4.4 - Esquema do sistema de automação.

4.2.1 Estruturação do sistema de aquisição dos dados e dispositivos atuadores

A escolha dos parâmetros de monitoramento inferenciais, mais adequados e representativos dos pontos notáveis, foi fundamentada nas pesquisas mencionadas no referencial bibliográfico.

Os parâmetros medidos pelos sensores foram: o pH, o potencial de oxirredução, o oxigênio dissolvido e a temperatura. Essas informações foram armazenadas no disco rígido do computador, em intervalos de tempo predefinido de um minuto. Os arquivos gerados foram em formato texto, e sua estrutura permitiu identificar a data, a hora, as medidas dos sensores e os períodos operacionais.

Os sensores ficaram alojados em quatro orifícios, fixados por rolhas de borrachas removíveis, que permitiam a limpeza e a calibração dos sensores duas vezes por semana, durante o período de descanso. As calibrações dos sensores foram realizadas utilizando padrões físico-químicos, em conformidade com o STANDARD METHODS (1998).

O pH foi medido com o eletrodo potenciométrico combinado, com encapsulamento de vidro e eletrólito tipo difusão. Para o potencial de oxirredução foi utilizado um eletrodo combinado, com fio de platina, usando o Ag/AgCl como elemento de referência. O oxigênio dissolvido foi medido com sensores polarográficos de Clark, com ânodo de Ag e cátodo de Pt, em eletrólito Na_3PO_4 , com membrana de politetrafluoroetileno. Para a temperatura foi utilizado o sensor com termoresistência, tipo PT100 com transmissor acoplado, proporcionando uma corrente elétrica na saída de 4 a 20 mA para a placa analógica. Os demais sinais dos sensores de pH, ORP e OD foram direcionados aos seus respectivos amplificadores – transmissores de sinais, na qual proporcionaram correntes elétricas na saída de 4 a 20 mA para a placa analógica. A Figura 4.5 mostra os amplificadores-transmissores de sinais utilizados.

Alguns cuidados com a umidade dos circuitos elétricos foram tomados, como: o uso de desumidificador ambiente, o afastamento seguro dos amplificadores–transmissores de sinais, dos terminais analógicos e digitais e das fontes de alimentação elétricas. Porém, em algumas ocasiões, os circuitos do amplificador–

transmissor de sinais apresentaram defeitos causados pela umidade excessiva. Assim, caso o uso for em condições ambientais mais rigorosas, recomenda-se a aplicação de um encapsulamento resistente à umidade, para os circuitos do amplificador–transmissor de sinais.

Algumas medidas preventivas foram tomadas em relação as interferências eletromagnéticas, como: a utilização cabos elétricos com blindagens, filtros de linha, o emprego de fontes de alimentação lineares (não chaveada) e o uso de reguladores de tensão para corrente contínua, e não inversores de frequência.

A placa PCI-DAS 1200/Jr, com o *clock* de 330 KHz, doze *bits*, fabricada pela Computer Boards Corporation, foi utilizada como interface analógica. Essa placa foi integrada ao computador pessoal, converteu os sinais analógicos dos sensores em sinal digital, compatível com o computador. Essa placa possui dezesseis entradas analógicas, sendo usada apenas oito entradas de forma *single-ended*.



Figura 4.5 - Amplificadores – transmissores de sinais.

O computador pessoal utilizado teve as seguintes características: processador AMD K6 II, com 56 Mbyte de memória RAM e disco rígido de 40 Mbyte.

A placa DIO-24, fabricada pela ICP DAS Corporation, desempenhou como interface digital. Essa placa foi integrada junto ao computador, comandou o acionamento dos motores dos misturadores, dos conjuntos motores-bombas para suprimento de ar, dos conjuntos motores-bombas do afluyente, dos conjuntos motores-

bombas do efluente e dos conjuntos motores-bombas do lodo. Essa placa possui oito entradas normalmente abertas e oito entradas normalmente fechadas, sendo usadas somente as oito entradas normalmente abertas.

Para a mistura dos reatores foram utilizados motores de corrente contínua, acoplados aos reguladores de tensão elétrica, marca Motron, que movimentaram as hélices internas por meio de hastes metálicas.

Os acionamentos dos dispositivos exigiram correntes elétricas maiores que as suportadas pela placa DIO-24, assim foi instalada uma placa de relés. Cada relé teve a sua bobina alimentada com a tensão de 12 VCC, com contato capaz de acionar cargas de até 1.250 Watts. Todos os dispositivos atuadores operaram com a tensão de 127 VCA.

Os difusores, de pedras porosas, fixados no fundo dos reatores, proporcionaram a aeração por meio das bombas peristálticas, durante a reação aeróbia. As bombas peristálticas, para o suprimento do oxigênio dissolvido, ficaram posicionadas acima dos reatores para evitar a incorporação de líquido no seu interior, durante a sua paralização, evitando danos aos equipamentos.

As bombas de alimentação, de descarte do lodo e de esvaziamento dos reatores foram tipo peristálticas, marca Cole-Parmer.

4.2.2 Estruturação do controle com cronograma predeterminado

Os controles com os cronogramas predeterminados foram aplicados do ciclo 1 ao 70, tendo por objetivo obter informações para os estudos dos pontos notáveis de controle e a sintonia do controlador difuso, nos processos de nitrificação e desnitrificação, utilizando-se os produtos da respiração endógena e a matéria orgânica não rapidamente biodegradável, como doador de elétrons no processo de desnitrificação.

Para a operação dos reatores seqüenciais em batelada, neste estudo de longo prazo, foi definido o ciclo operacional descrito na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Ciclo operacional predeterminado 1 ao 70

Períodos	Duração (minutos)	Seqüência (minutos)	Descrição
Enchimento	15,0	15,0 ñM / ñA	Acúmulo de substrato Efeito da diluição
Reação	505,0	160,0 M / A	Condições aeróbias
		330,0 M / ñA	Condições anóxicas
		15,0 M / A	Condições aeróbias
Sedimentação	60,0	60,0	Condições de tranquilização
Esvaziamento	15,0	15,0	Descarte do efluente
Descanso	125,0	125,0	Condições anaeróbias

M – Mistura ñM – Não mistura A – Aeração ñA – Não aeração

Os reatores seqüenciais em batelada operaram com dois ciclos diários idênticos, os reatores foram alimentados com o esgoto sintético durante o período de enchimento. O processo de remoção carbonácea e a nitrificação ocorreram durante a reação em condições aeróbias, com altas concentrações de oxigênio dissolvido. O processo de desnitrificação ocorreu durante a reação em condições anóxica, com baixas concentrações de oxigênio dissolvido, porém com a presença de nitratos, nesse caso, os doadores de elétrons foram os produtos da respiração endógena e da matéria orgânica, não rapidamente biodegradável. Um período de 15,0 minutos com aeração e mistura, antes do período de sedimentação foi aplicado, para evitar as eventuais desnitrificações durante a decantação.

O procedimento de descarte do lodo excedente, foi realizado no final do primeiro período da reação aeróbia, com o misturador e a aeração em funcionamento.

Para a integração e o gerenciamento do sistema de aquisição de dados e dos dispositivos atuadores, nos reatores seqüenciais em batelada, foi desenvolvido o programa computacional CONRSB, que possibilitou o monitoramento contínuo dos sensores e o controle. O código computacional foi desenvolvido para operar dois reatores seqüenciais em batelada, simultaneamente, com ciclos diferenciados e, nessa etapa, com o controle de cronograma predeterminado.

Alguns requisitos importantes foram incorporados nas rotinas do CONRSB, como a continuação do período do ciclo, até a sua completa duração, na ocorrência da interrupção da energia elétrica no experimento. Outro recurso refere-se a duração do ciclo do reator, que jamais é alterada, assim o acréscimo na duração do período é

reduzido do último período do ciclo, o descanso. Foi criado, também, um arquivo informativo das condições de ausência de energia elétrica e da duração do período.

Na implementação do programa computacional CONRSB, utilizou-se a linguagem Borland Delphi, versão 5.0, em ambiente Microsoft Windows 98.

Na tela principal do CONRSB, mostrada na Figura 4.6, observa-se na barra de *menu* as opções: ARQUIVO, CALIBRAÇÃO, CONTROLE, MONITORAMENTO e SOBRE.

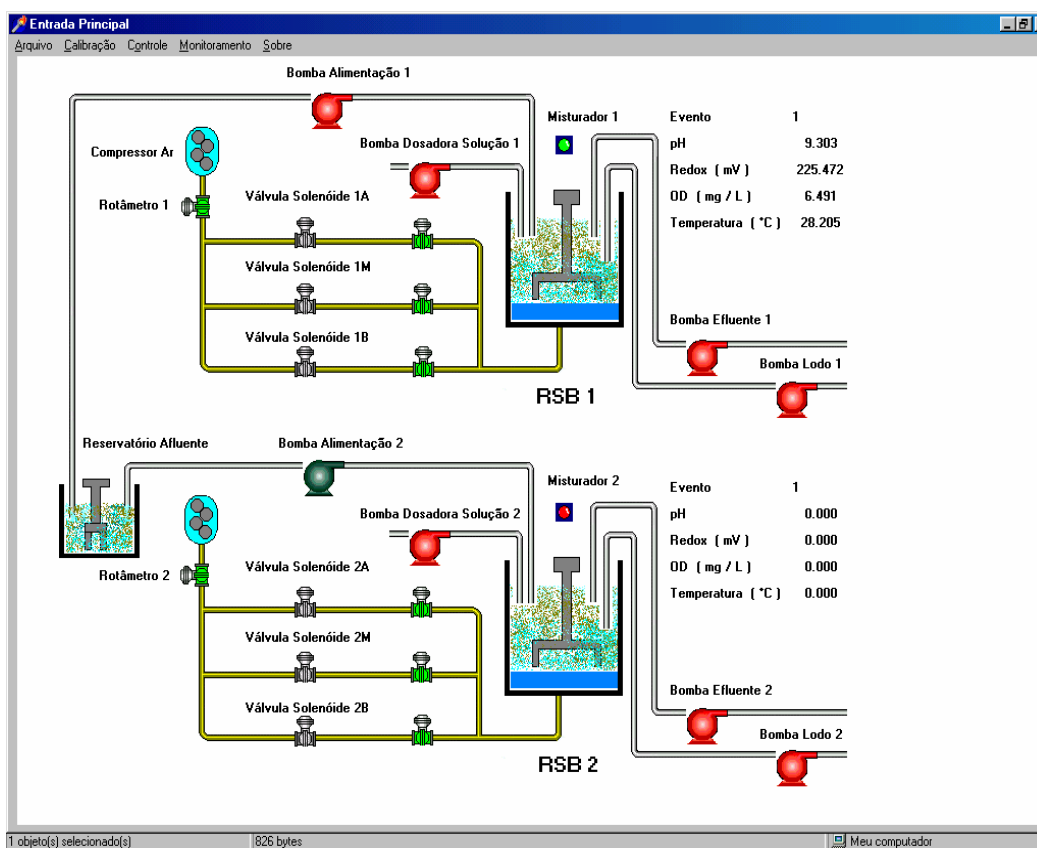


Figura 4.6 - Tela principal do CONRSB.

O *menu* ARQUIVO foi composto pelos *submenus*: (a) Gera configuração do reator 1, (b) Gera configuração do reator 2, (c) Ler configuração do reator 1, (d) Ler configuração do reator 2 e (e) Sair. Por meio desse *menu* foi possível elaborar as configurações dos reatores, que foram arquivados, em formato texto, no disco rígido.

O *menu* CALIBRAÇÃO permitiu que os sensores fossem calibrados, durante os períodos de descanso dos reatores, utilizando-se de padrões físico-químicos, em conformidade com o STANDARD METHODS (1998).

O *menu* CONTROLE foi composto pelo *submenu* (a) Manual. Esse *menu* permitiu o acionamento dos dispositivos de forma manual, necessário para verificação do funcionamento dos equipamentos, assim como algumas operações manuais.

O *menu* MONITORAMENTO foi composto pelos *submenus*: (a) Numérico – RSB 1 e 2, (b) Gráfico - RSB 1 e (c) Gráfico - RSB 2. Por meio desse *menu* foi possível o acompanhamento numérico e gráfico dos valores medidos, pelo monitor de vídeo.

O Anexo A mostra as telas do monitor de vídeo dos respectivos *submenus*, com mais detalhes.

Na Figura 4.6, os conjuntos motores-bombas das alimentações, os conjuntos motores-bombas dos efluentes, os conjuntos motores-bombas dos lodos, os conjuntos motores dos misturadores e as válvulas solenóides apresentam os seus estados de funcionamento com a indicação da cor verde, e de não-funcionamento com a indicação da cor vermelha, permitindo a verificação instantânea das condições operacionais de acordo com o período do ciclo no reator. O período do ciclo, as leituras instantâneas dos pHs, dos ORPs, dos ODs e das temperaturas, nos respectivos reatores também são indicadas nessa tela.

Nas alimentações dos reatores foram utilizados esgotos sintéticos, com características típicas das águas residuárias domésticas. O procedimento de preparo foi realizado a cada três dias e mantido sob refrigeração à 10°C, a sua composição é mostrada na Tabela 4.2. As características físico-químicas do esgoto sintético serão apresentadas no capítulo Resultados e Discussão.

No procedimento de partida dos reatores seqüenciais em batelada foi inoculado o lodo, originário da estação de tratamento de esgotos domésticos do Arvoredo, que operam com reatores seqüenciais em bateladas, na cidade de Porto Alegre. O volume de lodo inoculado foi de 4,0 L, com as concentrações de sólidos suspensos totais de 504,0 mg/L e 452,0 mg/L, respectivamente, para os reatores um e dois. As concentrações de sólidos suspensos voláteis foram de 342,0 mg/L e 324,0 mg/L, respectivamente para os reatores um e dois.

Os experimentos foram monitorados por meio das análises físico-químicas, mostrados na Tabela 4.3, sendo realizadas em conformidade com STANDARD METHODS (1998).

Tabela 4.2 - Composição do esgoto sintético

Fonte de carbono	CH ₃ COONa . 3 H ₂ O	1,00 g/L	Minerais traços	
Fonte de Nitrogênio	NH ₄ Cl	0,227 g/L	FeCl ₃ . 6 H ₂ O	1,50 g/L
	Extrato de Carne	0,02 g/L	H ₃ BO ₃	0,15 g/L
Fonte de Fósforo	KH ₂ PO ₄	0,27 g/L	CuSO ₄ . 5 H ₂ O	0,03 g/L
			KI	0,03 g/L
Meio básico	MgSO ₄ . 7 H ₂ O	0,60 g/L	MnCl ₂ . 4 H ₂ O	0,12 g/L
	CaCl ₂ . 2 H ₂ O	0,07 g/L	Na ₂ MoO ₄ . 2 H ₂ O	0,06 g/L
	EDTA	0,01 g/L	ZnSO ₄ . 7 H ₂ O	0,12 g/L
	Minerais traços	2,00 mL/L	CoCl ₂ . 6 H ₂ O	0,15 g/L

(Fonte: KUBA *et al.*, 1993, modificada)

Tabela 4.3 - Métodos analíticos

Parâmetro	Método analítico
Alcalinidade	2320 B – Método titulométrico
DQO	5220 C – Refluxo fechado / Método titulométrico
SS	2540 D – Sólidos suspensos a 105°C
SSV	2540 E – Sólidos suspensos voláteis a 550°C
NTK	4500 Norg C – Semi-micro Kjeldhal
NH ₃ - N	4500 NH ₃ – Destilação preliminar / Método titulométrico
NO ₃ ⁻ - N	4110 B – Cromatografia iônica
NO ₂ ⁻ - N	

4.2.3 Estruturação do controle difuso

A estruturação do controle difuso teve como intento complementar o desenvolvimento das rotinas computacionais, a sintonia e a sua avaliação e validação experimental.

As apresentações desses itens são expostas com mais detalhes, a seguir.

4.2.3.1 Desenvolvimento das rotinas computacionais

O desenvolvimento das rotinas computacionais, no programa computacional CONRSB, teve como referência a arquitetura proposta por DRIANKOV *et al.* (1996), descrita no item 3.7.2.

As rotinas computacionais do controle difuso foram a normalização, a nebulização, a inferência, a desnebulização e a desnormalização. Sendo mais específico, pode-se definir os seguintes procedimentos para a implementação: a obtenção dos valores *crisps* por meio do sistema de aquisição de dados, a normalização dos valores *crisps*, a nebulização, a inferência com base de regras, a desnebulização e a desnormalização dos valores *crisps*.

Inicialmente, foi desenvolvida a pesquisa para a escolha dos parâmetros inferenciais *crisps* mais adequados, na qual se destacaram o pH, o ORP e o OD. Esses parâmetros foram escolhidos por serem usuais, reproduzíveis e de baixo custo, entre os sensores eletroquímicos.

As rotinas computacionais, no período aeróbio, foram implementadas com o objetivo de identificar o início e o final do processo de nitrificação, representados no perfil do pH pelos pontos de máximo e mínimo locais (CYBIS, 1992; CHANG & HAO, 1996; PAUL *et al.*, 1998; AKIN & UGURLU, 2005). CYBIS (1992) mostrou, no perfil do pH, esses pontos locais de máximo e mínimo no esquema da Figura 3.10, identificados como ponto “B”, quando ocorreu o início da nitrificação; e o ponto “BB – vale da amônia”, quando ocorreu o final da nitrificação. As variáveis dpH/dt e $dpH/d(t-1)$ e o pH foram as variáveis de entrada do controlador difuso, para o período da reação aeróbia.

As rotinas computacionais, no período anóxico, foram implementadas com o objetivo de identificar o início e o final do processo de desnitrificação. Para o início da identificação dos pontos notáveis, utilizou-se a variável OD, representada pelos conjuntos nebulosos, que foram definidos no procedimento de sintonia. Na identificação do final, desse processo, utilizou-se o ponto de referência denominado “joelho” do nitrato, no perfil do ORP (CYBIS, 1992; PLISSON-SAUNE *et al.*, 1996; YU *et al.*, 1997; PAUL *et al.*, 1998; CHEN *et al.*, 2002; PENG *et al.*, 2002). PLISSON-SAUNE *et al.* (1996) mostraram no perfil do ORP, esse ponto na Figura

3.11 (χ – “joelho” do nitrato), identificado como o momento em que ocorre o desaparecimento do nitrogênio nitrato, indicando o final da desnitrificação e o início das atividades sulfato-redutivas. As variáveis de entrada para o período da reação anóxica, foram a $dORP/dt$, $dORP/d(t-1)$ e o OD.

A Figura 4.7 mostra o esquema dos pontos notáveis, utilizados como controle, visando identificar os instantes finais das reações aeróbias e anóxicas. As notações dos pontos notáveis a serem adotadas como padrão, neste trabalho, foram: Ponto “A” – início do processo de nitrificação; Ponto “B” – final do processo de nitrificação (“vale” da amônia); Ponto “C” – início do processo de desnitrificação; Ponto “D” – final do processo de desnitrificação (“joelho” do nitrato); e Ponto “E” – atuação do controle difuso, na reação anóxica. Os índices “p”, “r” e “o” referem-se às sondas do pH, ORP e OD, respectivamente.

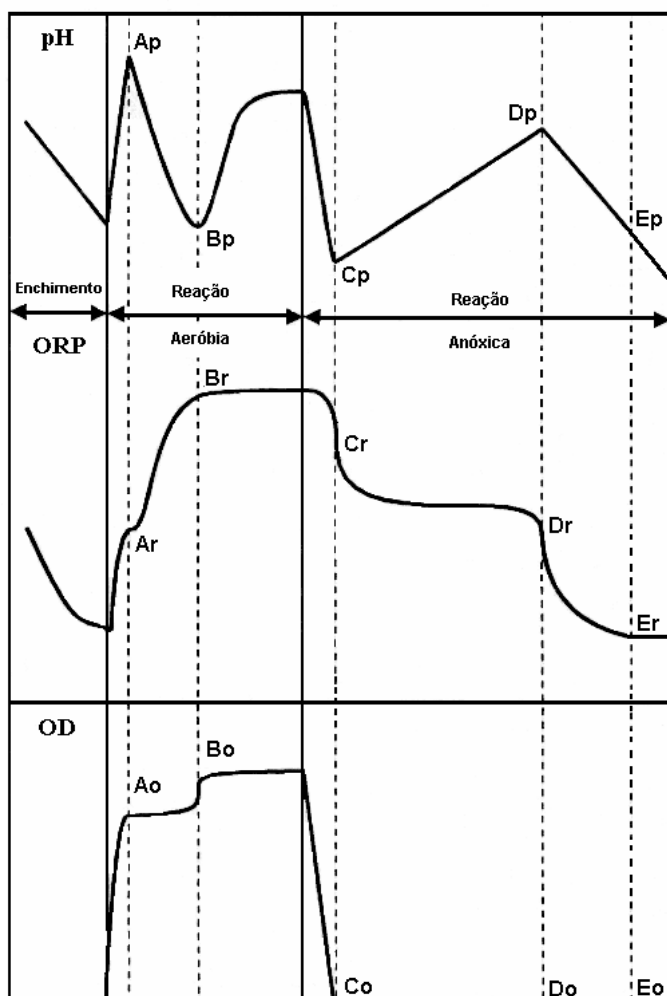


Figura 4.7 – Esquema dos pontos notáveis a controlar.

Para normalizar as variáveis de entrada no universo de discurso de [0,1], foram avaliados os valores extremos do ciclo 1 ao 70. Para isso, foram identificados os valores extremos de mínimo e máximo nos domínios das variáveis *crisps*, obtidos do experimento aplicando o controle predeterminado.

Com esses valores, foram criadas expressões algébricas capazes de transformar das variáveis *crisps* para o universo de discurso [0,1]. A expressão 4.1, mostra a forma algébrica genérica da normalização:

$$U = (U_m - U_{ms}) / (U_{ms} - U_{mi}) + 1 \quad (4.1)$$

Onde: “U” é a variável normalizada, “U_m” é a variável *crisp* medida, “U_{mi}” é o valor inferior da variável *crisp* medida e “U_{ms}” é o valor superior da variável *crisp* medida.

As codificações das rotinas de normalizações para os períodos das reações aeróbia e anóxica, no programa computacional CONRSB, são mostradas no Anexo B, no item C.10, listagem do código fonte: UnAutoma.pas.

Na nebulização das variáveis, no período da reação aeróbia, utilizaram-se: três conjuntos nebulosos para a dpH/dt, três conjuntos nebulosos para a dpH/d(t-1) e dois conjuntos nebulosos para o pH, representando as variáveis lingüísticas da entrada. No período da reação anóxica, aplicaram-se: três conjuntos nebulosos para a dORP/dt, três conjuntos nebulosos para a dORP/d(t-1) e dois conjuntos nebulosos para o OD, para representar as variáveis lingüísticas da entrada.

As funções do tipo π foram utilizadas na nebulização. A função $\pi : U \rightarrow [0,1]$ é uma função com quatro parâmetros definida pela expressão matemática 4.2 e mostrada na Figura 4.8. A aplicação da função π teve o intuito de tornar a rotina computacional mais flexível, porém o conjunto nebuloso utilizado foi tipo triangular, na qual é uma forma reduzida da função π .

No período da reação aeróbia, as variáveis de entrada normalizadas sofreram nebulização por meio das funções obtidas, definitivamente, após a sintonia do controlador difuso.

As codificações das rotinas de nebulização para os períodos das reações aeróbia e anóxica, no programa computacional CONRSB, são mostradas no Anexo B, no item C.10, listagem do código fonte: UnAutoma.pas:

$$\pi(u; \alpha, \beta, \gamma, \delta) = \begin{cases} 0 & u < \alpha, \\ (u - \alpha) / (\beta - \alpha) & \alpha \leq x < \beta, \\ 1 & \beta \leq x \leq \gamma, \\ (\delta - u) / (\delta - \gamma) & \gamma < x \leq \delta, \\ 0 & u > \delta. \end{cases} \quad (4.2)$$

Onde: “u” é a variável *crisp* do universo de discurso; e “ α , β , γ e δ ” são os valores numéricos que definem a forma da função algébrica de nebulização, esses valores foram determinados no procedimento de sintonia do controlador.

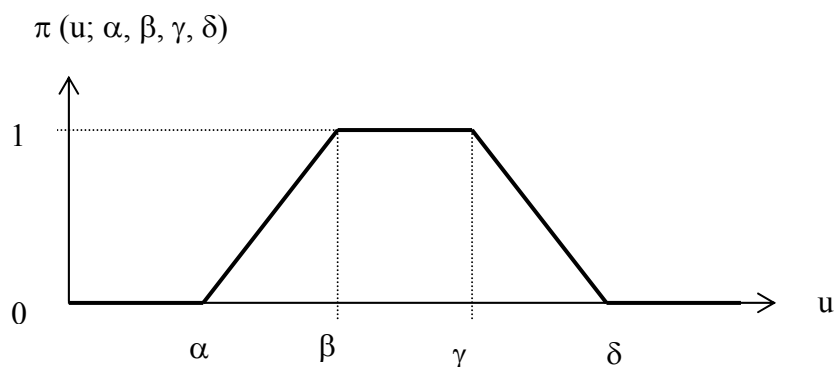


Figura 4.8 - Representação gráfica da função π .
(Fonte: DRIANKOV, 1996)

Na inferência do controle difuso foi adotada uma base heurística (regras), visto que, nesse caso, o amparo lingüístico do especialista é preponderante no resultado final.

Nas estruturações das implicações nebulosas foram utilizadas expressões simbólicas, para o período aeróbio e anóxico. Essas bases foram obtidas após a sintonia do controlador difuso.

A implicação empregada foi a de Mamdani, proposta por MAMDANI & ASSILIAN (1975), sendo baseada na operação de intersecção. Esse método foi escolhido por apresentar características mais adequadas, que a inferência nebulosa de

Takagi-Sugeno. Dentre essas vantagens, destacam-se a sua intuitividade, larga aplicação nos sistemas de controle e a adaptação para as entradas de dados advindos das experiências de especialistas humanos.

A máquina de inferência abordada foi o *modus ponens* generalizado, na qual cada regra de produção foi individualmente disparada, no final os valores controles de saída, de cada regra agregada, formaram o valor controle geral da saída.

O tempo de amostragem entre as inferências nebulosas, que também define as diferenciais do pH e do ORP, foi realizado pelo método das tentativas, sendo previsto inicialmente o tempo entre inferências de um minuto e, gradualmente, incrementado até cinco minutos. O tempo de amostragem utilizado foi de cinco minutos, entre inferências nebulosas, no qual obteve-se uma sintonia adequada para o controlador. TSAI *et al.* (1994) relataram que não existe outro método de amostragem, senão esse utilizado. CHEN *et al.* (2002) adotaram o tempo de amostragem entre inferências de quatrocentos segundos, enquanto KIM *et al.* (2004) adotaram cinco minutos, para a operação em tempo real utilizando o potencial de oxirredução.

As codificações das rotinas das inferências para os períodos das reações aeróbia e anóxica, no programa computacional CONRSB, são mostradas no Anexo B, no item B.10, listagem do código fonte: UnAutoma.pas.

O método dos centros das áreas foi aplicado para a desnebulização nos períodos das reações aeróbia e anóxica, na qual um único valor de saída foi obtido a partir dos conjuntos nebulosos cortados. Esse método é mostrado no item 3.7.1.8 e a codificação da rotina, no programa computacional CONRSB, é mostrada no Anexo B, no item B.10, listagem do código fonte: UnAutoma.pas.

A desnormalização converteu o valor da saída da desnebulização, nos períodos das reações aeróbia e anóxica, para os domínios físicos das variáveis *crisps* de controle. A decisão de interromper, a reação aeróbia e anóxica, ocorreu todas às vezes que o valor numérico de saída do controle difuso, resultante da desnebulização, ficou menor que o valor referência de desnormalização, que foi fixado por meio do procedimento de sintonia do controlador difuso. Os dois estados definidos no resultado da desnormalização foram: acionar ou desligar os dispositivos.

4.2.3.2 Sintonia do controlador difuso

A sintonia do controlador difuso teve como propósito, obter os parâmetros ajustados das funções de pertinência das variáveis medidas das entradas e saídas, assim como a estruturação definitiva da base de regras e dos valores das desnormalizações. Para isso, utilizou-se os dados em tempo não real dos ciclos 1 ao 70, quando ocorreram os processos de nitrificação e desnitrificação, juntamente com o programa computacional MATLAB.

As rotinas do programa computacional MATLAB utilizadas foram o *Fuzzy Logic Toolbox*, associadas com o *Simulink*, conforme os procedimentos descritos a seguir.

O *Fuzzy Logic Toolbox* é um conjunto de funções integrantes do ambiente computacional MATLAB, que possui procedimentos para criar e editar as inferências nebulosas, integrado ao simulador dinâmico *Simulink* (MATHWORKS, 1999).

A inferência nebulosa permitiu o processo de mapeamento dos dados de entrada com os dados de saída. Assim, o mapeamento forneceu as bases para as tomadas de decisões realizadas. Esses processos da inferência estão descritos, de forma pormenorizada, na revisão bibliográfica, item 3.7.2 - Controle difuso.

As Figuras 4.9 até 4.22 mostram a aplicação do *Fuzzy Logic Toolbox* e do *Simulink*, para o período aeróbio e anóxico, respectivamente. Esse procedimento foi realizado em cinco etapas: a nebulização sobre as variáveis de entrada, a aplicação dos operadores nebulosos, a aplicação do método de implicação de Mamdani, as agregações de todas as saídas e a desnebulização, descritas a seguir.

Na etapa de nebulização, sobre as variáveis de entrada, foi determinado o grau de pertinência de cada variável, por meio das funções de pertinências. As Figuras 4.10, 4.11 e 4.12 mostram o editor das funções de pertinências utilizado para o período aeróbio. As Figuras 4.17, 4.18 e 4.19 referem-se ao período anóxico.

No *Fuzzy Logic Toolbox*, as variáveis de entrada ficaram no domínio representados pelos alcances mínimos e máximos, sendo representadas por valores numéricos *crisps* nos respectivos universos de discursos. Os resultados das saídas foram os graus de pertinências no intervalo de 0 a 1.

Uma vez as variáveis de entrada nebulizadas e conhecido o grau para o qual cada parte do antecedente foi satisfeito para cada regra, foi verificado se os antecedentes de cada regra tiveram mais de uma parte, aplicando os operadores “E” ou “OU” para obter um número que representou o resultado do antecedente para aquela regra. Esse número foi, então, aplicado na função de pertinência de saída.

Considerando que as decisões foram baseadas nos testes de todas as regras de inferência nebulosa, as regras foram combinadas para a tomada da decisão final. O peso para cada regra foi de uma unidade, sendo aplicado para o número dado pelo antecedente.

A etapa de agregação combinou os conjuntos nebulosos de saída de cada regra em um único conjunto nebuloso, na qual aplicou a desnebulização. As Figuras 4.13 e 4.20 mostram os conjuntos nebulosos de saída, utilizados no período aeróbio e anóxico, respectivamente.

As bases de regras, para o período aeróbio e anóxico, são mostradas nas Figuras 4.14 e 4.21, respectivamente. As formações das regras foram realizadas por meio das simulações no programa computacional *Simulink*, com auxílio do especialista.

Uma vez implementada a aplicação do *Fuzzy Logic Toolbox*, iniciou-se o desenvolvimento dos modelos de simulação em tempo não real, utilizando o *Simulink*.

O *Simulink* é um programa computacional integrante do MATLAB que permitiu a modelagem, a simulação do ciclo 70 e a análise dinâmica do sistema. A sua aplicação foi dividida em duas etapas: as estruturações dos modelos e a sua simulação.

Na primeira etapa foi realizada a edição dos modelos a serem simulados. Os modelos, expressos graficamente, descreveram as relações de dependências matemáticas e dos tempos entre as entradas, os estados e a saídas dos sistemas.

Na segunda etapa, o comportamento do sistema foi simulado para um tempo específico, na qual o *Simulink* utilizou as informações em tempo não real, como entradas.

O esquema da Figura 4.15 mostra o simulador do controlador difuso, para o período aeróbio. Nesse esquema, são visualizados os blocos principais para: as

variáveis de entrada, as normalizações, a discretização, o atraso de tempo na variável de entrada, a inferência nebulosa e a variável de saída.

Os blocos de entrada possibilitaram a introdução das variáveis pH, dpH/dt e $dpH/d(t-1)$.

Nos blocos das normalizações foram introduzidas as funções normalizadoras, que foram geradas conforme a expressão 3.1. O bloco da inferência nebulosa, criado anteriormente para o período aeróbio, foi alimentado pelas variáveis normalizadas, resultando um único valor numérico para cada instante de tempo.

O esquema da Figura 4.22 mostra o simulador do controlador difuso, para o período anóxico. Os blocos de entrada foram preparados para as variáveis OD e $dORP/dt$ e $dORP/d(t-1)$.

De forma semelhante ao período aeróbio, nos blocos das normalizações foram introduzidas as funções normalizadoras, nas quais foram geradas conforme a expressão 4.1.

O bloco da inferência nebulosa, criado anteriormente para a reação anóxica, foi alimentado pelas variáveis normalizadas, resultando um único valor numérico para cada instante de tempo.

Após a obtenção da sintonia do controlador difuso, nas quais foram estabelecidos os intervalos mínimos e máximos das variáveis de entrada, as funções de pertinência e as bases de regras. Essas informações alimentaram o banco de dados do programa computacional CONRSB, possibilitando a operação do experimento do ciclo 71 a 85 com o controle difuso.

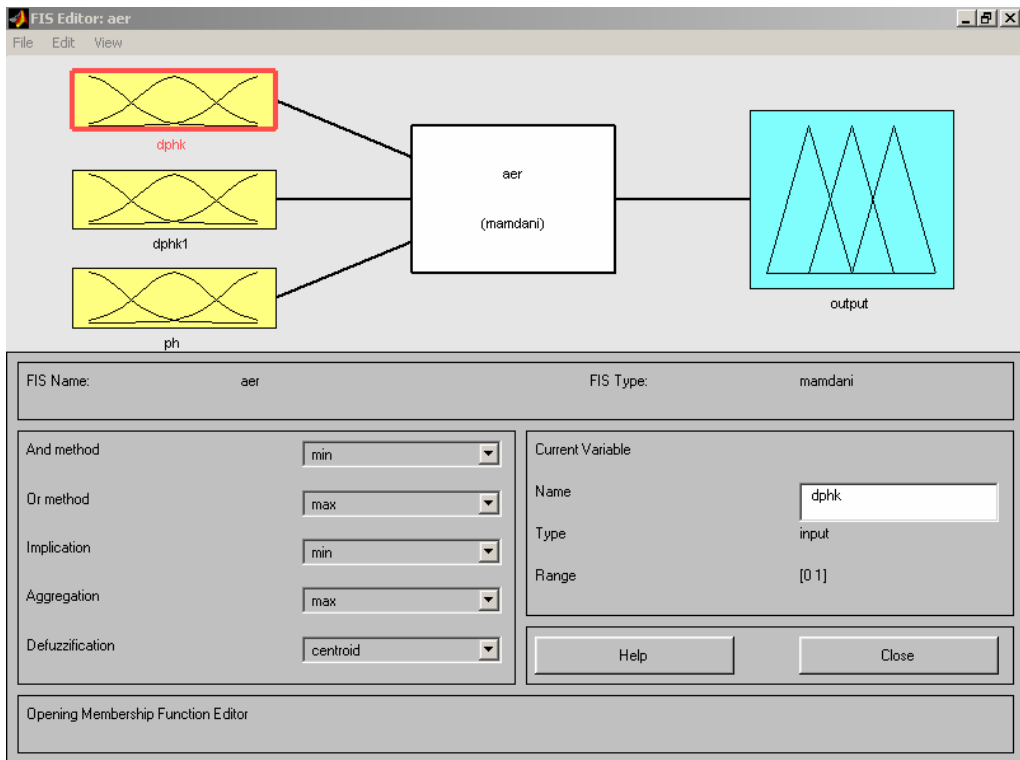


Figura 4.9 - Editor MATLAB da inferência nebulosa, reação aeróbia.

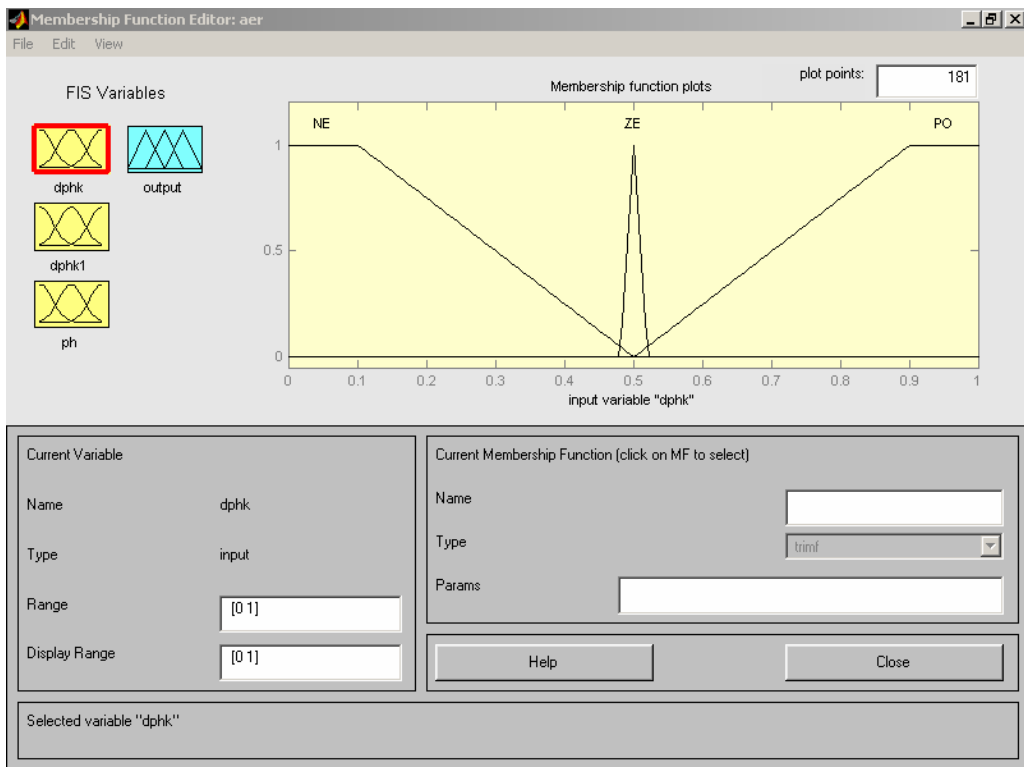


Figura 4.10 - Editor MATLAB da função de pertinência dpH/dt , reação aeróbia.

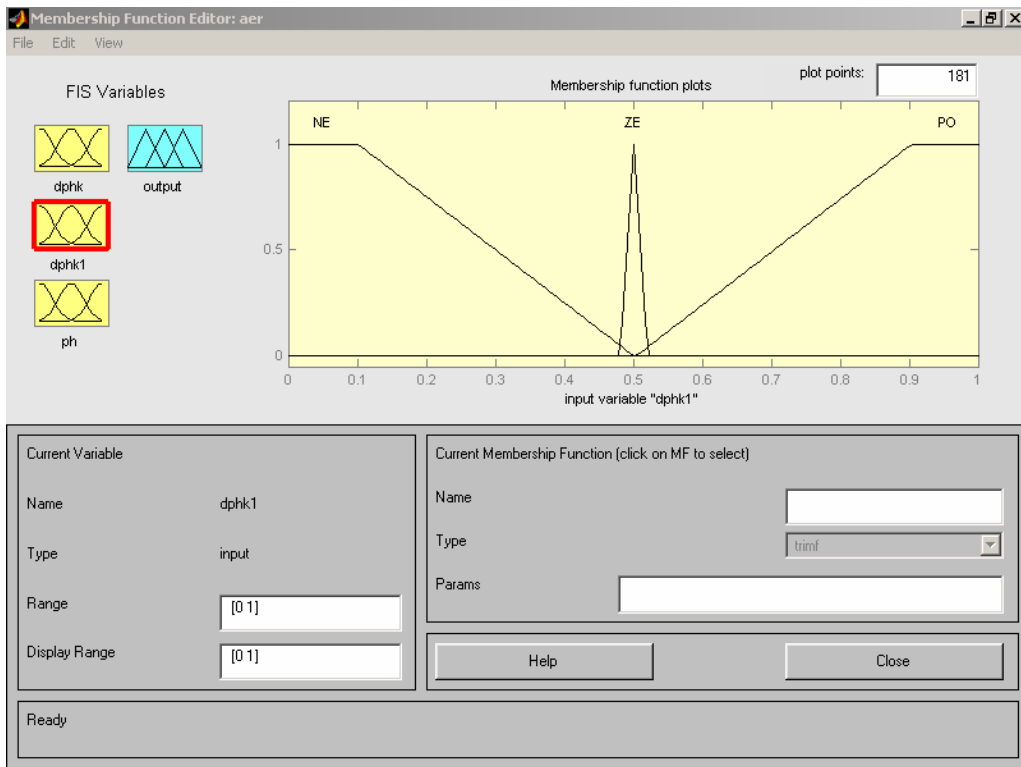


Figura 4.11 - Editor MATLAB da função de pertinência $\text{d}pH / \text{d}(t-1)$, reação aeróbia.

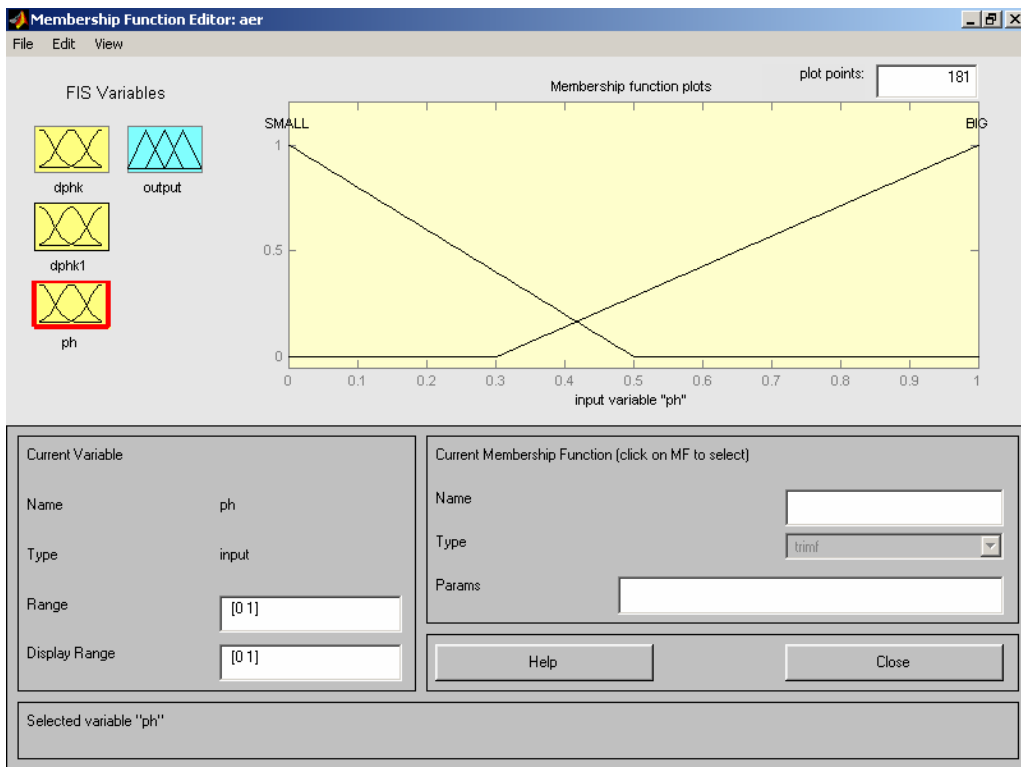


Figura 4.12 - Editor MATLAB da função de pertinência pH, reação aeróbia.

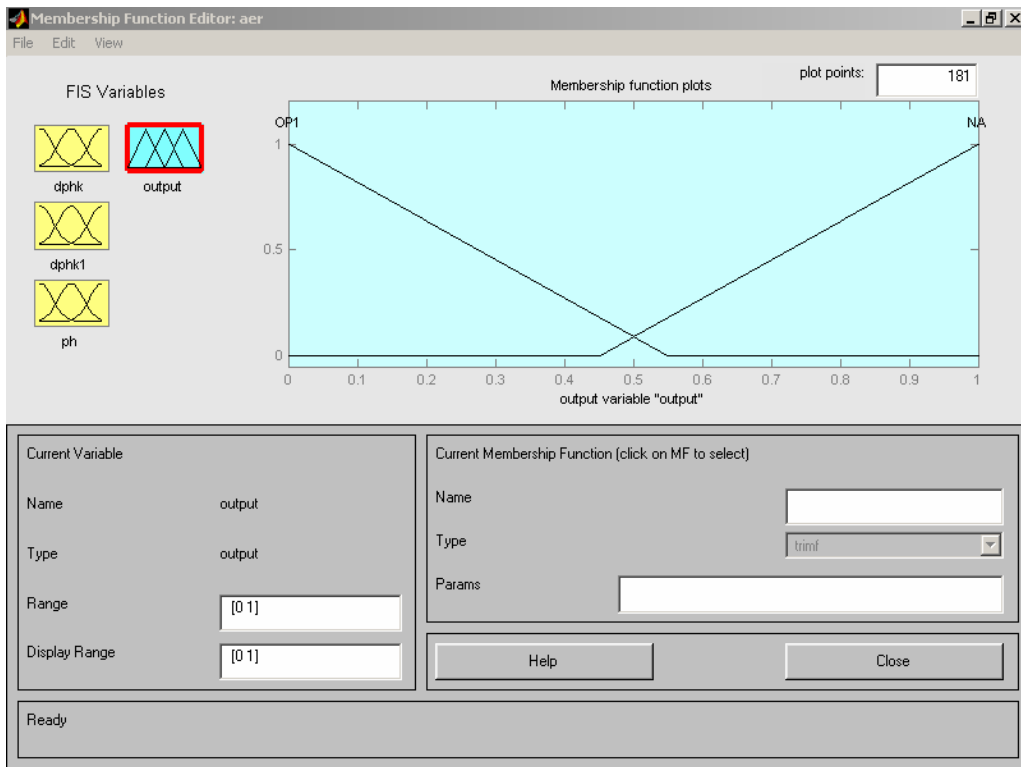


Figura 4.13 - Editor MATLAB da função de pertinência de saída, reação aeróbia.

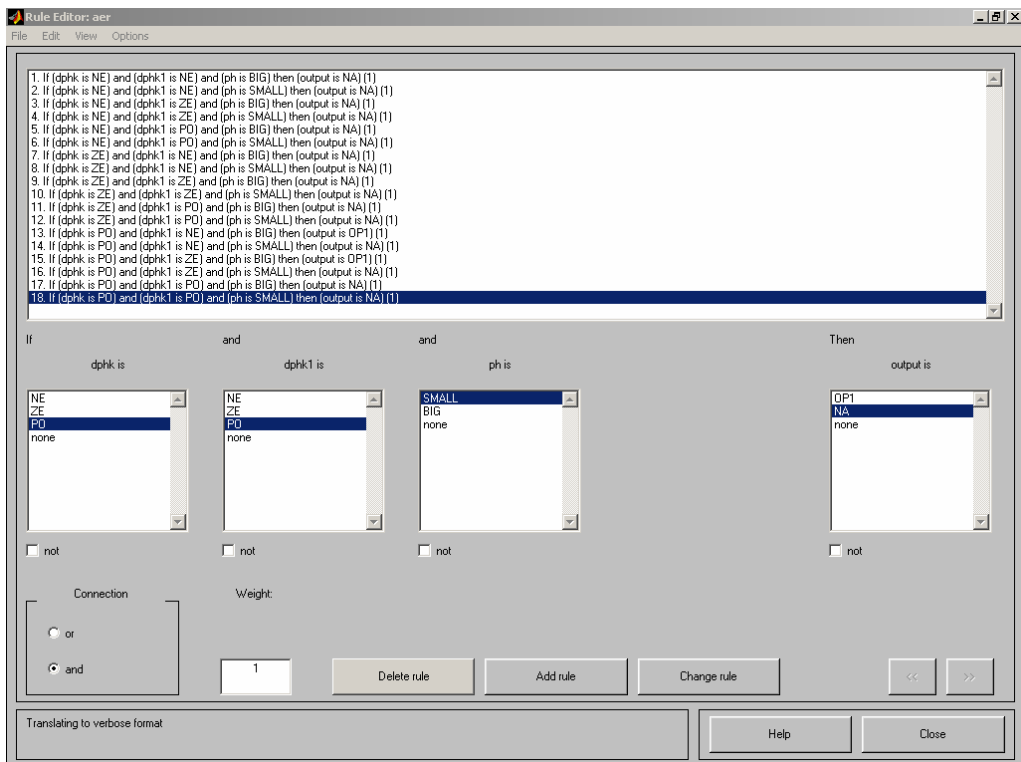


Figura 4.14 - Editor MATLAB da base de regras, reação aeróbia.

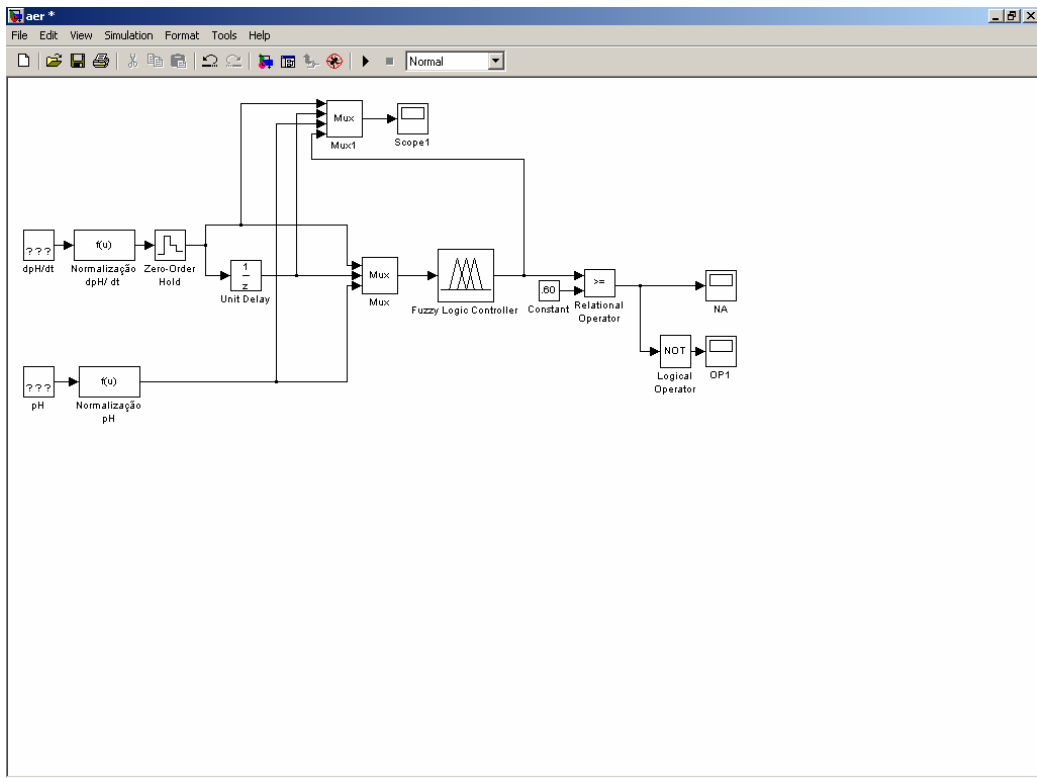


Figura 4.15 - Esquema MATLAB da simulação na inferência nebulosa, reação aeróbia.

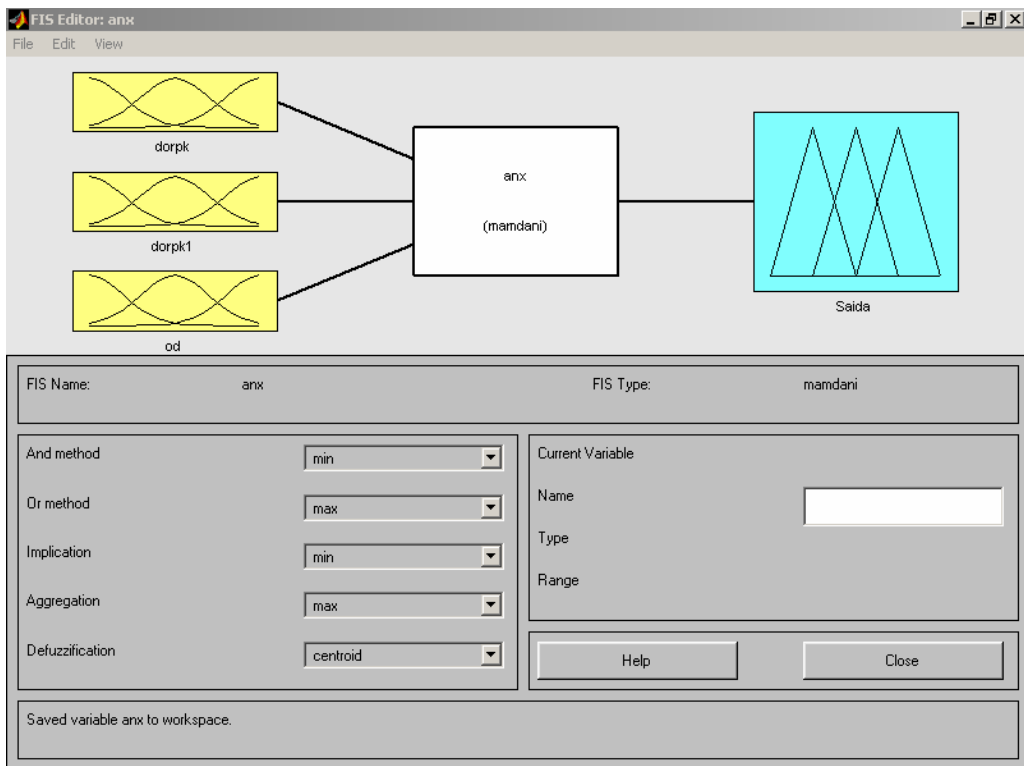


Figura 4.16 - Editor MATLAB da inferência nebulosa, reação anóxica.

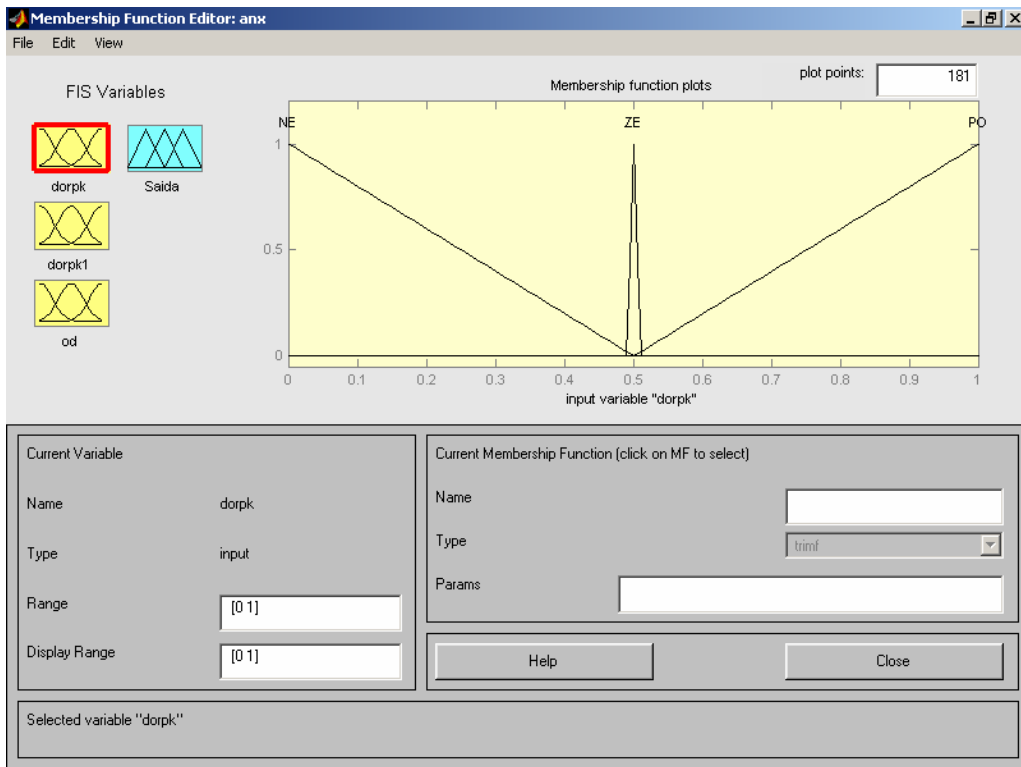


Figura 4.17 - Editor MATLAB da função de pertinência $dORP/dt$, reação anóxica.

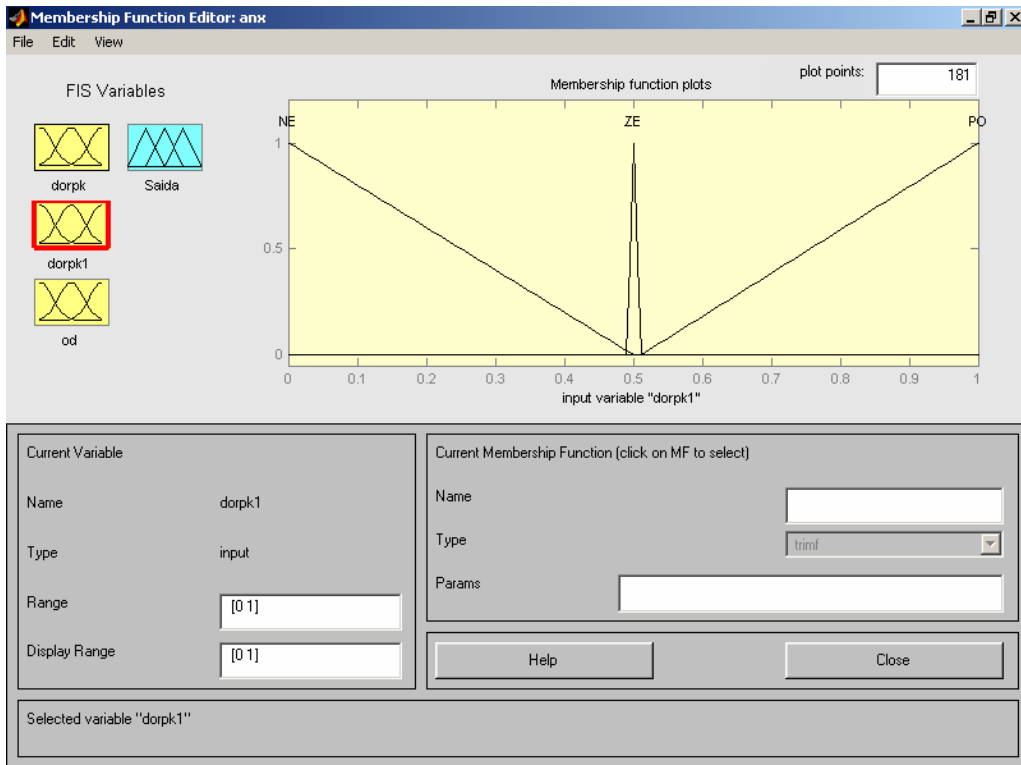


Figura 4.18 - Editor MATLAB da função de pertinência $dORP/d(t-1)$, reação anóxica.

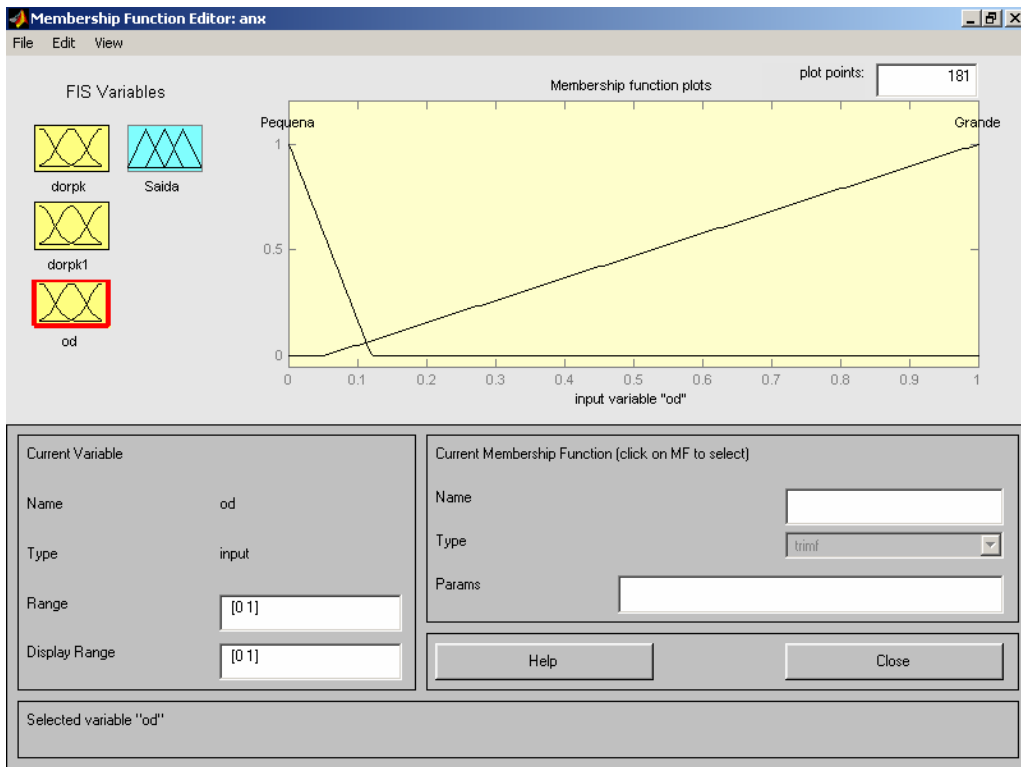


Figura 4.19 - Editor MATLAB da função de pertinência OD, reação anóxica.

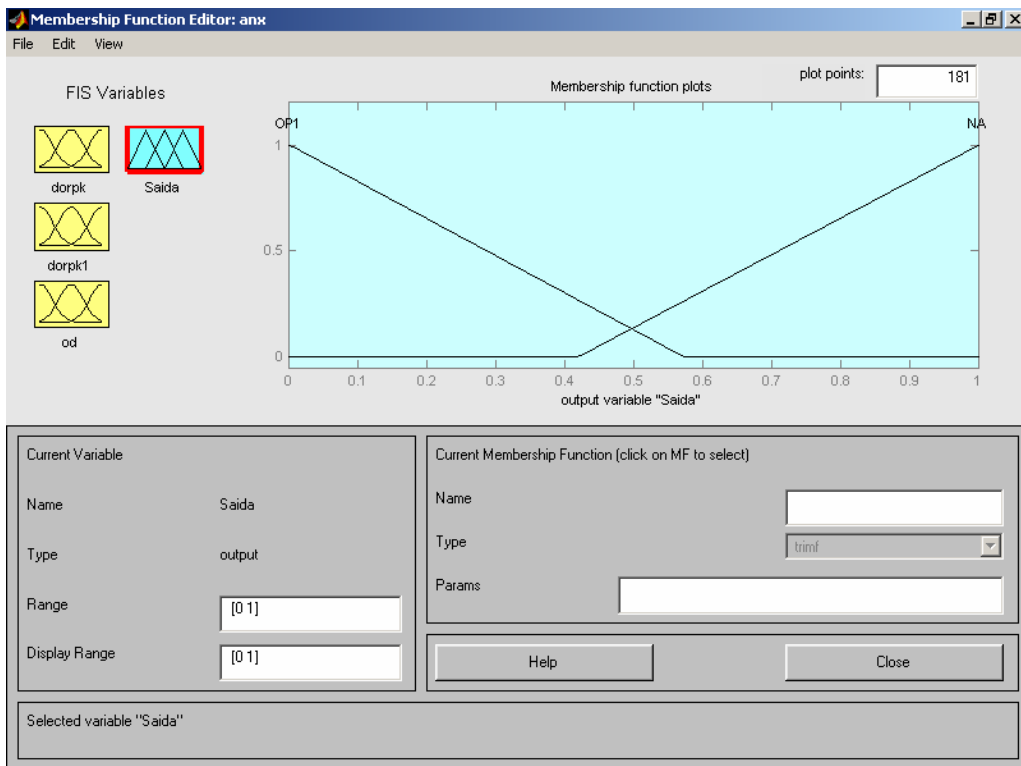


Figura 4.20 - Editor MATLAB da função de pertinência de saída, reação anóxica.

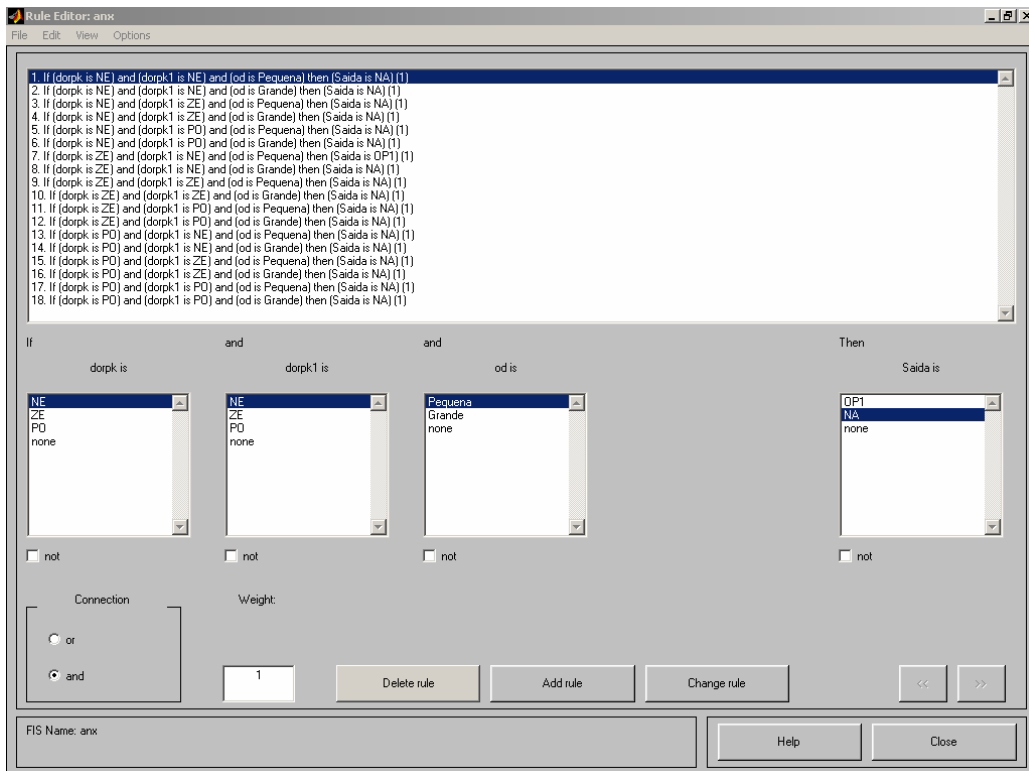


Figura 4.21 - Editor MATLAB da base de regras, reação anóx ica.

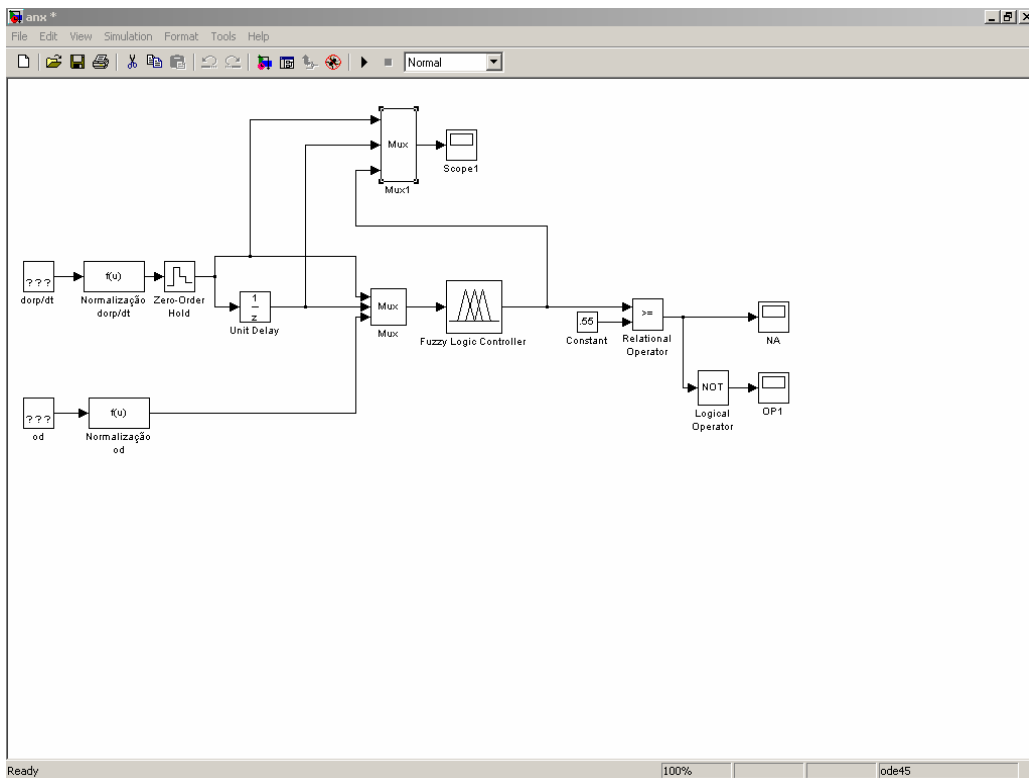


Figura 4.22 - Esquema MATLAB da simulação na inferência nebulosa, reação anóxica.

4.2.3.3 Avaliação e a validação

A avaliação e validação experimental do controlador difuso consistiram na realização das evidências experimentais, na qual o objetivo foi verificar os parâmetros adotados durante a sintonia. O experimento foi realizado do ciclo 71 ao 85, a duração do ciclo foi mantida conforme a Tabela 4.4, com dois ciclos diários de 720,0 minutos cada, porém houve a atuação do controle difuso, na qual possibilitaram reduções nas durações dos períodos, nas reações aeróbia e anóxica.

Durante a validação do controlador, é importante esclarecer que a duração do ciclo do reator jamais foi alterada. Assim, com a operação do controle difuso, as reduções na duração dos períodos das reações foram transferidas para o último período, o descanso.

Durante todos os ciclos em que não houve as condições favoráveis para a interrupção do período da reação, os ciclos foram realizados conforme a configuração predeterminada dos períodos.

Na situação de falta de energia elétrica e com a reiniciação do ciclo, o controle difuso atuou na identificação das condições favoráveis para a interrupção do período, normalmente.

Tabela 4.4 - Ciclo operacional 71 ao 85

Períodos	Duração (minutos)	Seqüência (minutos)	Descrição
Enchimento	15,0	15,0 ñM / ñA	Acúmulo de substrato Efeito da diluição
Reação	505,0	200,0 M / A	Condições aeróbias
		290,0 M / ñA	Condições anóxicas
		15,0 M / A	Condições aeróbias
Sedimentação	60,0	60,0	Condições de tranquilização
Esvaziamento	15,0	15,0	Descarte do efluente
Descanso	125,0	125,0	Condições anaeróbias

M – Mistura ñM – Não mistura A – Aeração ñA – Não aeração

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados dos experimentos desenvolvidos, conforme os materiais e métodos descritos no capítulo quatro.

Na seqüência dos experimentos, as aplicações do controle com cronograma predeterminado e do controle difuso são apresentadas. Os experimentos foram realizados, seguindo os aspectos: (a) caracterização dos principais parâmetros físico-químicos envolvidos, (b) eficiências de remoções dos substratos, (c) monitoramento e controle do pH, ORP e OD, (d) avaliação e validação do controlador difuso, e (e) os perfis temporais dos principais parâmetros físico-químicos envolvidos.

As equações utilizadas nos cálculos das eficiências da nitrificação e desnitrificação, encontram-se descritas no Anexo C.

5.1 Experimento aplicando o controle com cronograma predeterminado

Os resultados operacionais do reator seqüencial em batelada 1, referente aos ciclos 1 ao 70, são apresentados a seguir. Os resultados do reator seqüencial em batelada 2 não são apresentados, considerando que durante o ciclo 42 houve uma excessiva perda do lodo, impossibilitando a continuidade do experimento. Assim, a partir deste momento, o reator seqüencial em batelada 1 será denominado, apenas, como reator seqüencial em batelada (RSB).

As composições físico-químicas do esgoto sintético, com características domésticas, estão apresentadas na Tabela 5.1. Esse esgoto sintético pode ser caracterizado como médio a forte em termos de concentração de DQO e NTK, sendo a concentração do SST fraca, tomando como referência TCHOBANOGLIOUS & BURTON (1991).

Tabela 5.1 - Composição físico-química do esgoto sintético

Parâmetros (mg/L)	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor mínimo	Valor máximo
DQO (total)	427,7	56,4	385,0	564,7
SST (filtrado)	10,8	1,1	9,0	12,6
NTK (filtrado)	67,5	5,4	61,3	75,4
Nitrogênio amoniacal (filtrado)	35,9	4,4	30,7	42,2
Nitrogênio oxidado (filtrado)	1,2	0,3	0,9	1,7
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L) (total)	240,2	1,2	238,4	242,1

A relação DQO/NTK é de, aproximadamente, 5 mg DQO/mg N, com a média de 4,67 mg DQO/mg N, variando de 4,05 a 6,58 mg DQO/mg N, podendo ser classificado como processo combinado de oxidação de carbono e nitrificação, conforme TCHOBANOGLOUS & BURTON (1991).

Tomando como referência a DQO afluente e o SSVLM, a relação A/M média é de 0,16 kg DQO/kg SSVLM.dia, variando de 0,12 a 0,24 kg DQO/ kg SSVLM.dia. Esses valores representam os relatados para os sistemas com aeração prolongada (TCHOBANOGLOUS & BURTON, 1991; ORHON & ARTAN, 1994).

A estratégia de descarte do lodo foi realizada por meio da fixação do valor do SSTLM em 2.700,0 mg/L, proporcionando uma idade de lodo correspondente de 29 dias.

A Tabela 5.2 apresenta os parâmetros de performance do reator seqüencial em batelada, operado do ciclo 1 ao 85, para a discussão dos resultados evolutivos dos ciclos.

Tabela 5.2 - Parâmetros de performance do RSB

Parâmetros	Unidade	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor mínimo	Valor máximo
SSTLM	mg/L	2594,8	319,7	1902,1	2896,0
SSVLM	mg/L	1712,7	280,4	1045,3	1971,6
SSVLM	% SSTLM	65,7	5,1	55,0	73,5
IVL	mL/g	117,5	17,7	80,0	140,0
A/M	d ⁻¹	0,16	0,04	0,12	0,24
DQO efluente (t)	mg/L	39,7	42,8	10,1	138,4
Remoção DQO (t)	%	90,8	10,1	66,7	97,6
SS efluente	mg/L	5,4	0,7	4,3	6,2
Remoção SS	%	49,6	8,1	38,0	60,9
NTK efluente (f)	mg/L	33,6	18,5	15,2	57,2
Remoção NTK (f)	%	73,0	6,3	62,2	77,2
N-amoniaco efluente (f)	mg/L	23,1	8,9	14,9	37,1
N-oxidado efluente (f)	mg/L	0,6	0,9	0,2	2,8
N efluente (f)	mg/L	34,2	18,6	15,4	57,5
Remoção N (f)	%	49,8	28,0	13,7	76,7
Alcalinidade efluente (t)	mg/L	170,7	31,5	131,3	210,1
Consumo específico líquido de alcalinidade	mg alcalinidade/ mg N removido	2,1	0,9	1,2	3,4
Tx. específica nitrificação	g N / kg SSVLM.d	24,2	11,0	8,3	33,4
Eficiência desnitrificação (f)	%	97,9	3,4	91,8	99,6
Tx. específica desnitrificação	g N / kg SSVLM.d	15,5	10,5	3,5	32,4
pH mín. – R. aeróbia	un.	6,2	0,2	5,7	6,7
pH máx. – R. aeróbia	un.	7,7	0,2	7,2	8,0
Duração – R. aeróbia (c)	min	162,1	4,5	158,0	200,0
OD mín. – R. anóxica	mg/L	0,0	0,0	0,0	0,0
OD máx. – R. anóxica	mg/L	3,6	0,4	2,9	4,5
Duração – R. anóxica (c)	min	164,4	34,8	154,0	290,0

(t) total (f) filtrado (c) ciclos 71 a 85

As Figuras 5.1 a 5.15 apresentam os dados cronológicos do reator seqüencial em batelada, do ciclo 1 ao 85, na forma gráfica para a discussão dos resultados.

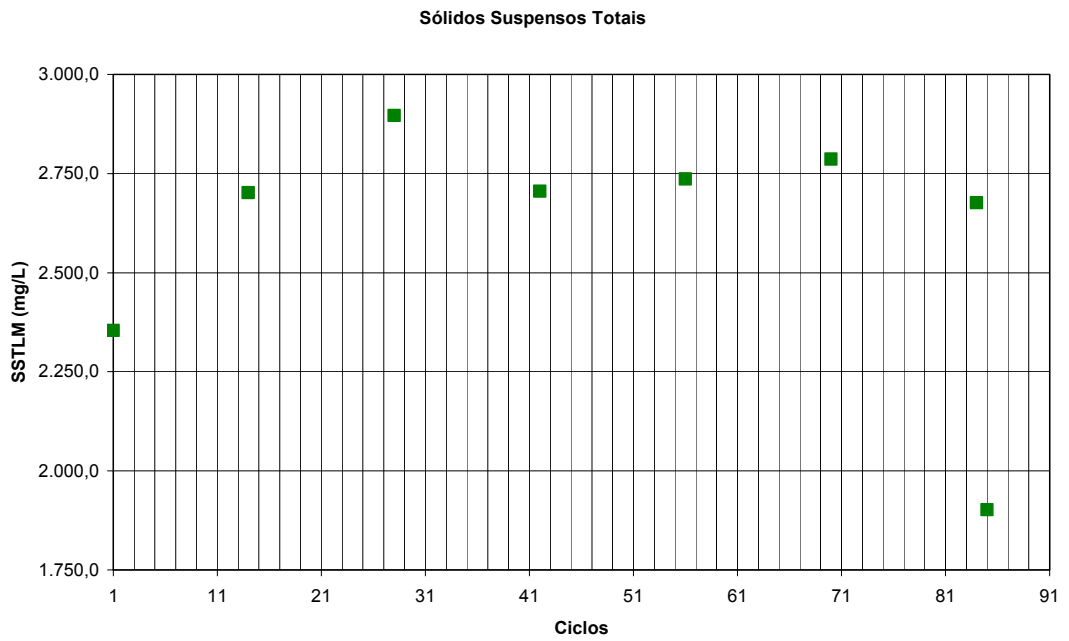


Figura 5.1 - Sólidos suspensos totais no licor misto.

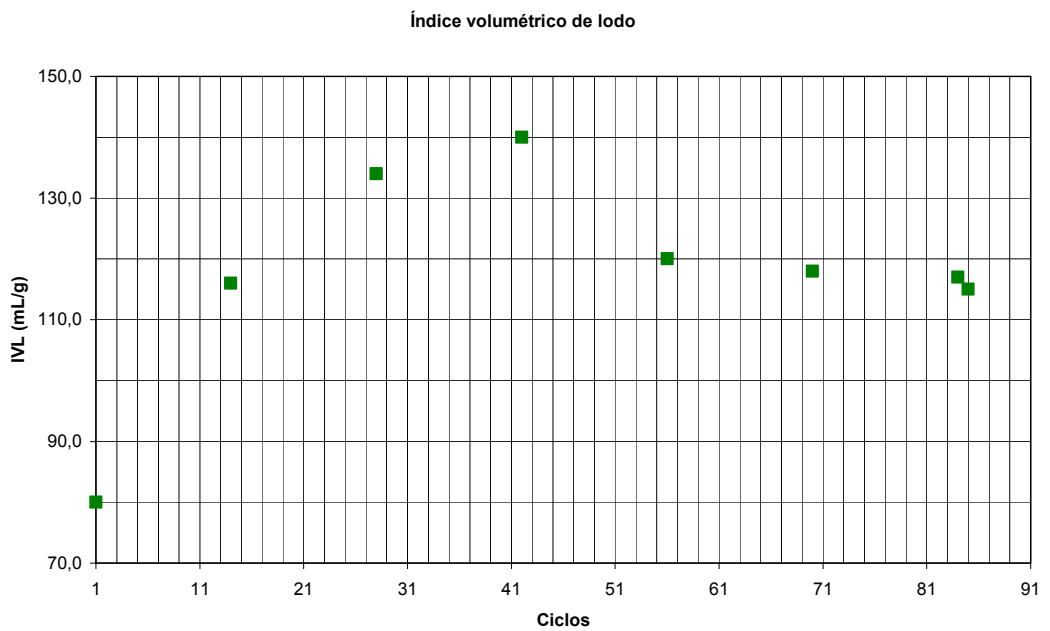


Figura 5.2 - Índice volumétrico do lodo.

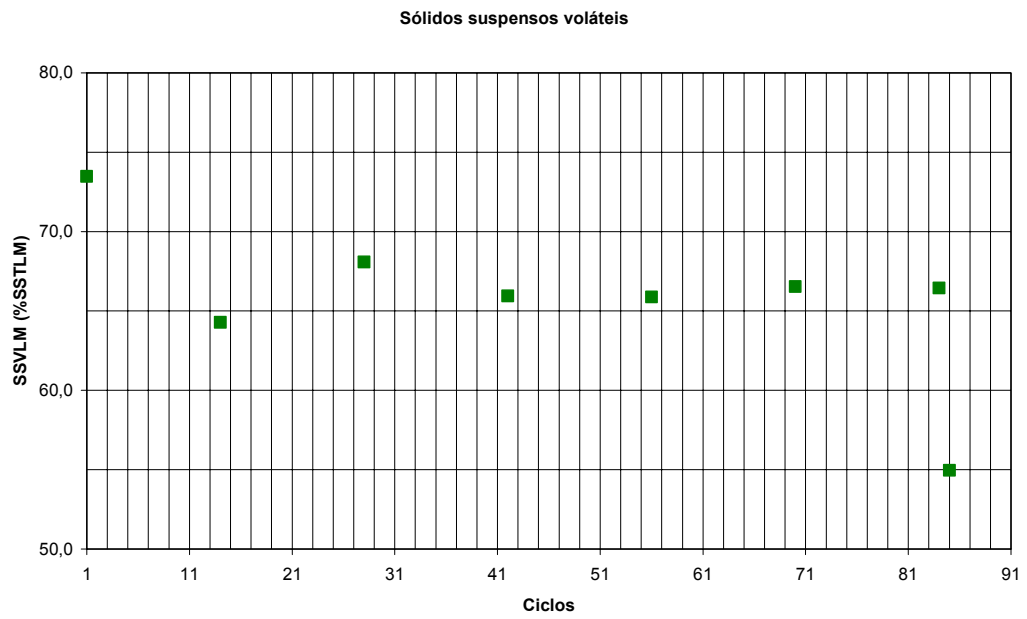


Figura 5.3 - Sólidos suspensos voláteis no licor misto.

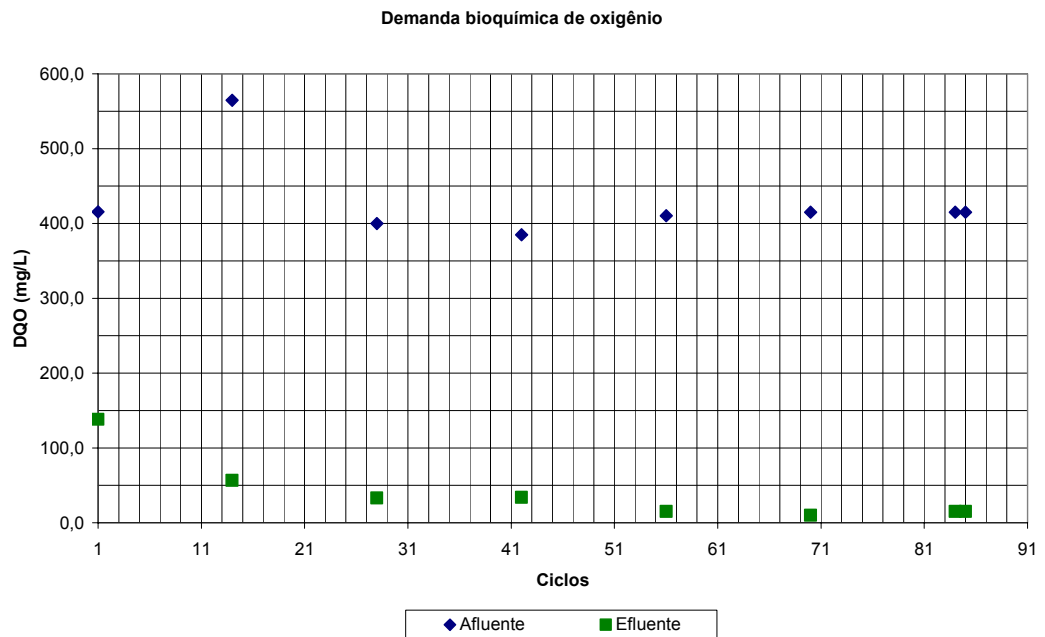


Figura 5.4 - Demanda química de oxigênio.

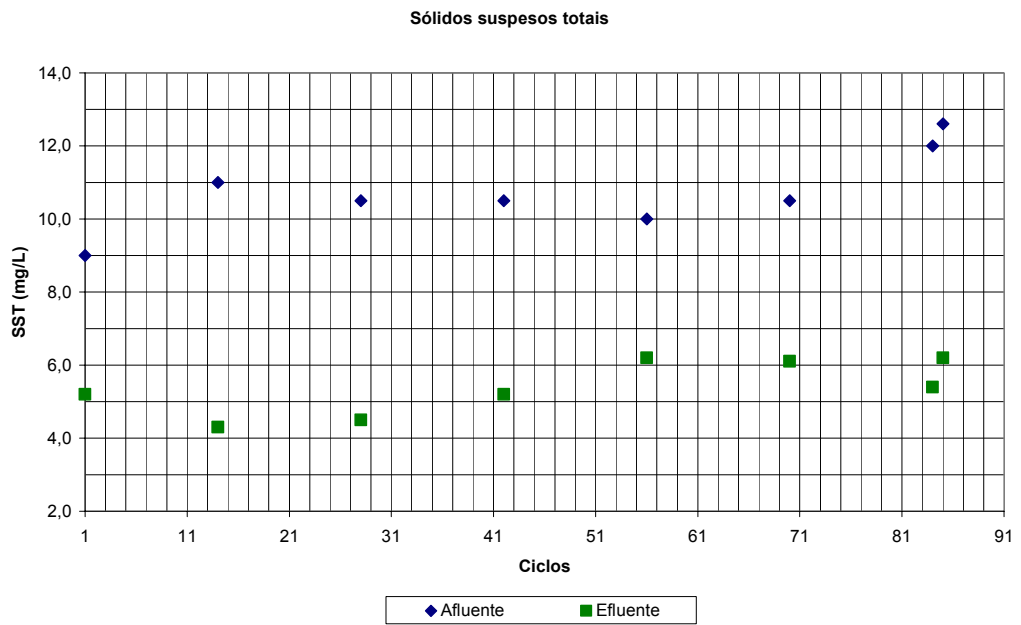


Figura 5.5 - Sólidos suspensos totais.

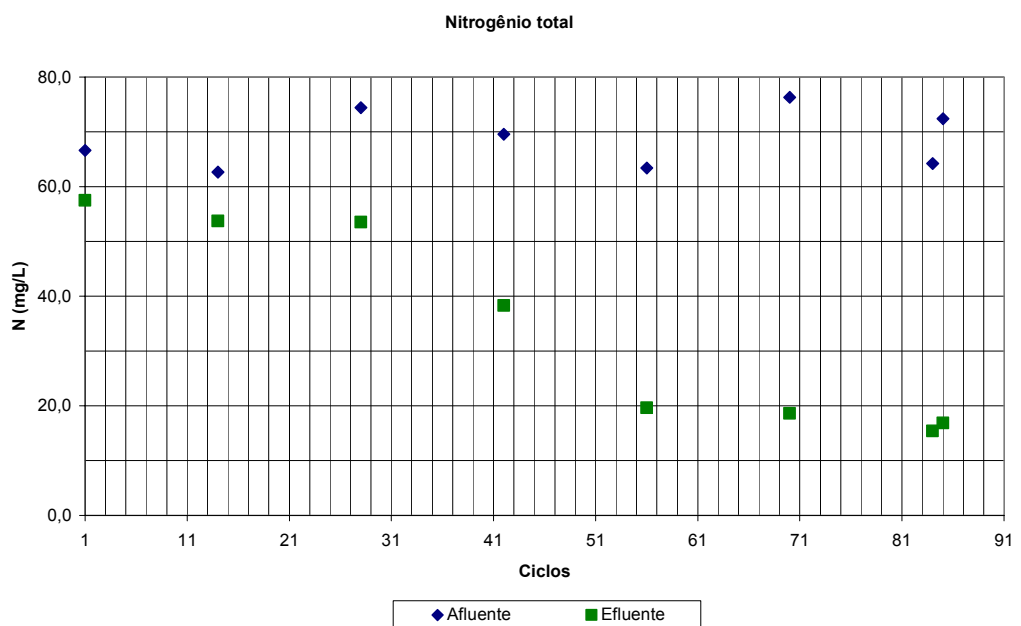


Figura 5.6 - Nitrogênio total.

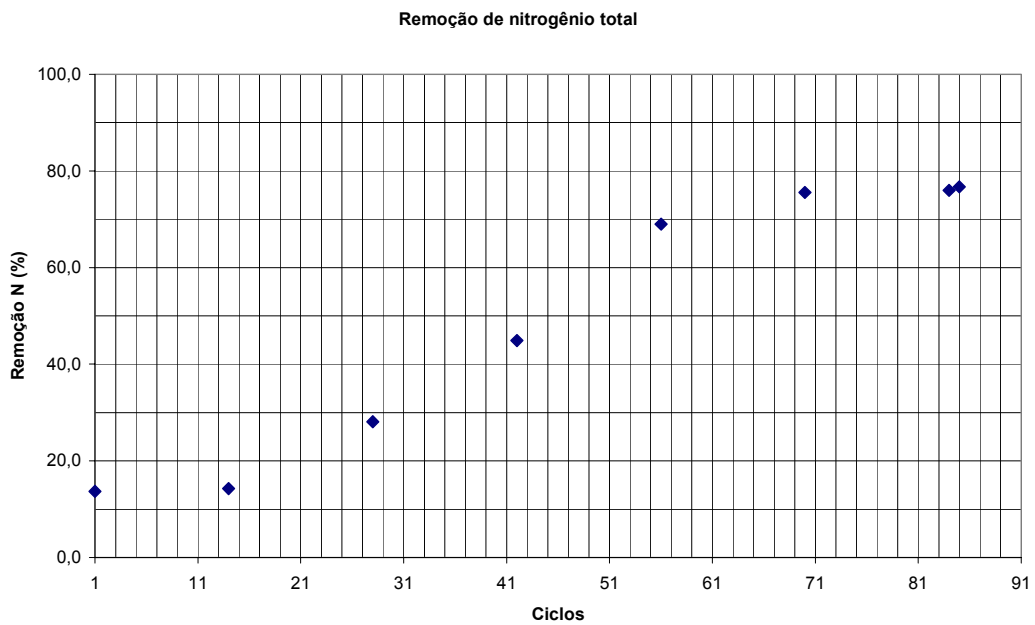


Figura 5.7 - Remoção do nitrogênio total.

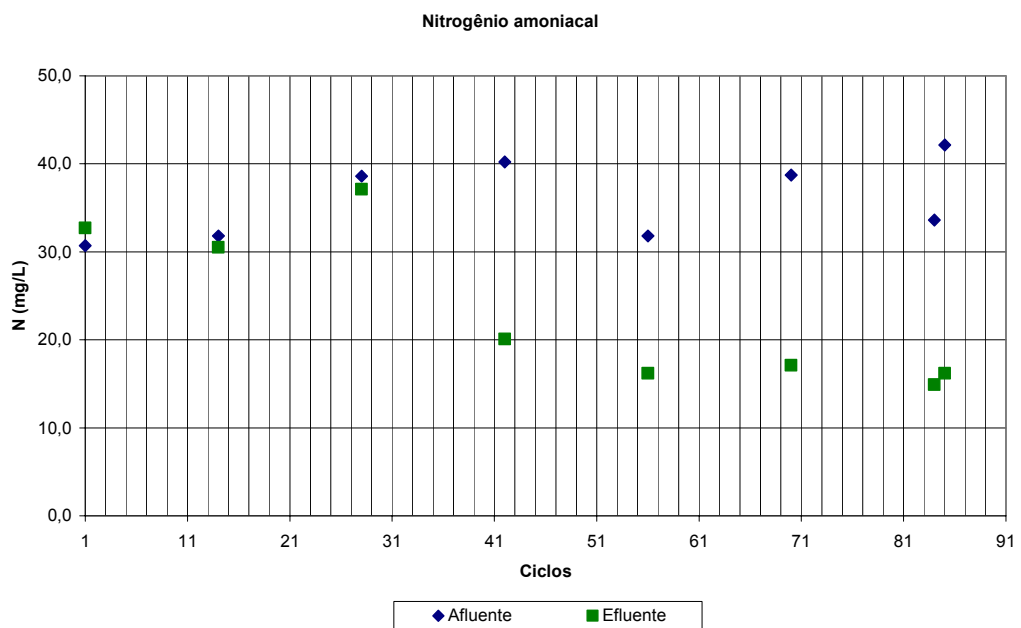


Figura 5.8 - Nitrogênio amoniacal

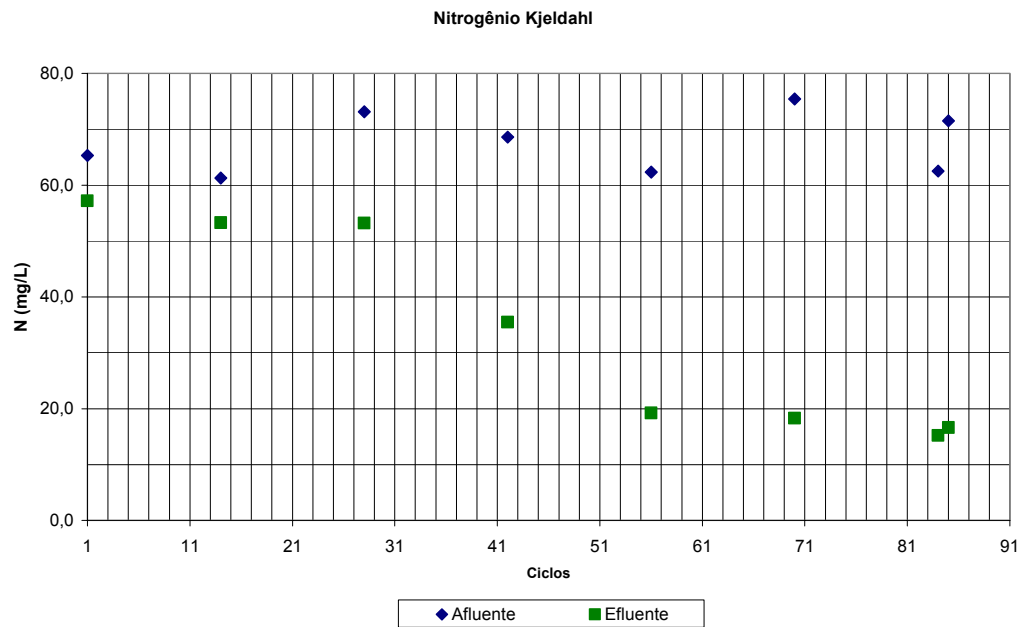


Figura 5.9 - Nitrogênio Kjeldahl.

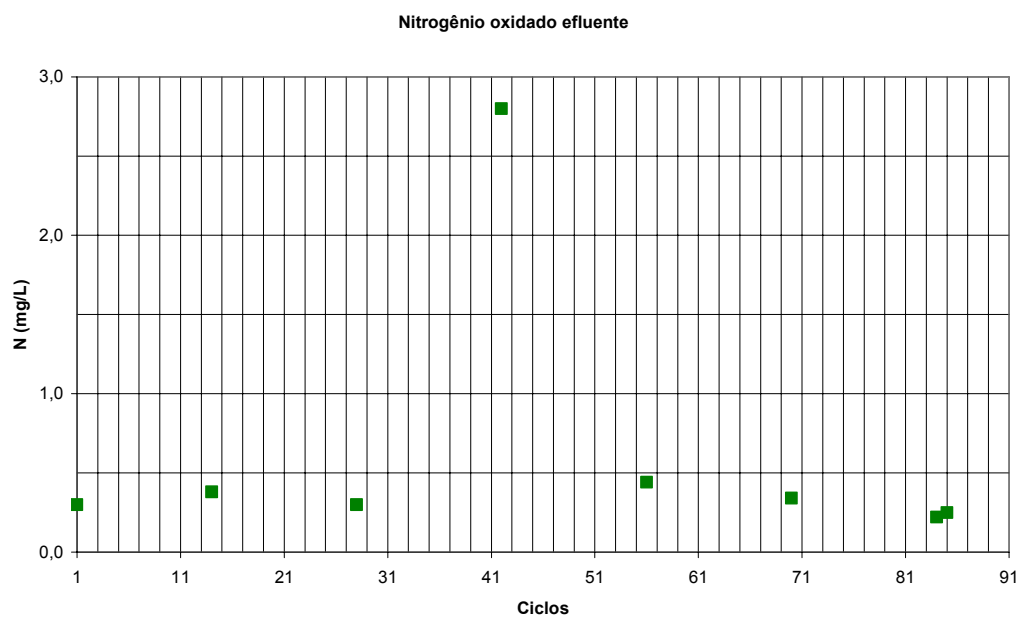


Figura 5.10 - Nitrogênio oxidado efluente.

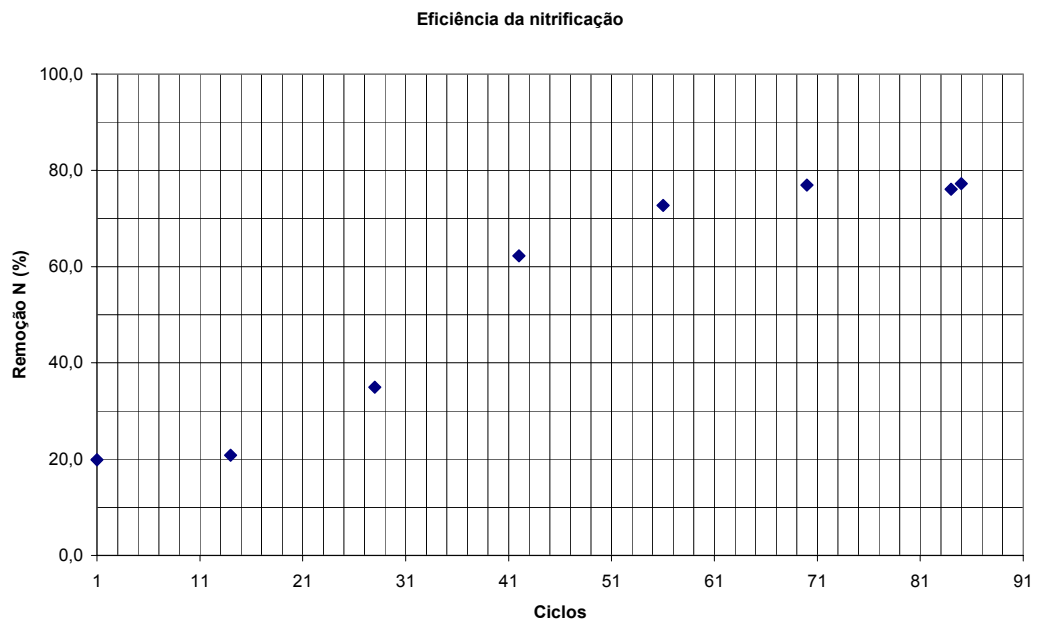


Figura 5.11 - Eficiência da nitrificação.

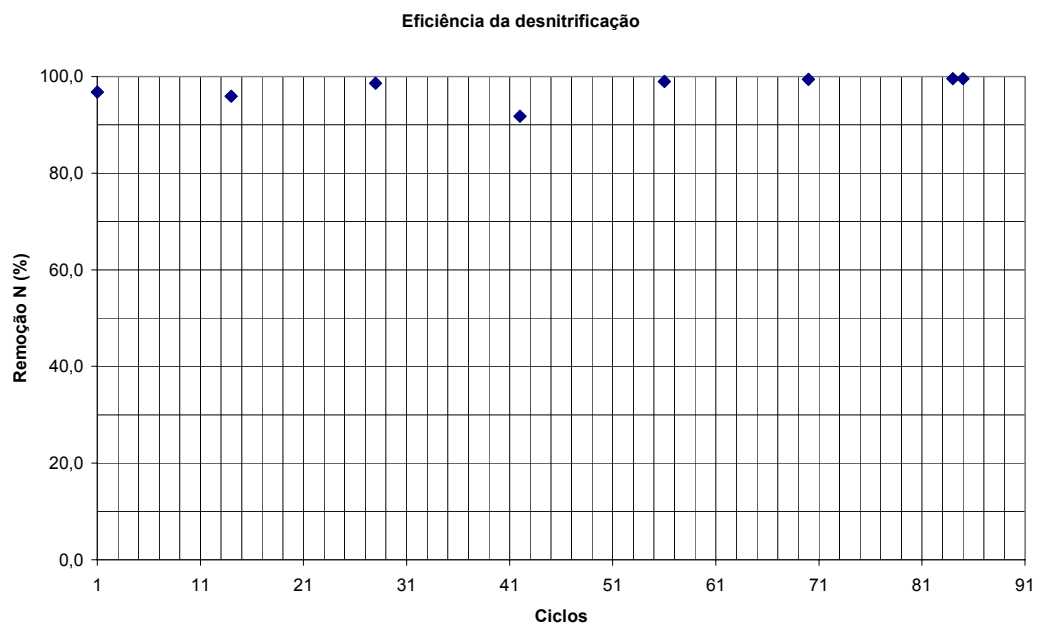


Figura 5.12 - Eficiência da desnitrificação.

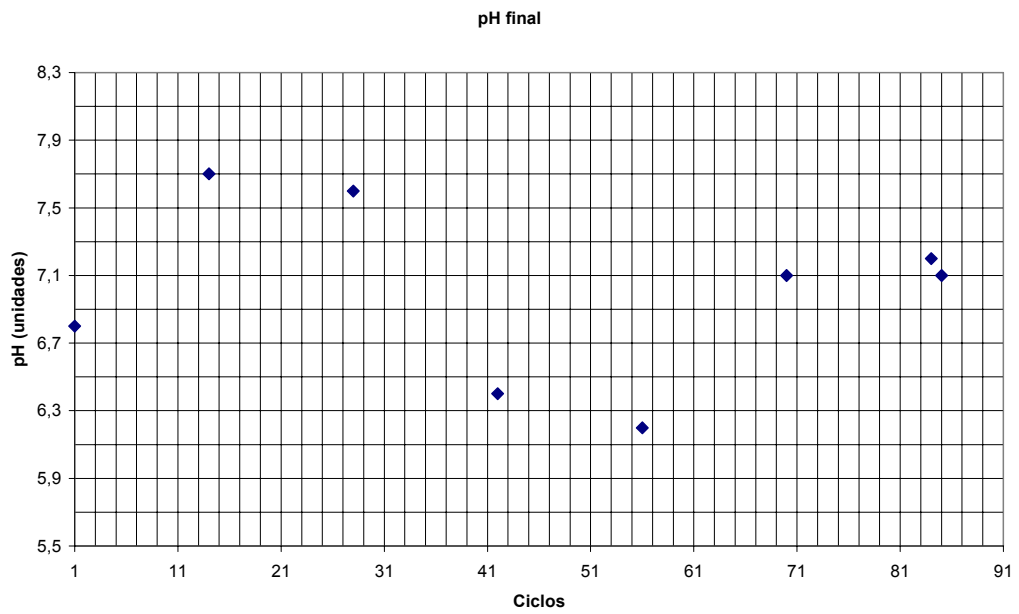


Figura 5.13 - pH final.

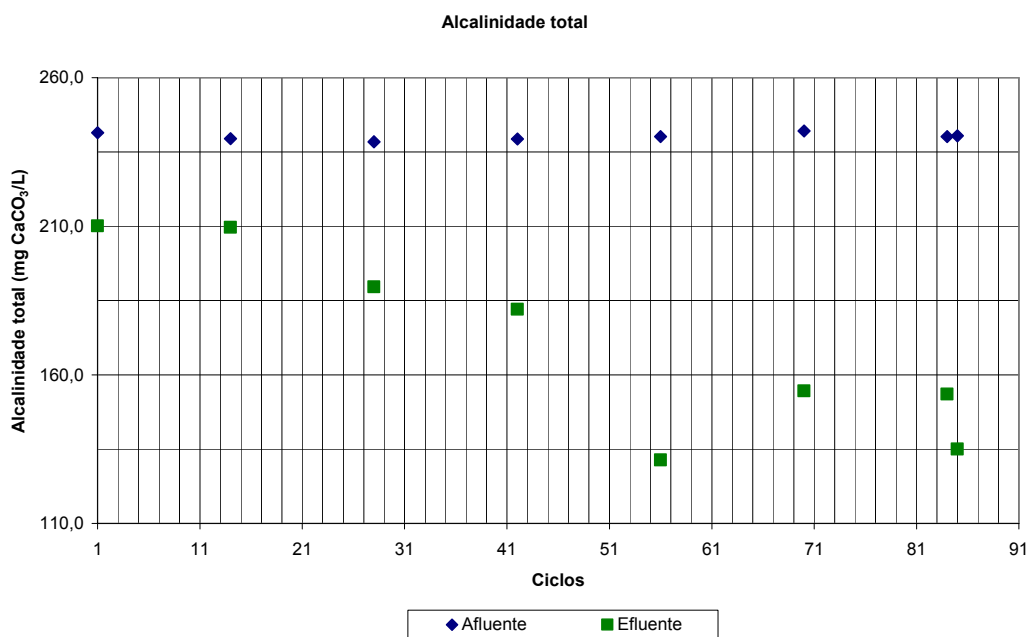


Figura 5.14 - Alcalinidade total.

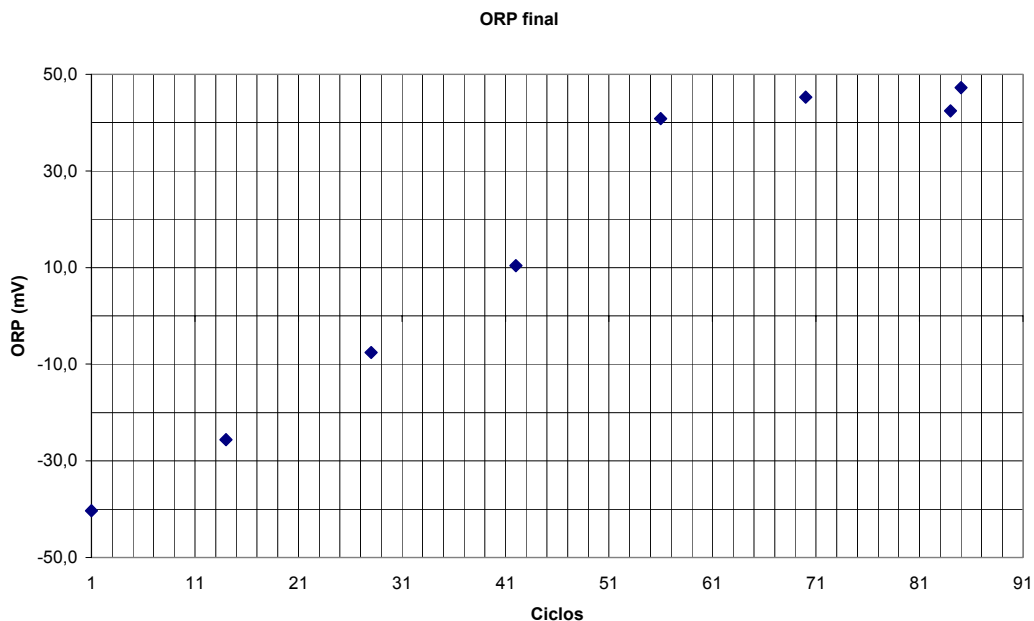


Figura 5.15 - ORP final.

Para a apresentação e discussão dos resultados, essa etapa é separada em dois períodos, o período de partida e do pseudo estado estacionário. O primeiro compreende do ciclo 1 ao 42, podendo ser caracterizado como a duração necessária para a comunidade dos microrganismos, que compõe o licor misto, aclimatarem-se às novas condições ambientais, e os microrganismos nitrificantes estabelecerem-se. Desde o primeiro ciclo, o processo de desnitrificação já era quase completo, como mostra a Figura 5.12, mesmo considerando-se as pequenas concentrações de nitrato, observadas no afluente.

No período de partida do reator seqüencial em batelada, a concentração da DQO efluente teve uma tendência decrescente, com valores finais em torno de 15,0 mg/L. As concentrações dos sólidos suspensos totais nos efluentes, mostrado na Figura 5.5, apresentaram tendências decrescentes até o ciclo 28, com valor médio de 4,5 mg/L; a partir desse ciclo até o ciclo 56, as concentrações dos sólidos suspensos efluente tenderam ao aumento, com valor final de 6,2 mg/L. O IVL, mostrado na Figura 5.2, teve a tendência de aumento do ciclo 1 ao ciclo 42, com valor de 140,0 mL/g, tendendo a redução no ciclo 56, com valor final de 120,0 mL/g. Esse período coincidiu uma alta relativa na concentração de nitrogênio oxidado (ciclo 42), marcando a intensificação do processo de nitrificação e desnitrificação.

Entre os ciclos 28 e 56 ocorreu um incremento efetivo da nitrificação. Do ciclo 28 ao 42 houve significativa remoção de nitrogênio total, como mostra as Figuras 5.6 e 5.7, reduzindo a concentração de 53,3 mg/L para 38,4 mg/L. Porém, a redução de nitrogênio total foi acentuada do ciclo 42 ao 56, reduzindo a concentração para 19,6 mg/L. Assim, observa-se que o final do período de partida ocorreu entre o ciclo 28 e 42. Os gráficos da Figura 5.8 e da Figura 5.11 vêm confirmar essa observação.

As remoções de nitrogênio do ciclo 1 ao 28, como mostra o gráfico da Figura 5.7, ocorreram provavelmente devido a assimilação do nitrogênio amoniacal pelos microrganismos heterotróficos e o início do processo de nitrificação.

Na Figura 5.13, o pH mostra a tendência de crescimento até o ciclo 28, sofrendo uma grande redução do ciclo 28 ao 56, com valores de 7,6 para 6,2.

O comportamento da alcalinidade, na Figura 5.14, do ciclo 28 ao 52, também mostra uma grande redução, com valores de 189,6 mg CaCO₃/L para 131,3 mg CaCO₃/L. Essas tendências vêm confirmar e validar o pH como um indicador para o processo de nitrificação.

O comportamento do ORP, na Figura 5.15, mostra a tendência de crescimento do ciclo 1 ao 56, mantendo uma tendência de estabilidade até o ciclo 85. Observa-se que do ciclo 28 ao 42, os valores do ORP aumentaram de -7,6 mV para 10,4 mV, mostrando a evolução dos aspectos oxidativos no reator.

A temperatura média final foi de 19,2°C, com valores máximo de 20,1°C e mínimo de 18,3°C.

A alcalinidade efluente final, como mostra a Figura 5.14, apresenta o valor mínimo de 131,3 mg CaCO₃/L e máximo de 210,1 mg CaCO₃/L, sendo suficiente para manter o processo de nitrificação fora dos níveis inibitórios do pH. VAN HAANDEL (1991) relatou que para alcalinidades menores que 35,00 mg CaCO₃/L existe uma forte dependência do pH sobre a alcalinidade, podendo levar a um completo colapso da nitrificação.

As eficiências médias nos processos de nitrificação e desnitrificação, foram de 73,0% e 97,9%, respectivamente. A eficiência média conjunta nos processos de nitrificação e desnitrificação foi de 49,8 %, com valores variando de 13,7% a 76,7%.

A taxa específica média diária no processo de nitrificação foi de 24,2 g N/kg SSVLM.dia, variando de 8,3 a 33,4 g N/kg SSVLM.dia. Esse valor encontra-se dentro dos intervalos relatados por RANDALL *et al.* (1992) e USEPA (1993).

A taxa específica média diária no processo de desnitrificação foi de 15,5 g N/kg SSVLM.dia, variando de 3,5 a 32,4 g N/kg SSVLM.dia. Esse valor encontra-se dentro do intervalo relatado por SEDLAK (1991), quando o doador de elétrons foi proveniente dos produtos da respiração endógena e da matéria orgânica residual, não rapidamente biodegradável.

As Figuras 5.16 a 5.21 representam os perfis temporais das medidas do pH, ORP e OD durante os ciclos 1 e 70. Por intermédio desses gráficos, são discutidos os resultados comparativos e evolutivos das medidas eletroquímicas. As notações dos pontos notáveis nos gráficos, das Figuras 5.16 a 5.21 e do Anexo D, referem-se: Ponto “A” – início do processo de nitrificação; Ponto “B” – final do processo de nitrificação (“vale” da amônia); Ponto “C” – início do processo de desnitrificação; Ponto “D” – final do processo de desnitrificação (“joelho” do nitrato); e Ponto “E” – atuação do controle difuso, na reação anóxica. Os índices “p”, “r” e “o” referem-se às sondas do pH, ORP e OD, respectivamente.

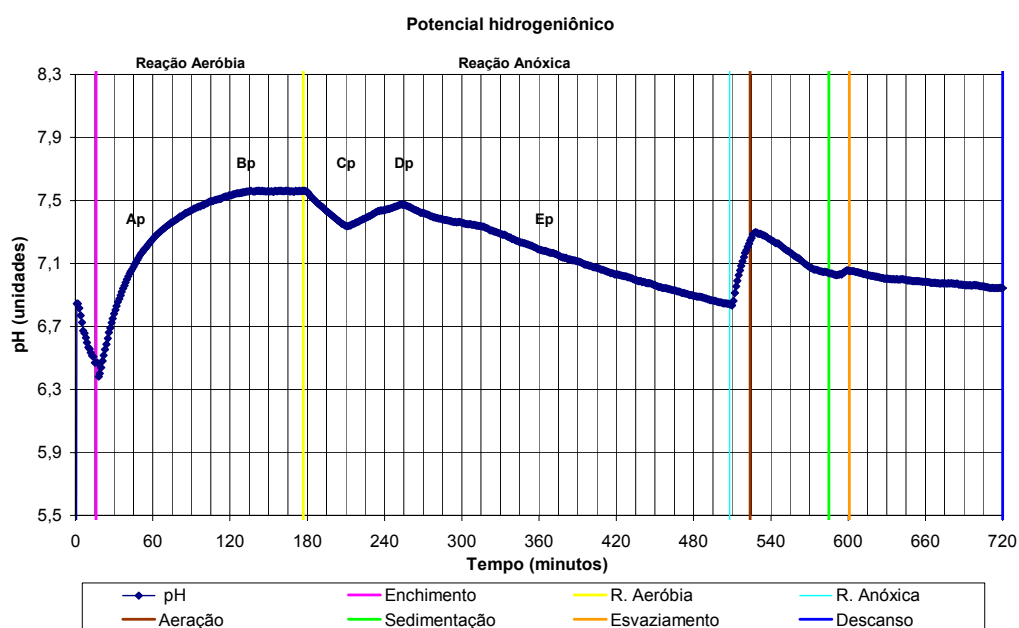


Figura 5.16 - Perfil temporal do pH, ciclo 1.

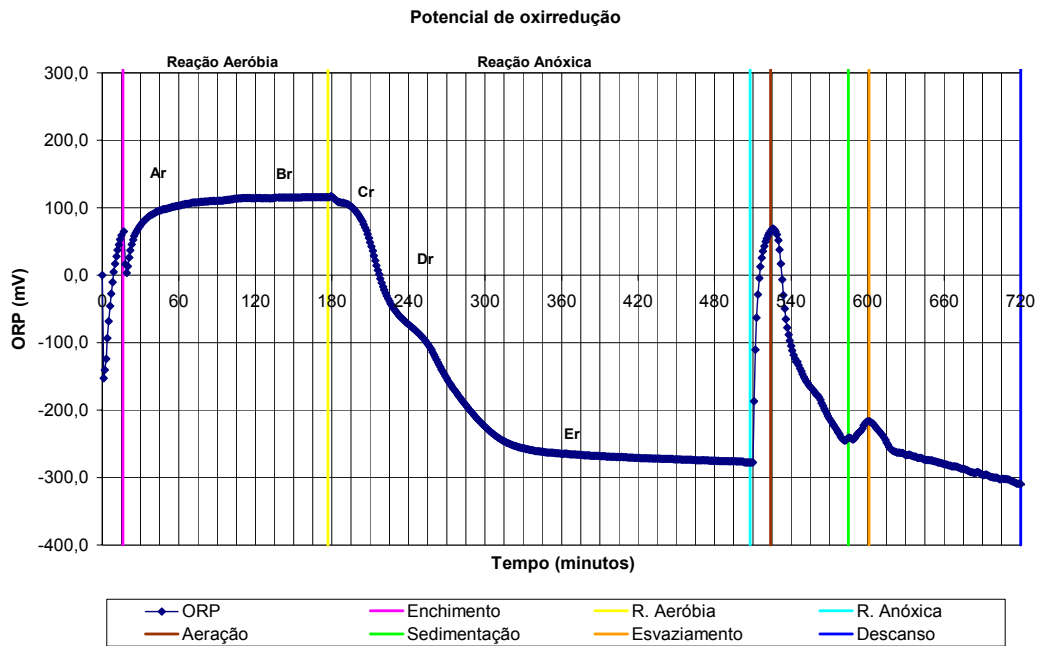


Figura 5.17 - Perfil temporal do ORP, ciclo 1.

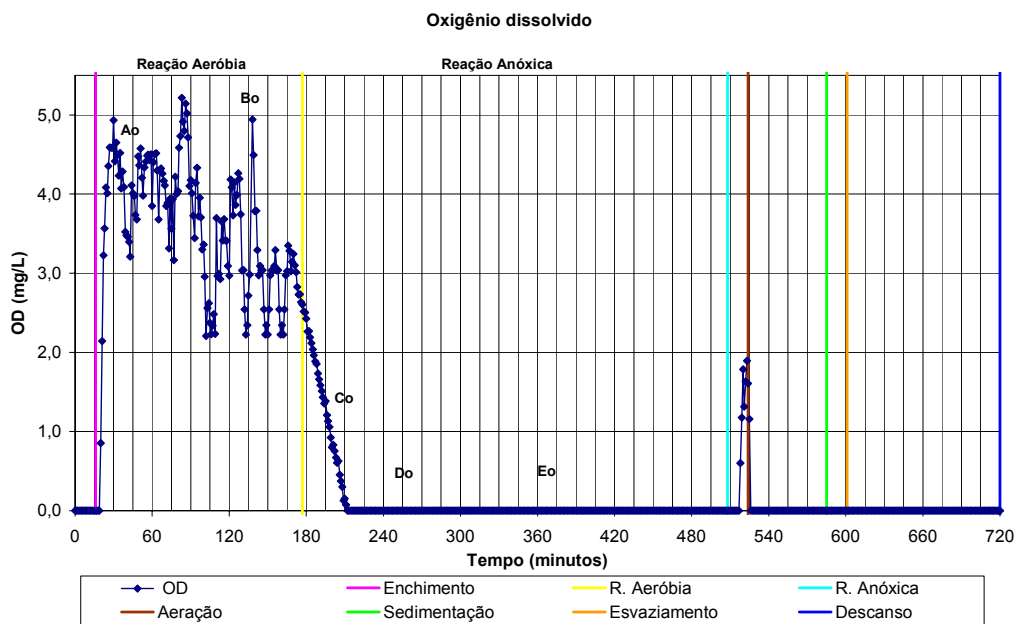


Figura 5.18 - Perfil temporal do OD, ciclo 1.

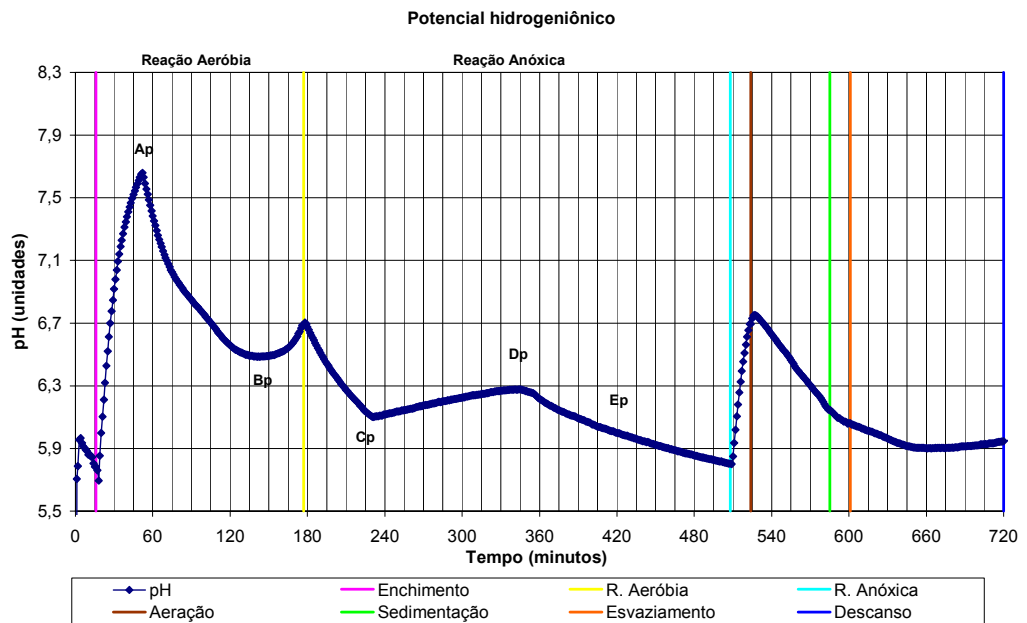


Figura 5.19 - Perfil temporal do pH, ciclo 70.

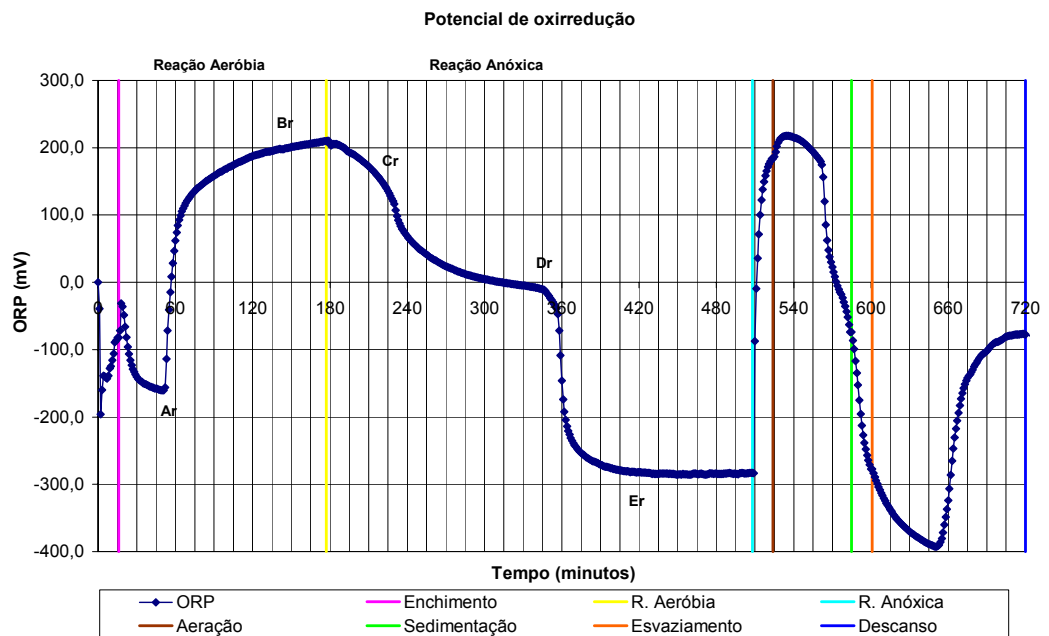


Figura 5.20 - Perfil temporal do ORP no RSB, ciclo 70.

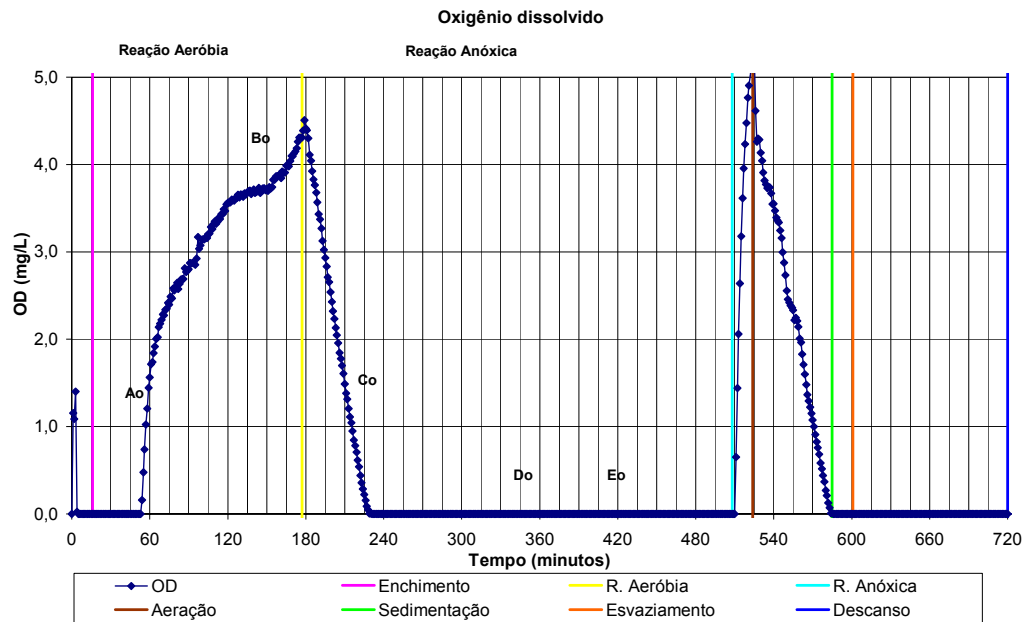


Figura 5.21 - Perfil temporal do OD no RSB, ciclo 70.

No ciclo 1, durante a reação aeróbia, a curva do pH teve uma tendência de crescimento, iniciando com valor de 6,5 e terminando com 7,6, como mostra a Figura 5.16. Durante a reação anóxica o pH, inicialmente, decresceu até o instante 212,0 minutos, coincidindo com o instante em que a concentração do OD zerou, marcando o fim dos processos biológicos aeróbios, como pode ser visto na Figura 5.18.

O comportamento do ORP durante a reação aeróbia, como mostra a Figura 5.17, apresentou um crescimento, iniciando com valores de 0,0 mV a 115,6 mV. Durante a reação anóxica, o ORP decresceu não linearmente e tendeu a uma constante a partir do instante 324,0 minutos, finalizando com o valor de -277,8 mV. No início do período anóxico até o instante 212,0 minutos, quando a concentração de OD zerou, observa-se uma redução gradual dos valores do ORP, seguido de uma redução linear. No instante 256,0 minutos nota-se o ponto de inflexão, sendo associado ao início do processo de desnitrificação, devido a pequena concentração de nitrato na água residuária afluenta.

O comportamento do OD no ciclo 1, é mostrado na Figura 5.18. A concentração do OD durante a reação aeróbia apresentou valores médios de 3,5 mg/L, variando de 0,0 a 5,2 mg/L. Do início do período anóxico até o instante 213,0

minutos, quando a concentração do OD zerou, observa-se uma redução linear na curva do OD.

As temperaturas médias, no ciclo 1, durante a reação aeróbia e anóxica foram de 15,8⁰C e 18,4⁰C, respectivamente.

As eficiências na remoção de matéria orgânica (como DQO) e nitrogênio total, no ciclo 1, foram de 66,7% e 13,7%, respectivamente, e não houve nenhum ponto notável capaz de ser utilizado no controle da duração das reações.

No ciclo 14, durante o período aeróbio, o pH se destacou somente pela presença do ponto de máximo, o ponto “Ap” é mostrado na Figura 9.13, após 59,0 minutos do início do período aeróbio. CHANG & HAO (1996) definiram esse ponto notável como o início da reação aeróbia, com a volatilização de dióxido de carbono. O ponto notável “Ao”, como mostra a Figura 9.15, vem ratificar isso, indicando que a partir desse ponto os valores das concentrações do OD tornaram-se maiores que 0,0 mg/L. O ORP durante o período anóxico, como mostra a Figura 9.14, apresentou características semelhantes ao ciclo 1, não havendo nenhum ponto notável capaz de ser utilizado no controle da duração das reações. As eficiências na remoção da matéria orgânica (como DQO), nitrificação e desnitrificação foram de 90,0%, 20,7% e 95,9%, respectivamente.

O ponto notável “Bp”, como mostra a Figura 9.16, ficou evidenciado no final da reação aeróbia do ciclo 28, em que a eficiência da nitrificação foi de 34,9%. Esse ponto tornou-se mais acentuado no ciclo 42, como mostra a Figura 9.19, em que a eficiência da nitrificação aumentou para 62,2%.

No perfil temporal do ORP do ciclo 42, durante a reação anóxica, os pontos notáveis “Dr” e “Er”, mostrados na Figura 9.20, sinalizaram o final do processo de desnitrificação. O processo de desnitrificação iniciou somente após o ponto “Co”, mostrado na Figura 9.21. O ponto “Dr” é relatado como o “joelho” do nitrato, na qual corresponde uma concentração mínima de nitrato (CYBIS, 1992; PLISSON-SAUNE *et al.*, 1996; PAVSELJ *et al.*, 2001). A partir do ponto “Dr” observa-se a uma queda repentina dos valores do ORP. PLISSON-SAUNE *et al.* (1996) explicaram esse comportamento associado ao início das atividades sulfato-redutoras. As eficiências na remoção da matéria orgânica (como DQO), nitrificação e desnitrificação foram de 91,2%, 62,2% e 91,7%, respectivamente.

No ciclo 70 mostrado na Figura 5.19, a curva do pH durante o período aeróbio teve uma tendência de crescimento, iniciando com valor de 5,8 e terminando com 7,6. Durante o período anóxico o pH, inicialmente, decresceu até o instante 231,0 minutos, coincidindo com o instante em que a concentração do OD zerou, marcando o fim dos processos biológicos aeróbios.

A curva do pH no ciclo 70, mostrada na Figura 5.19, durante o período aeróbio, apresentou o ponto de máximo “Ap”, após 37,0 minutos do início desse período, com o ponto de mínimo “Bp” após 126,0 minutos do início desse mesmo período. O ponto notável Ap está relacionado com o início da reação aeróbia, com a volatilização do dióxido de carbono e o princípio da nitrificação. O ponto notável “Bp” está relacionado com o final da nitrificação, sendo denominado como o “vale” da amônia (CHANG & HAO, 1996).

Na curva do pH observa-se, durante o período anóxico, os pontos notáveis “Cp” e “Dp”, na forma dos pontos de mínimo e de máximo, respectivamente. O ponto “Cp” na curva do pH ocorreu no instante 231,0 minutos, correspondendo aos pontos “Cr” e “Co”, nas curvas do ORP e do OD, respectivamente. O ponto “Cr” apresentou-se como uma inclinação fortemente acentuada; e o ponto “Co” como o instante em que a concentração do OD zerou, marcando o fim das reações aeróbias. O ponto “Dp” observado no instante 345,0 minutos, na curva do pH, apresentou uma correspondência ao ponto “Dr”, na curva do ORP.

Na curva do ORP mostrado na Figura 5.20, durante o período anóxico, destacam-se os pontos “Dr” e “Er”, nos instantes 345,0 minutos e 420,0 minutos, respectivamente.

Após o ponto “Dr” observou-se um forte decréscimo nos valores do ORP, em um curto espaço de tempo. A partir do ponto “Er” os valores do ORP apresentaram uma tendência de manterem-se constantes, com valores entre $-300,0$ mV e $-250,0$ mV.

As eficiências no ciclo 70, na remoção da matéria orgânica (como DQO), nitrificação e desnitrificação foram de 97,6%, 76,9% e 99,4%, respectivamente.

A curva da temperatura apresentou o valor médio de $16,6^{\circ}\text{C}$ durante o período aeróbio, com valor mínimo de $13,0^{\circ}\text{C}$ e máximo de $17,7^{\circ}\text{C}$. No período anóxico o valor médio da temperatura foi de $19,1^{\circ}\text{C}$, variando de $17,7^{\circ}\text{C}$ a $20,2^{\circ}\text{C}$.

5.2 Experimento aplicando o controle difuso

Para a operação do experimento utilizando o controlador difuso foi necessário alimentar o banco de dados das rotinas computacionais, com parâmetros resultantes do experimento com controle predeterminado, e sintonizá-lo. Os resultados dos parâmetros da sintonia, a avaliação e a verificação do controlador difuso, são apresentados a seguir.

5.2.1 Parametrização e sintonia do controlador difuso

Os valores extremos das variáveis *crisps* medidas e as suas derivadas em relação ao tempo são mostrados na Tabela 5.3. E esses valores foram obtidos por meio das informações contidas nos gráficos das Figuras 5.22 a 5.25.

Tabela 5.3 - Valores extremos das variáveis *crisps* medidas e suas derivadas em relação ao tempo

Parâmetro	U_{mi}	U_{ms}
pH (unidade)	5,5	8,5
dpH/dt (unidade/min)	-0,025	0,025
OD (mg/L)	0,0	5,0
dORP/dt (mV /min)	-15,0	+15,0

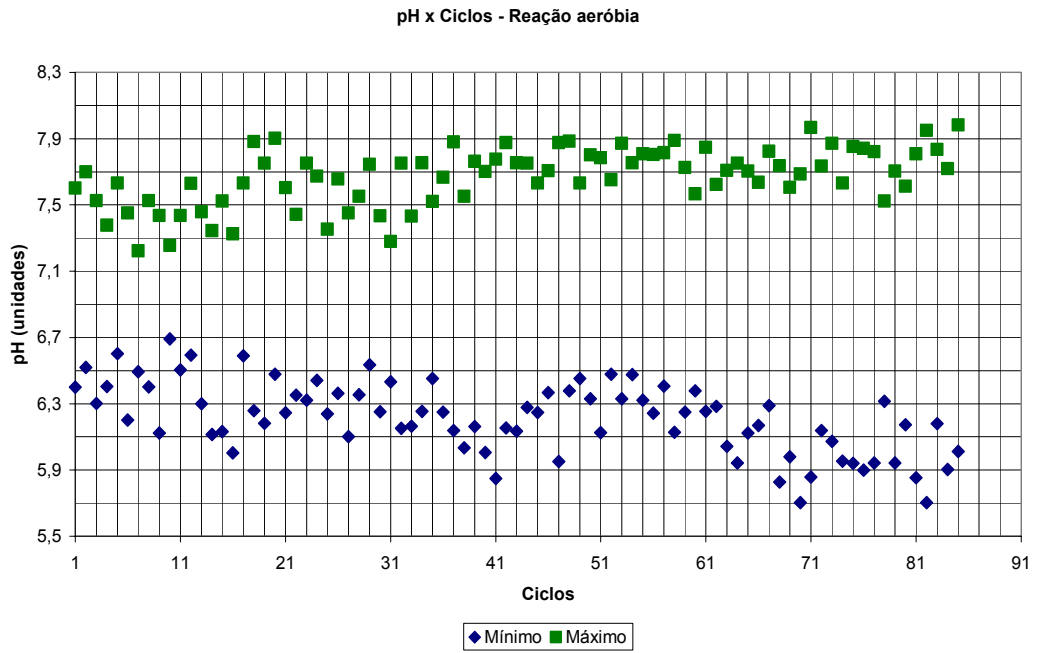


Figura 5.22 - Faixa do pH durante a reação aeróbia.

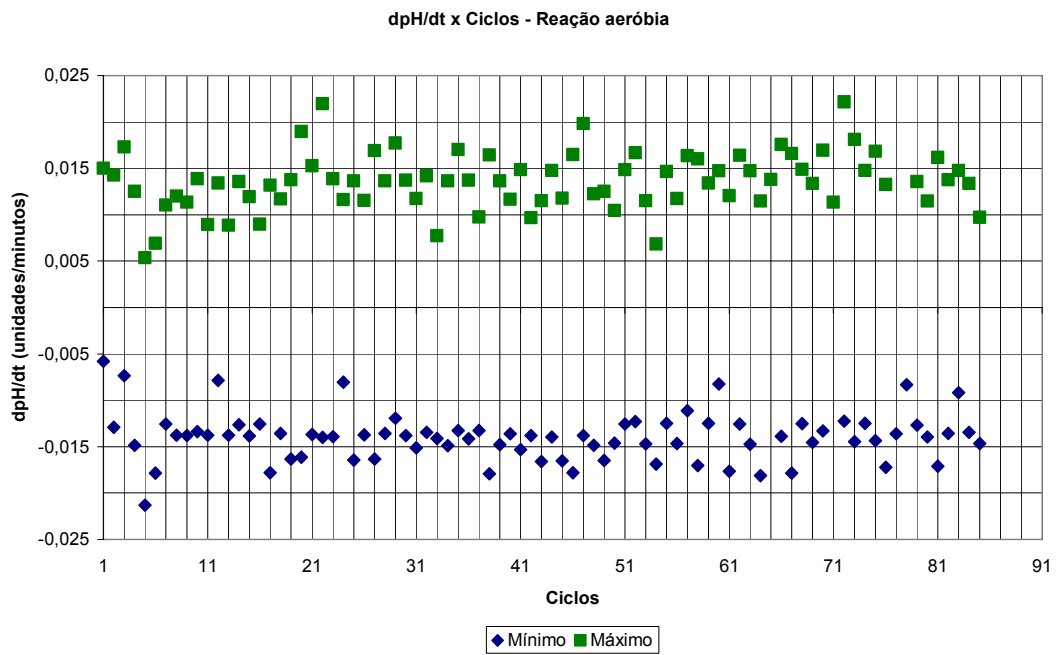


Figura 5.23 - Faixa da dpH/dt durante a reação aeróbia.

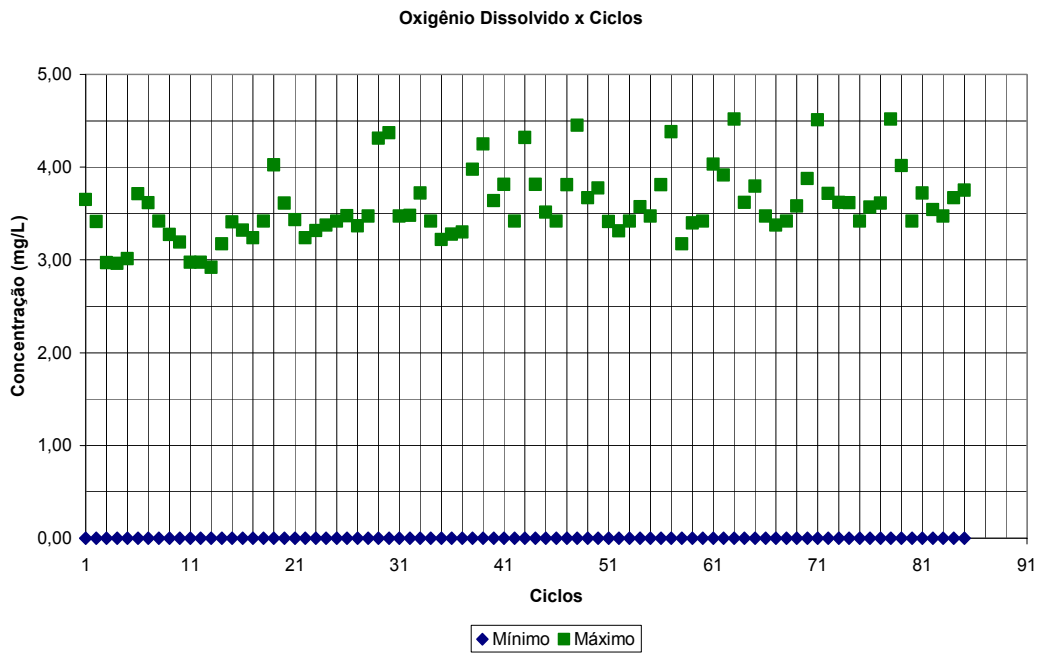


Figura 5.24 - Faixa da concentração do OD durante a reação anóxica.

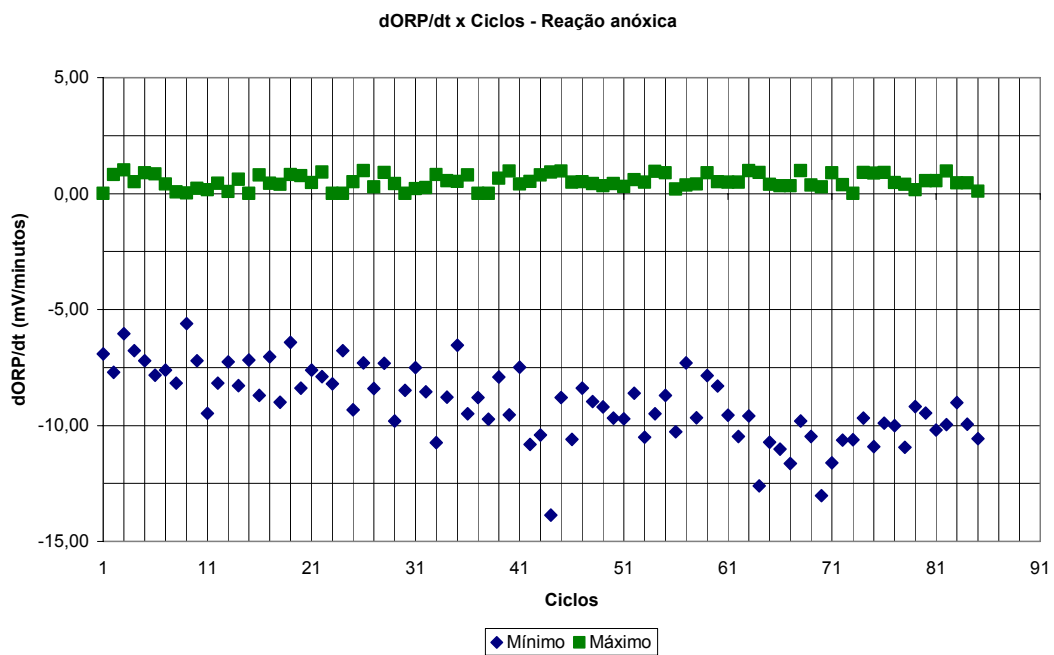


Figura 5.25 - Faixa da dORP/dt durante a reação anóxica.

Os valores extremos das variáveis *crisps* medidas e as suas derivadas em relação ao tempo, foram utilizados nos argumentos das funções algébricas de normalização, mostrados pela expressão 4.1.

No período da reação aeróbia, as variáveis de entrada normalizadas sofreram nebulização por meio das funções, mostradas pela expressão 5.1 e 5.2. Essas funções foram obtidas, definitivamente, após a sintonia do controlador difuso.

A variável de entrada pH foi definida pelas funções mostradas na expressão 5.1:

$$\begin{aligned} &\pi (u; 0,000; 0,000; 0,000; 0,501), \text{ denominada SMALL, e} \\ &\pi (u; 0,300; 1,000; 1,000; 1,000), \text{ denominada BIG} \end{aligned} \quad (5.1)$$

Onde: os conjuntos difusos “SMALL” e “BIG” significam, pH pequeno e grande, respectivamente.

As variáveis de entrada, dpHk e dpHk1, representaram as variáveis dpH/dt e dpH/d(t-1), respectivamente. Essas foram definidas pelas funções mostradas pela expressão 5.2:

$$\begin{aligned} &\pi (u; 0,000; 0,000; 0,100; 0,500), \text{ denominada NE,} \\ &\pi (u; 0,480; 0,500; 0,500; 0,520), \text{ denominada ZE, e} \\ &\pi (u; 0,500; 0,900; 1,000; 1,000), \text{ denominada PO} \end{aligned} \quad (5.2)$$

Onde: os conjuntos difusos “NE”, “ZE” e “PO” significam, dpHk e/ou dpHk1 negativo, zero e positivo, respectivamente.

A variável de saída, “OUTPUT”, foi definida pelas funções mostradas pela expressão 5.3:

$$\begin{aligned} &\pi (u; 0,000; 0,000; 0,000; 0,550), \text{ denominada OP1, e} \\ &\pi (u; 0,450; 1,000; 1,000; 1,000), \text{ denominada NA} \end{aligned} \quad (5.3)$$

Onde: os conjuntos difusos “OP1” e “NA” significam, “OUTPUT” identificado e não identificado, respectivamente.

No período da reação anóxica as variáveis de entrada normalizadas sofreram nebulização por meio das funções, mostradas pela expressão 5.4 e 5.5. Essas funções foram obtidas, definitivamente, após a sintonia do controlador difuso.

A variável OD foi definida pelas funções mostrada na expressão 5.4:

$$\begin{aligned} \pi (u; 0,000; 0,000; 0,000; 0,120), \text{ denominada PEQUENO, e} \\ \pi (u; 0,050; 1,000; 1,000; 1,000), \text{ denominada GRANDE} \end{aligned} \quad (5.4)$$

Onde: os conjuntos difusos “PEQUENO” e “GRANDE” significam, concentração de OD pequena e grande, respectivamente.

As variáveis, dORPk e dORPk1, representaram as variáveis dORP/dt e dORP/d(t-1), respectivamente. Essas foram definidas pelas funções mostradas pela expressão 5.5:

$$\begin{aligned} \pi (u; 0,000; 0,000; 0,000; 0,500), \text{ denominada NE,} \\ \pi (u; 0,490; 0,500; 0,500; 0,510), \text{ denominada ZE, e} \\ \pi (u; 0,500; 1,000; 1,000; 1,000), \text{ denominada PO} \end{aligned} \quad (5.5)$$

Onde: os conjuntos difusos “NE”, “ZE” e “PO” significam, dORPk e/ou dORPk1 negativo, zero e positivo, respectivamente.

A variável de saída, “SAIDA”, foi definida pelas funções mostradas pela expressão 5.6:

$$\begin{aligned} \pi (u; -0,56300; 0,00177; 0,00177; 0,57300), \text{ denominada OP1, e} \\ \pi (u; 0,41900; 1,00000; 1,05000; 1,45000), \text{ denominada NA} \end{aligned} \quad (5.6)$$

Onde: os conjuntos difusos “OP1” e “NA” significam, “SAIDA” identificada e não identificada, respectivamente.

Nas estruturações das implicações nebulosas foram utilizadas dezoito expressões simbólicas para o período aeróbio e o mesmo número de expressões simbólicas para o período anóxico. As Tabelas 5.4 e 5.5 mostram as bases de regras aplicadas para o período aeróbio e anóxico, respectivamente. Essas bases foram obtidas após a sintonia do controlador difuso.

Tabela 5.4 - Base de regras para o período aeróbio

1	If (dpHk is NE) and (dpHk1 is NE) and (pH is BIG) then (output is NA)
2	If (dpHk is NE) and (dpHk1 is NE) and (pH is SMALL) then (output is NA)
3	If (dpHk is NE) and (dpHk1 is ZE) and (pH is BIG) then (output is NA)
4	If (dpHk is NE) and (dpHk1 is ZE) and (pH is SMALL) then (output is NA)
5	If (dpHk is NE) and (dpHk1 is PO) and (pH is BIG) then (output is NA)
6	If (dpHk is NE) and (dpHk1 is PO) and (pH is SMALL) then (output is NA)
7	If (dpHk is ZE) and (dpHk1 is NE) and (pH is BIG) then (output is NA)
8	If (dpHk is ZE) and (dpHk1 is NE) and (pH is SMALL) then (output is NA)
9	If (dpHk is ZE) and (dpHk1 is ZE) and (pH is BIG) then (output is NA)
10	If (dpHk is ZE) and (dpHk1 is ZE) and (pH is SMALL) then (output is NA)
11	If (dpHk is ZE) and (dpHk1 is PO) and (pH is BIG) then (output is NA)
12	If (dpHk is ZE) and (dpHk1 is PO) and (pH is SMALL) then (output is NA)
13	If (dpHk is PO) and (dpHk1 is NE) and (pH is BIG) then (output is OP1)
14	If (dpHk is PO) and (dpHk1 is NE) and (pH is SMALL) then (output is NA)
15	If (dpHk is PO) and (dpHk1 is ZE) and (pH is BIG) then (output is OP1)
16	If (dpHk is PO) and (dpHk1 is ZE) and (pH is SMALL) then (output is NA)
17	If (dpHk is PO) and (dpHk1 is PO) and (pH is BIG) then (output is NA)
18	If (dpHk is PO) and (dpHk1 is PO) and (pH is SMALL) then (output is NA)

Tabela 5.5 - Base de regras para o período anóxico

1	If (dORPk is NE) and (dORPk1 is NE) and (OD is Pequena) then (Saída is NA)
2	If (dORPk is NE) and (dORPk1 is NE) and (OD is Grande) then (Saída is NA)
3	If (dORPk is NE) and (dORPk1 is ZE) and (OD is Pequena) then (Saída is NA)
4	If (dORPk is NE) and (dORPk1 is ZE) and (OD is Grande) then (Saída is NA)
5	If (dORPk is NE) and (dORPk1 is PO) and (OD is Pequena) then (Saída is NA)
6	If (dORPk is NE) and (dORPk1 is PO) and (OD is Grande) then (Saída is NA)
7	If (dORPk is ZE) and (dORPk1 is NE) and (OD is Pequena) then (Saída is OP1)
8	If (dORPk is ZE) and (dORPk1 is NE) and (OD is Grande) then (Saída is NA)
9	If (dORPk is ZE) and (dORPk1 is ZE) and (OD is Pequena) then (Saída is NA)
10	If (dORPk is ZE) and (dORPk1 is ZE) and (OD is Grande) then (Saída is NA)
11	If (dORPk is ZE) and (dORPk1 is PO) and (OD is Pequena) then (Saída is NA)
12	If (dORPk is ZE) and (dORPk1 is PO) and (OD is Grande) then (Saída is NA)
13	If (dORPk is PO) and (dORPk1 is NE) and (OD is Pequena) then (Saída is NA)
14	If (dORPk is PO) and (dORPk1 is NE) and (OD is Grande) then (Saída is NA)
15	If (dORPk is PO) and (dORPk1 is ZE) and (OD is Pequena) then (Saída is NA)
16	If (dORPk is PO) and (dORPk1 is ZE) and (OD is Grande) then (Saída is NA)
17	If (dORPk is PO) and (dORPk1 is PO) and (OD is Pequena) then (Saída is NA)
18	If (dORPk is PO) and (dORPk1 is PO) and (OD is Grande) then (Saída is NA)

A Figura 5.26 mostra o gráfico resultante da inferência nebulosa para o período aeróbio, no ciclo 70, no qual ocorreu o processo de nitrificação. Nesse gráfico observa-se as linhas de cores marrom, verde, vermelha e azul que mostram, respectivamente, a evolução: do pH, da dpH/dt , da $dpH/d(t-1)$ e do resultado da desnebulização. Na curva em azul nota-se a identificação do ponto notável “vale” da amônia, que marcou o fim do processo de nitrificação, por meio do destaque no valor numérico de saída, no instante 154,0 minutos. A decisão de interromper a reação aeróbia ocorreu todas às vezes que o valor numérico de saída do controle difuso, resultante da desnebulização, ficou menor que o valor referência de desnormalização, fixado em 0,60.

A Figura 5.27 mostra o gráfico resultante da inferência nebulosa para o período anóxico do ciclo 70, no qual ocorreu o processo de desnitrificação. Nesse gráfico, observa-se as linhas de cores marrom, vermelha, verde e azul que mostram, respectivamente, a evolução do ORP, da $dORP/dt$, da $dORP/d(t-1)$ e da desnebulização. Na curva em azul nota-se a identificação das atividades sulfato-redutoras iniciadas (PLISSON-SAUNE *et al.*, 1996), que marcou o fim do processo de desnitrificação, com destaque do valor numérico de saída, no instante 154,0

minutos. A decisão de interromper a reação anóxica ocorreu, todas às vezes que o valor numérico de saída do controlador difuso, resultante da desnebulização, ficou menor que o valor referência de desnormalização, fixado em 0,55.

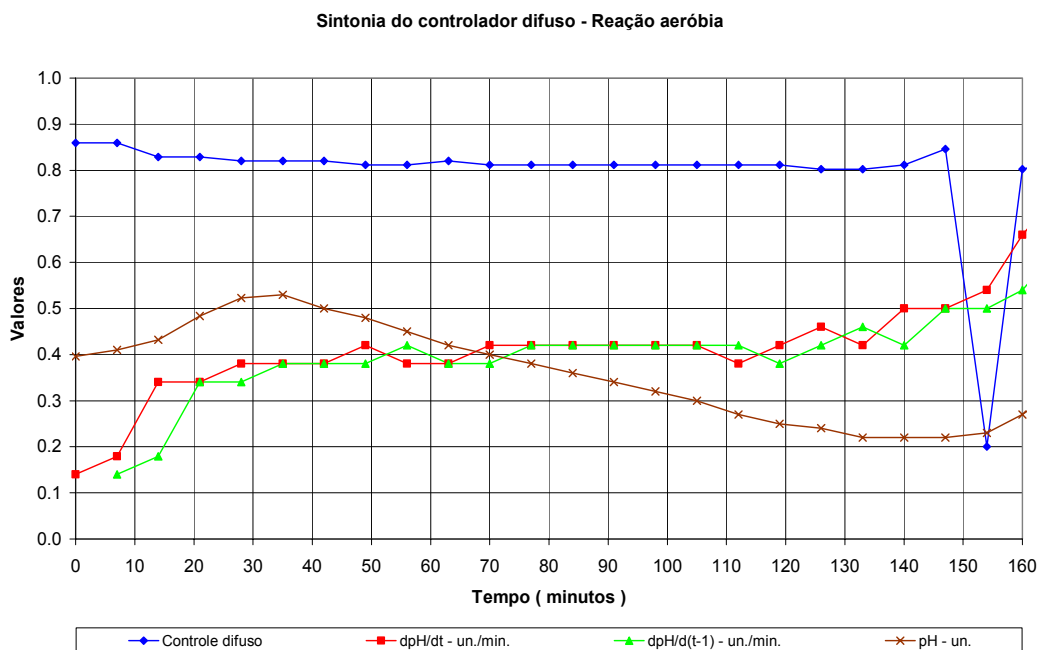


Figura 5.26 - Sintonia do controle difuso na reação aeróbia.

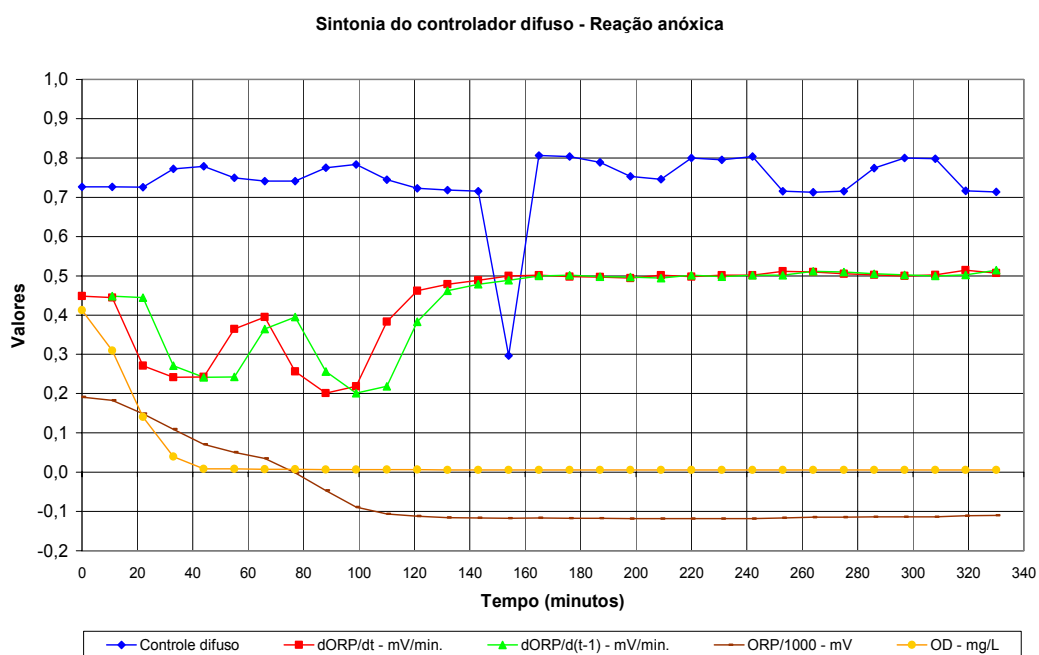


Figura 5.27 - Sintonia do controle difuso na reação anóxica.

5.2.2 Avaliação e a validação experimental do controlador difuso

A avaliação e validação experimental do controlador difuso consistiram na realização das evidências experimentais, na qual o objetivo foi verificar os parâmetros adotados durante a sintonia. O experimento foi realizado do ciclo 71 ao 85. A duração do ciclo foi mantida conforme a Tabela 4.4, com dois ciclos diários de 720,0 minutos cada, porém houve a atuação do controle difuso, na qual possibilitou a redução na duração do período na reação aeróbia e anóxica.

As durações nos períodos aeróbios dos ciclos 71 ao 85, como mostra a Figuras 5.28, tiveram o valor médio de 162,1 minutos, com o valor mínimo de 158,0 minutos e máximo de 200,0 minutos. A redução média relativa na duração do período aeróbio, tomando como referência o período máximo de 200,0 minutos, foi de 19,0%.

As durações nos períodos anóxicos, como mostra a Figura 5.29, tiveram o valor médio de 164,4 minutos, com o valor mínimo de 154,0 minutos e máximo de 290,0 minutos. A redução média relativa na duração do período anóxico, tomando como referência o período máximo de 290,0 minutos, foi de 43,3%.

De forma geral, o comportamento do controle difuso mostrou-se robusto, em relação as falhas, na detecção dos pontos notáveis, confirmando o valor dos parâmetros inferenciais pH, ORP e OD nessa modalidade de controle e no reator seqüencial em batelada. Porém, durante o período aeróbio e anóxico no ciclo 75, ocorreram às durações predeterminadas de 200,0 minutos e 290,0 minutos, respectivamente, devido a falta de energia elétrica e a consequente não identificação dos pontos de controle.

Com referência a metodologia utilizada, o procedimento de nebulização por meio de conjuntos nebulosos triangulares e a implicação de Mamdani, mostraram-se bem adaptadas com as regras advindas do especialista. O método de sintonia do controlador difuso, utilizado o MATLAB, mostrou-se eficaz e com implementação rápida. No procedimento de desnebulização, utilizando o método dos centros das áreas, o tempo de processamento dessa rotina computacional não comprometeu as demais rotinas do controle difuso.

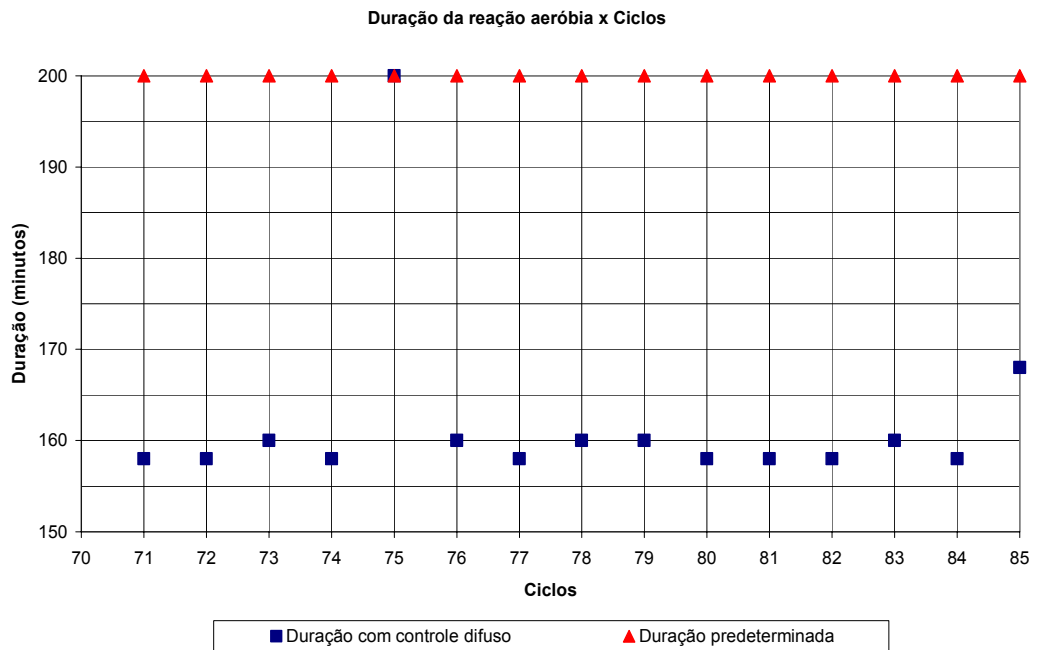


Figura 5.28 - Duração da reação aeróbia, com o controle difuso.

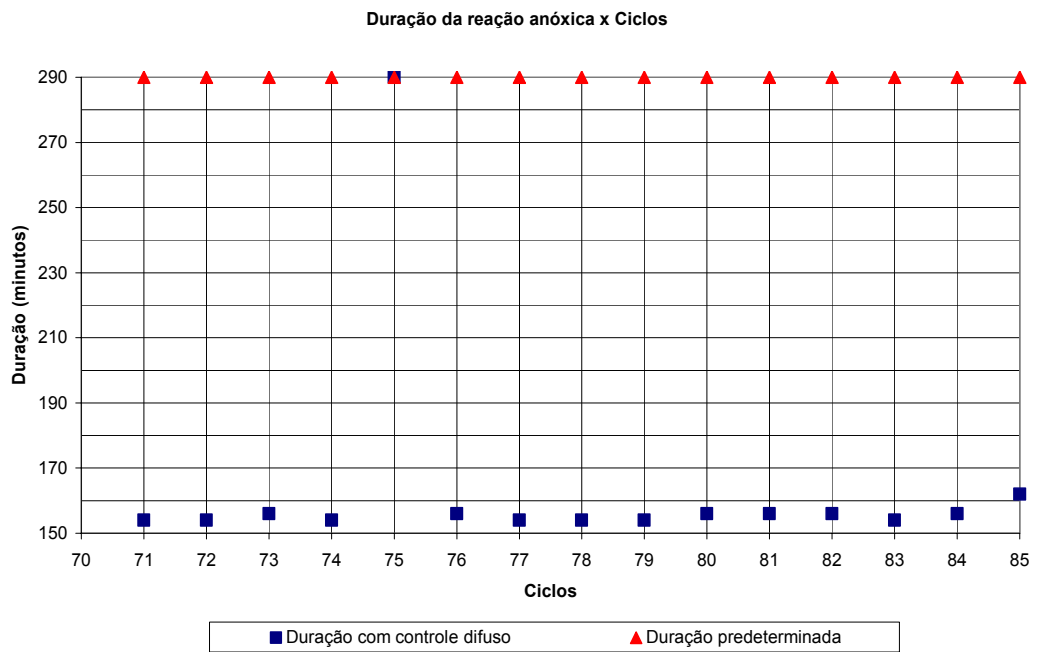


Figura 5.29 - Duração da reação anóxica, com o controle difuso.

O estudo do perfil temporal foi realizado no ciclo 85, para observar o comportamento físico-químico dos processos biológicos de nitrificação, desnitrificação, das medidas do pH, ORP e OD associadas ao controlador difuso. Os dados das análises físico-químicas estão descritos na Tabela 5.6, para a discussão dos resultados.

Tabela 5.6 - Dados do perfil temporal do RSB, ciclo 85

Tempo	SSTLM (mg/L)	SSVLM (mg/L)	DQO (mg/L)	NTK (mg/L)	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)
0	2610,5	1830,4	89,5	14,6	14,1	0,7	0,3	180,3
15	2856,9	2145,3	121,4	33,2	32,1	0,6	0,3	210,3
61	-	-	52,5	31,1	30,2	1,8	0,6	-
183	2576,8	1930,4	61,2	21,6	20,9	4,9	2,7	165,7
312	-	-	54,6	18,3	17,4	2,1	0,8	-
336	-	-	52,3	17,4	17,2	1,8	0,5	-
345	2645,9	1953,2	53,5	17,2	16,9	1,0	0,5	185,3
435	2650,6	2003,5	53,4	16,7	16,3	0,1	0,1	187,2

Os dados, em forma de gráficos, são apresentados pelas Figuras 5.30 a 5.35, tendo como referência a Tabela 5.6.

A estratégia operacional do reator seqüencial em batelada foi a mesma desde o ciclo 71, com duração máximas das reações aeróbia e anóxica de 200,0 minutos e 290,0 minutos, respectivamente. Porém, em função do controle difuso essas durações foram reduzidas.

As legendas das cores, nos gráficos, mostram o final de cada período no ciclo, no reator seqüencial em batelada. O final dos períodos de enchimento, aeróbio, anóxico, aeração, sedimentação, esvaziamento e descanso foram marcados, respectivamente, pelas cores: rosa, amarelo, azul turquesa, marrom, verde, laranja e azul.

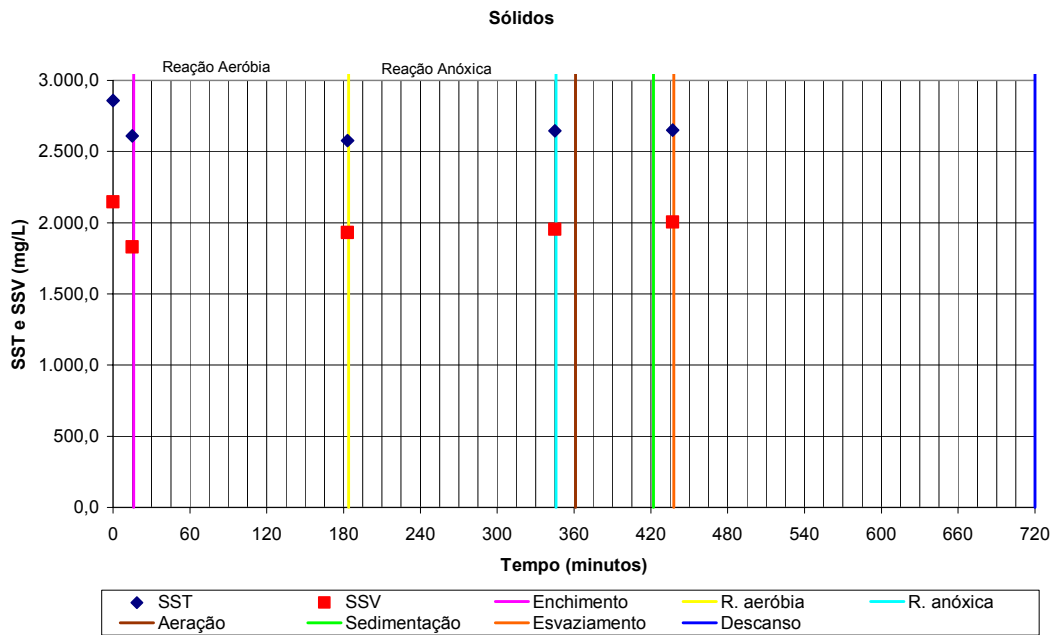


Figura 5.30 - Perfil temporal dos sólidos, ciclo 85.

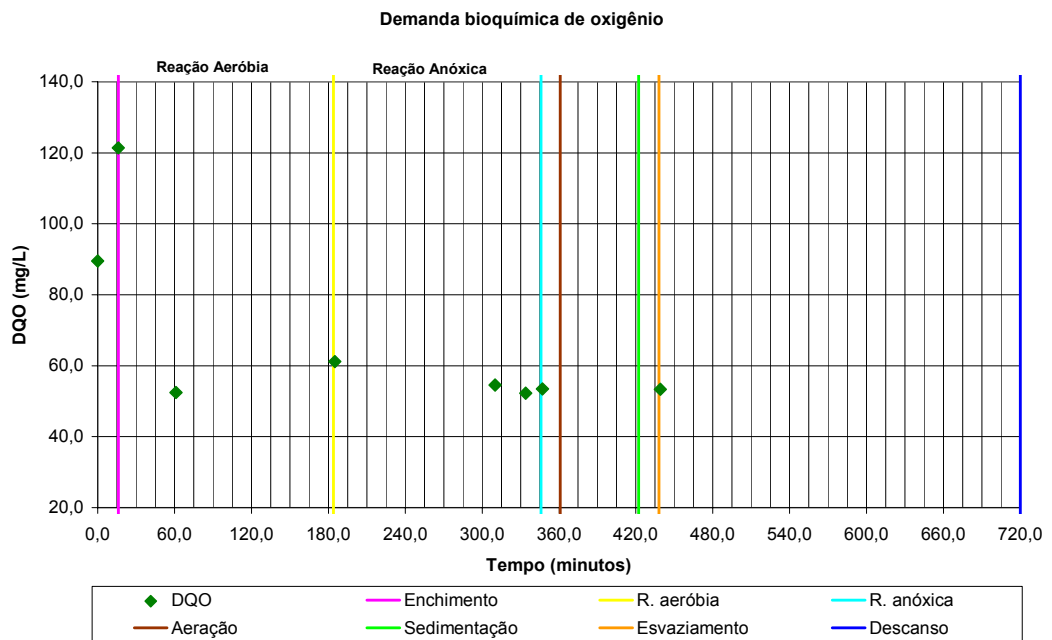


Figura 5.31 - Perfil temporal da DQO, ciclo 85.

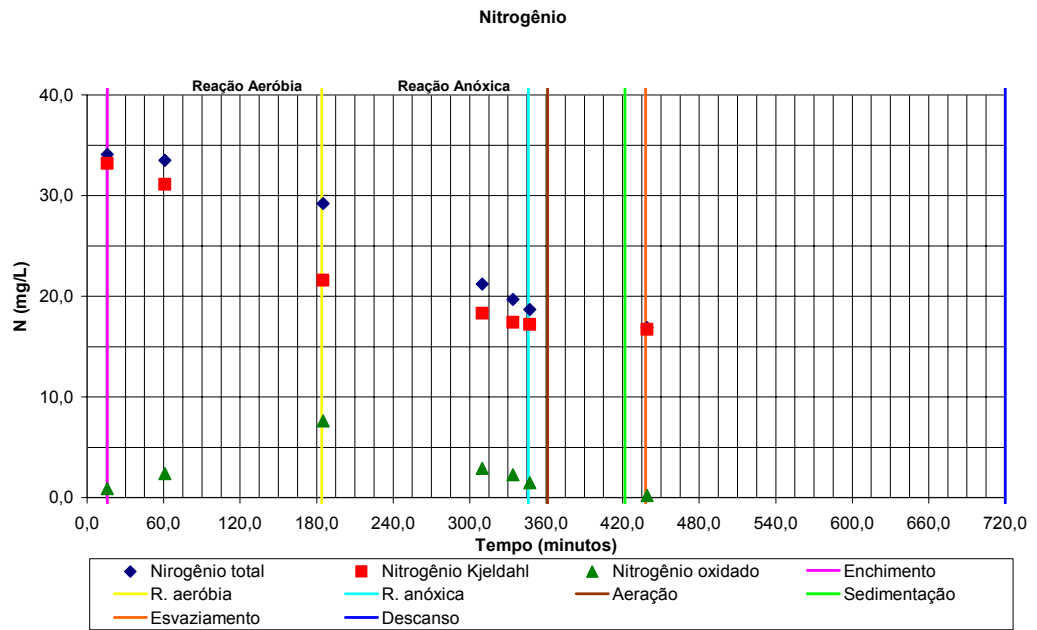


Figura 5.32 - Perfil temporal do nitrogênio total, Kjeldahl e oxidado, ciclo 85.

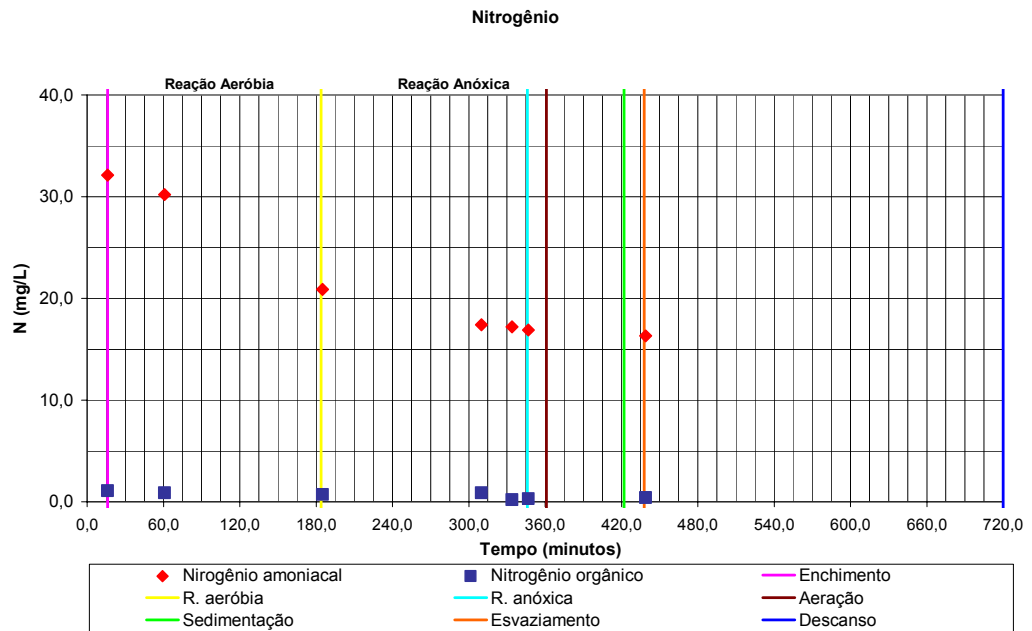


Figura 5.33 - Perfil temporal do nitrogênio amoniacal e orgânico, ciclo 85.

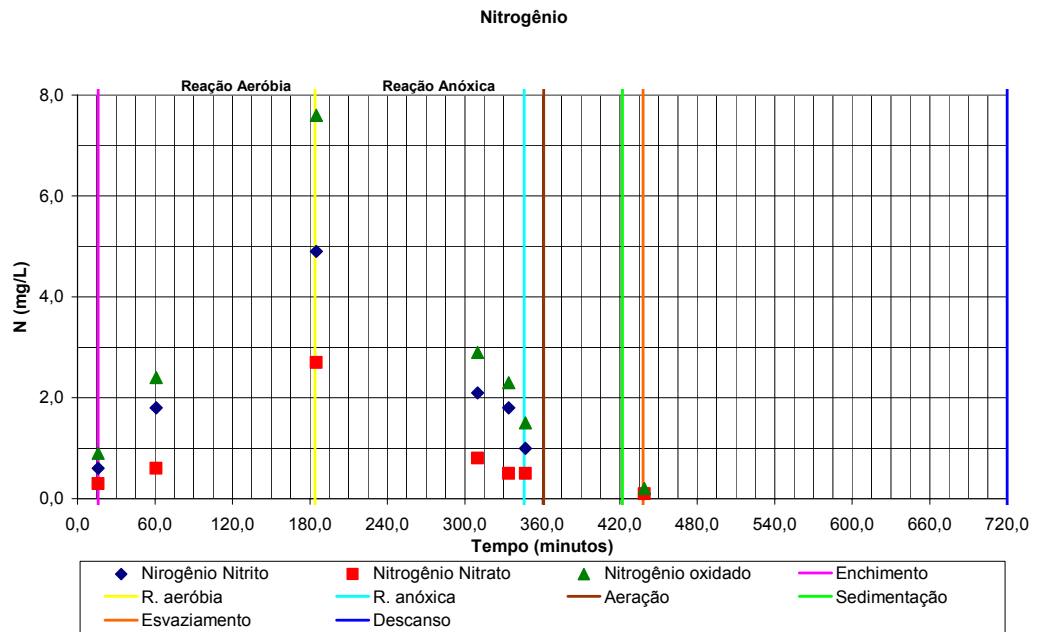


Figura 5.34 - Perfil temporal do nitrogênio nitrato, nitrito e oxidado, ciclo 85.

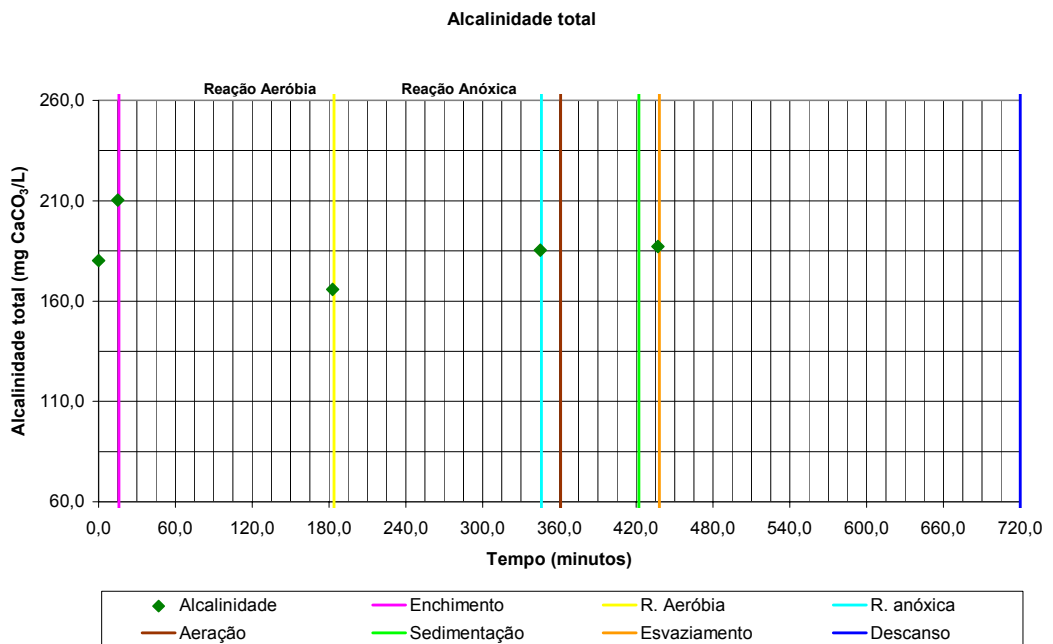


Figura 5.35 - Perfil temporal da alcalinidade total, ciclo 85.

As Figuras 5.30 e 5.31 mostram as concentrações dos sólidos e da DQO solúvel no licor misto do reator. Durante o período de enchimento estático, observa-se nesses gráficos o efeito de diluição, com a concentração de sólidos suspensos totais reduzida de 2.856,9 mg/L para 2610,5 mg/L. O efeito observado na concentração da DQO solúvel foi o acréscimo de 89,5 mg/L para 121,4 mg/L, em que houve o acúmulo de substrato, sugerindo uma taxa de consumo mínima pela respiração anaeróbia.

No período de enchimento estático houve um acréscimo, de 314,9 mg/L no SSV, expressando um pequeno crescimento na biomassa, provavelmente em função do longo período endógeno no período de descanso anterior e da curta duração no período de enchimento.

No período aeróbio houve a aeração e a mistura da biomassa com o substrato, a concentração da DQO decresceu de 121,4 mg/L para 52,5 mg/L em 45,0 minutos, havendo o consumo do carbono orgânico na síntese, pelos microrganismos heterotróficos com a respiração aeróbia. A partir desse instante, a tendência da DQO até o final da reação aeróbia foi de acréscimo, com a concentração final de 61,2 mg/L. Esse efeito, do acúmulo da DQO, tem sido atribuído à formação de produtos residuais solúveis. A sua formação é relacionada com a hidrólise de materiais celulares não viáveis, durante a respiração endógena (ORHON & ARTAN, 1994).

Uma vez a aeração iniciada, o nitrogênio Kjeldhal e o amoniacal reduziram-se rapidamente alcançando a concentração mais baixa aos 183,0 minutos, como mostra as Figuras 5.32 e 5.33, na qual ocorreu o final do processo de nitrificação.

O incremento de nitrogênio oxidado ocorreu assim que a aeração foi iniciada, atingindo o valor máximo aos 183,0 minutos, como mostra a Figura 5.34, na qual ocorreu o final do processo de nitrificação.

A concentração de nitrogênio amoniacal máxima de 32,1 mg/L ocorreu no final do período de enchimento, coincidindo com o pH ao redor de 6,2. Baseado nesses dados, a concentração correspondente de amônia livre foi de aproximadamente 0,1 mg/L (SEDLAK, 1991). Essa concentração refere-se ao limite inferior de amônia livre, na qual ocorre a inibição das bactérias *Nitrobacter*, assim, o efeito inibitório foi mínimo.

Durante o período aeróbio, a declividade da curva de nitrogênio oxidado foi utilizada para determinar a taxa teórica da nitrificação de 2,4 mg NO₃⁻-N/L.h, a qual ocorreu entre o instante de 15,0 minutos e 183,0 minutos, como mostra a Figura 5.34. A taxa máxima diária específica da nitrificação calculada foi de 32,7 g NO₃⁻-N/kg SSVLM.dia, que está em conformidade com os valores reportados na literatura. PALIS & IRVINE (1985) operando um RSB com baixa carga na remoção de nitrogênio, relatou valores na faixa de 21,6 até 62,4 g NO₃⁻-N/kg SSVLM.dia. ALLEMAN (1978) apresentou valores de 170,0 g NO₃⁻-N/kg SSVLM.dia, obtido de estudos de nitrificação em RSB.

Ambos os processos de nitrificação e desnitrificação ocorreram durante o ciclo 85. O processo de desnitrificação utilizou o nitrogênio oxidado produzido no processo de nitrificação, no período anterior.

Alguma assimilação de nitrogênio amoniacal foi provocada pelos microrganismos heterotróficos, durante o período aeróbio. A concentração máxima teórica de nitrogênio total de 43,5 mg/L, baseada na concentração afluente de 72,4 mg/L, foi calculada para o final do período aeróbio. Nesse ponto, a concentração de nitrogênio total analisada foi de 29,2 mg/L, mostrada na Figura 5.32, indicando a ocorrência do processo mencionado.

A concentração de nitrogênio-nitrito foi a predominante, como mostra a Figura 5.34, e os níveis de amônia no interior do reator parece explicar o fenômeno. Para valores de pH de 6,2 a 7,9 ocorridos durante o ciclo, as concentrações de amônia livre maiores que 0,1 mg/L podem ter ocorrido, inibindo a comunidade de bactérias *Nitrobacter*. Outra explicação possível é a interrupção da redutase nitrato assimilatória ou dissimilatória, para o estágio do nitrito. Quaisquer que sejam os processos responsáveis pelo acúmulo transitório de nitrito, no final, o processo desnitrificação removeu todos os nitrogênios oxidados.

As taxas máxima horária e máxima diária específica da desnitrificação de 2,3 mg NO₃⁻-N/L.h e 43,2 g NO₃⁻-N/kg SSVLM.dia, respectivamente, foram determinadas durante o período anóxico, entre os instantes 183,0 minutos e 345,0 minutos. Em termos de desnitrificação, as taxas observadas apresentaram valores similares às relatadas nos sistemas, que utilizaram produtos da respiração endógena como fonte de carbono orgânico (TCHOBANOGLIOUS & BURTON, 1991).

A alcalinidade total, mostrada na Figura 5.35, expressou o ciclo de consumo de alcalinidade durante o processo de nitrificação e sua produção durante o processo de desnitrificação. Utilizando os dados da alcalinidade total e do nitrogênio oxidado, Figura 5.34, a taxa específica máxima de alcalinidade consumida de 6,65 mg $\text{CaCO}_3/\text{mg NO}_x\text{-N}$ produzido, foi calculada no período aeróbio. Em termos do processo de desnitrificação, a taxa específica máxima de alcalinidade produzida de 3,21 mg $\text{CaCO}_3/\text{mg NO}_x\text{-N}$ reduzido, foi observada durante o período anóxico. Valores similares foram relatados na literatura para ambos os processos (SEDLAK, 1991).

As Figuras 5.36 a 5.40 apresentam os resultados do monitoramento simultâneo e contínuo do pH, ORP e OD, assim como atuação do controle difuso durante o estudo do perfil temporal. Para um melhor entendimento das notações, dos pontos notáveis nesses gráficos, tem-se: Ponto “A” – início do processo de nitrificação; Ponto “B” – final do processo de nitrificação (“vale” da amônia); Ponto “C” – início do processo de desnitrificação; Ponto “D” – final do processo de desnitrificação (“joelho” do nitrato); e Ponto “E” – atuação do controle difuso, na reação anóxica; os índices “p”, “r” e “o” referem-se às sondas do pH, ORP e OD, respectivamente. As seguintes observações foram inferidas desses gráficos:

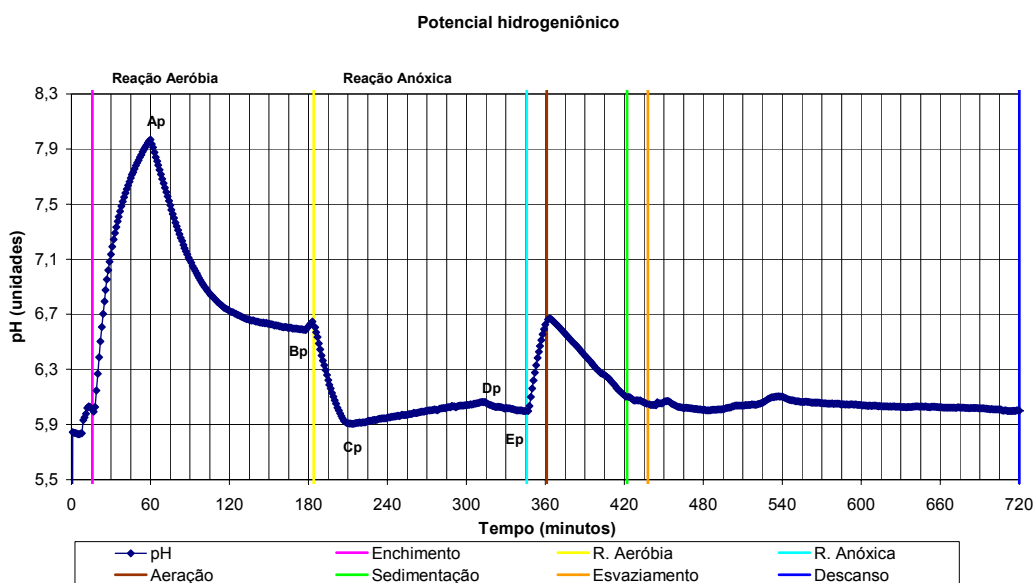


Figura 5.36 - Perfil temporal do pH, ciclo 85.

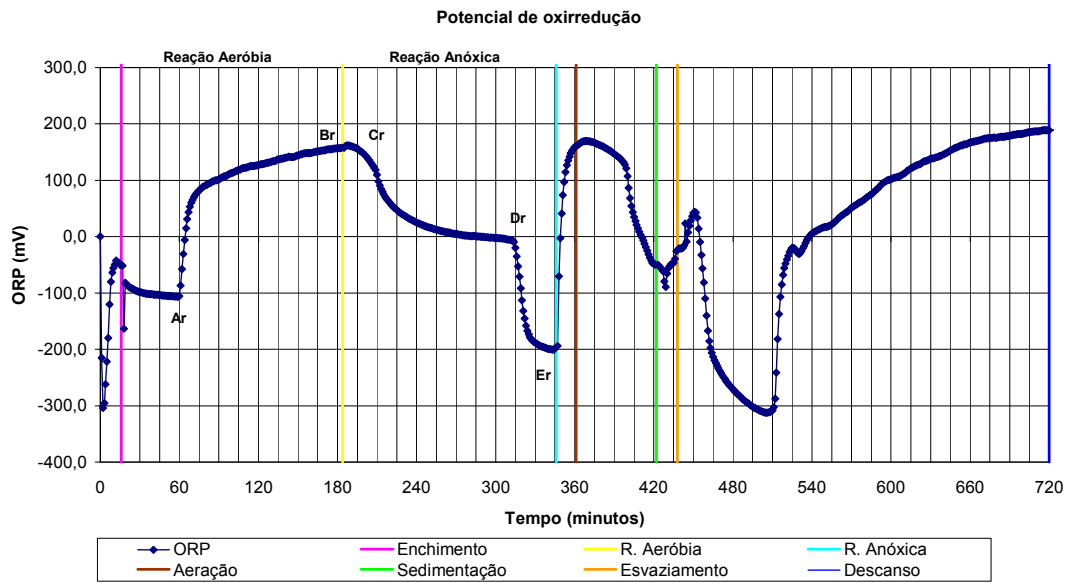


Figura 5.37 - Perfil temporal do ORP, ciclo 85.

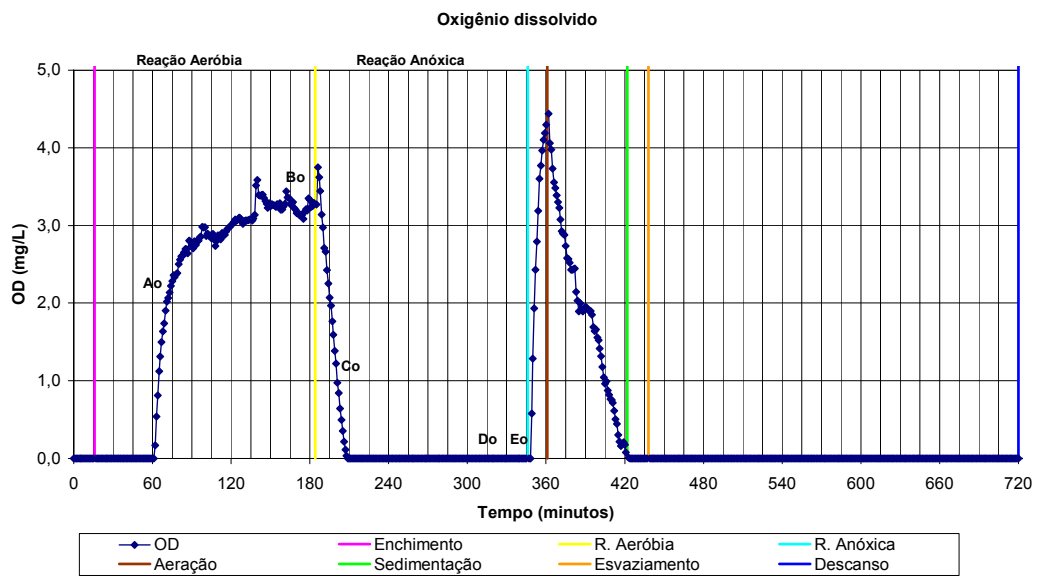


Figura 5.38 - Perfil temporal do OD, ciclo 85.

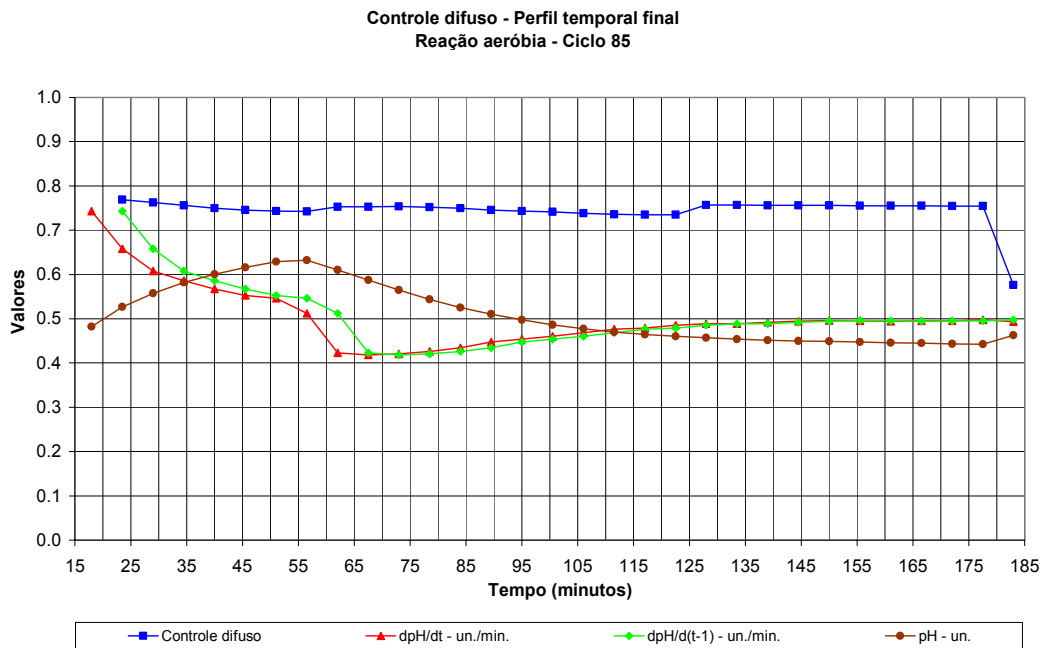


Figura 5.39 - Perfil temporal do controle difuso na reação aeróbia, ciclo 85.

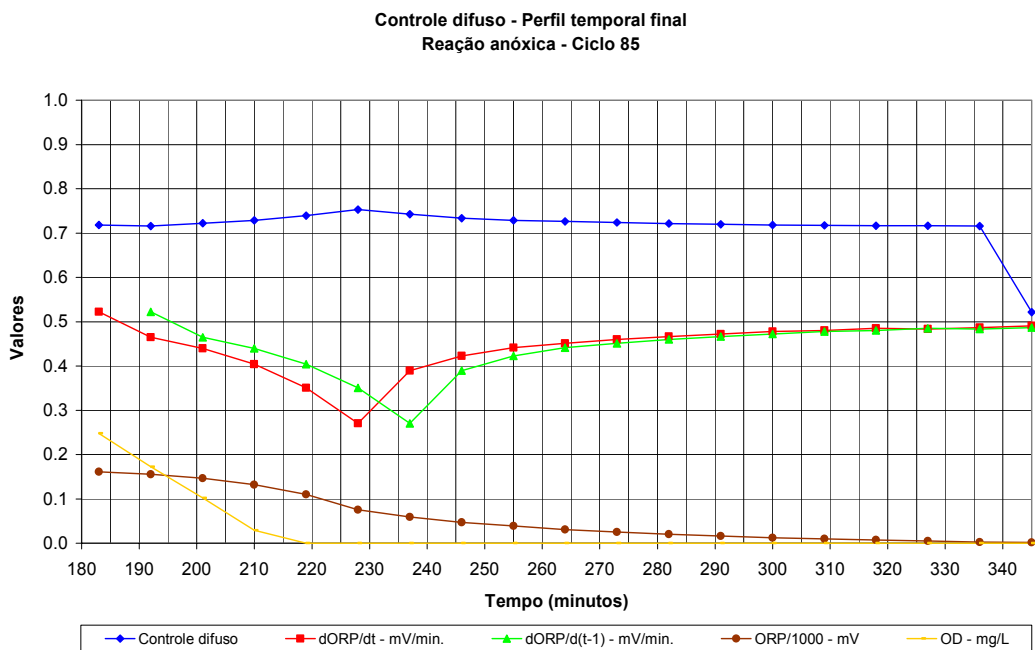


Figura 5.40 - Perfil temporal do controle difuso na reação anóxica, ciclo 85.

a) Enchimento estático

Esse período foi caracterizado pela adição de substrato, a ocorrência mínima das reações bioquímicas e pela diluição do esgoto afluyente com o conteúdo do reator. Os valores do pH mostram tendência de acréscimo não-linear, iniciando com valor de 5,9 para 6,0. A curva do OD permaneceu constante com valor igual a 0,0 mg/L. A curva do ORP mostra o valor inicial de -215,2 mV, com tendência de acréscimo não-linear até o valor final de -51,4 mV, caracterizando as condições fermentativas.

Convém ressaltar que, os valores absolutos das leituras das sondas podem ser não representativos, em condições tranqüilas no interior do reator, devido a falta de homogeneidade do meio.

b) Período da reação aeróbia

Com o início da aeração e a mistura do esgoto com a biomassa, houve modificações significativas nas curvas do pH, do ORP e do OD. A curva do pH apresentou a tendência de crescimento, assim que o período de reação aeróbia iniciou. O valor inicial do pH foi de 6,0 com tendência de crescimento não linear, atingindo o valor máximo de 8,0, no instante 60,0 minutos (ponto “Ap”). A curva do OD manteve-se constante, com valor igual a 0,0 mg/L, desde o início do período aeróbio até o instante 61,0 minutos (ponto “Ao”). A curva do ORP apresentou a tendência de decréscimo, assim que o período de reação aeróbia iniciou. O valor inicial foi de -51,4 mV e o final de -105,8 mV, no instante 59,0 minutos (ponto “Ar”).

O período referente ao instante inicial, do período aeróbio, até o instante 60,0 minutos foi marcado por três processos: a oxidação aeróbia pelos microrganismos heterotróficos, a amonificação dos compostos nitrogenados orgânicos e a desincorporação do gás do meio líquido. As Figuras 5.31 e 5.33, mostram esses processos, com as reduções nos valores das concentrações da DQO e do nitrogênio orgânico.

A curva do pH, no instante 60,0 minutos, apresenta o ponto de máximo “Ap”, no momento em que iniciou a reação aeróbia com a volatilização de dióxido de carbono e o início da nitrificação (CYBIS, 1992; CHANG & HAO, 1996). O ponto correspondente na curva do ORP, no instante 59,0 minutos, apresentou o ponto de inflexão “Ar” relatado por CYBIS (1992).

O pH decresceu no intervalo do instante 60,0 minutos aos 178,0 minutos, finalizando com valor 6,6 (ponto “Bp”). A curva do ORP até o instante 183,0 minutos apresentou um crescimento e finalizou com o valor de 156,7 mV. Esse aumento na ORP deve-se aos aspectos oxidativos no licor misto, causado pela nitrificação e pelos outros processos biológicos aeróbios.

A tendência de redução do pH, do instante 60,0 minutos aos 178,0 minutos, está associada ao processo de nitrificação durante o qual a alcalinidade, também, decresceu com o valor final no período aeróbio de 165,0 mg CaCO₃/L. O consumo da alcalinidade pelos microrganismos nitrificantes é a explicação no decréscimo do pH.

A curva do nitrogênio amoniacal, como mostra a Figura 5.33, apresentou uma tendência de redução durante o período aeróbio, com o valor de 21,0 mg/L, marcando o fim do processo de nitrificação. Esse ponto notável, também, foi relatado por CYBIS (1992) e PAUL *et al.* (1998). A curva do pH, no instante 178,0 minutos, apresentou o ponto mínimo (Bp). O ponto Bp identificou o final do processo de nitrificação, parcialmente, devido a limitação da concentração de oxigênio dissolvido no licor misto, ocasionada pela pequena altura do reator e pelas grandes bolhas produzidas pelo aerador, que proporcionaram a baixa transferência gás – líquido. A limitação na concentração do oxigênio dissolvido foi perceptível no seu perfil, Figura 5.38, que não apresentou nenhum ponto notável capaz de identificar o processo completo da nitrificação. A possibilidade de inibição da nitrificação pela formação de amônia livre e ácido nitroso livre é remota, considerando que o valor do pH era em torno de 6,6, portanto dentro do intervalo ótimo de 6,0 a 7,5 (SEDLAK, 1991).

A partir do instante 178,0 minutos até 183,0 minutos, o pH e o ORP tenderam a crescer, observando que o ponto correspondente ao “Bp”, na curva do ORP, não foi identificado.

No instante 183,0 minutos foi interrompido o período aeróbio. A Figura 5.39 apresenta a evolução, do controle difuso, dpH/dt , $dpH/d(t-1)$ e pH, no período aeróbio. A curva do controle difuso apresentou valores no intervalo de 0,7 a 0,8. A identificação ocorreu quando o valor do controlador difuso atingiu valores desnormalizados menores que 0,6.

A curva do OD e da temperatura apresentaram os valores médios de 2,1 mg/L e 18,8°C, respectivamente, durante o período aeróbio.

c) Período da reação anóxica

Com a paralisação da aeração no instante 183,0 minutos, mantendo somente a mistura no reator, nota-se que a curva de OD reduziu de 3,3 mg/L até 0,0 mg/L, no instante 209,0 minutos (ponto “Co”), mantendo esse valor até o fim do ciclo. Do instante 183,0 minutos ao instante 213,0 minutos (ponto “Cp”), o pH apresentou decréscimos com valor inicial de 6,6 e final de 5,9. Do instante 183,0 minutos ao instante 211,0 minutos (ponto “Cr”), a curva do ORP apresentou um decréscimo não linear, com valor inicial de 157,4 mV e final de 97,9 mV.

A curva do pH, no instante 213,0 minutos, apresentou o ponto de mínimo “Cp”, marcando o momento em que começam a predominar as condições anóxicas, com o início do processo de desnitrificação. O ponto correspondente na curva do ORP, no instante 211,0 minutos, foi o ponto de inflexão “Cr”, relatado por CYBIS (1992), PLISSON-SAUNE (1997) e PAUL *et al.* (1998).

No intervalo, do instante 213,0 minutos ao 312,0 minutos, a curva do pH cresceu, finalizando com o valor de 6,1 (ponto “Dp”). A curva do ORP, do instante 211,0 minutos ao 314,0 minutos, decresceu e finalizou com o valor de -9,6 mV (ponto “Dr”).

A curva do pH, no instante 312,0 minutos, apresentou o ponto de máximo “Dp”, relatado por CYBIS (1997) e CHANG & HAO (1996); como o momento em que ocorre o final do processo de desnitrificação. Na curva do ORP, o instante 314,0 minutos marcou como o ponto de inflexão “Dr”, como o momento em que se iniciam

as atividades sulfato-redutoras, que marcaram o fim do processo de desnitrificação (PLISSON-SAUNE *et al.*, 1996).

No intervalo, do instante 312,0 minutos ao 345,0 minutos, a curva do pH decresceu, finalizando com o valor de 6,0 (ponto “Ep”). A curva do ORP, do instante 314,0 minutos ao 345,0 minutos, decresceu e finalizou com o valor de -198,8 mV (ponto “Er”).

No instante 345,0 minutos, o período anóxico foi interrompido. A Figura 5.40 apresenta a evolução do controle difuso, $dORP/dt$, $dORP/d(t-1)$, ORP e OD, no período anóxico. A curva do controle difuso apresentou valores no intervalo de 0,7 a 0,8. A identificação ocorreu quando o valor do controlador difuso atingiu valores desnormalizados menores que 0,55.

A curva do OD e da temperatura apresentaram os valores médios de 0,3 mg/L e 19,2°C, respectivamente, durante o período anóxico.

6. CONCLUSÕES

O desenvolvimento da pesquisa para a implementação do controle difuso em tempo real, para reatores seqüenciais em batelada, na remoção biológica de matéria orgânica e nitrogênio, possibilitou as seguintes conclusões:

O reator seqüencial em batelada comportou como uma alternativa excelente nos processos de remoção de carbono, nitrificação e desnitrificação, apresentando uma construção simplificada e com grande flexibilidade operacional, quando associada a um sistema de automação.

A aplicação das medições de parâmetros inferenciais do pH, ORP e OD na identificação dos instantes temporais, na qual marcam o final dos períodos aeróbios e anóxicos, foi bem sucedida. O pH e o potencial de oxirredução apresentaram-se com muita coerência, na identificação do final do período aeróbio, sendo o oxigênio dissolvido e o potencial de oxirredução mais preponderantes para a identificação do período anóxico.

As aplicações dos conjuntos nebulosos triangulares representaram, satisfatoriamente, as indeterminações das variáveis inferenciais do pH, ORP e OD. Em relação a implicação nebulosa, Mamdani mostrou-se bem adaptada na formação das regras de produção, advindas do especialista. O método de desnebulização, pelos centros das áreas, comportou-se de forma eficaz em termo de tempo de processamento, durante a aplicação do controle em tempo real. O método de sintonia do controlador difuso utilizado o MATLAB, mostrou-se eficaz e com implementação rápida

O controle difuso atuou de forma robusta, em relação as falhas, na detecção dos pontos de notáveis; as durações nos períodos aeróbios com nitrificação parcial, nos ciclos 71 ao 85, tiveram o valor médio de 162,1 minutos, com a redução relativa na duração do período aeróbio de 19,0%, tomando como referência o período máximo de 200,0 minutos; as durações nos períodos anóxicos tiveram o valor médio de 164,4 minutos, com a redução relativa na duração do período anóxico de 43,3%, tomando como referência o período máximo de 290,0 minutos.

A operação do reator seqüencial em batelada durante os 85 ciclos, com dois ciclos diários, resultaram as eficiências médias na remoção da matéria orgânica (DQO) de 90,8%, da nitrificação de 73,0%, da desnitrificação de 97,9% e do nitrogênio de 49,8%. O IVL médio durante os 85 ciclos, com dois ciclos diários, foi de 117,5 mL/g, indicando uma sedimentação com características médias. A taxa específica média diária durante os 85 ciclos, no processo de nitrificação foi de 24,2 g N/kg SSVLM.dia; e no processo de desnitrificação foi de 15,5 g N/kg SSVLM.dia.

7. RECOMENDAÇÕES

As áreas de pesquisas, da inteligência artificial e dos processos de remoção biológica de nitrogênio, compreendem um amplo espectro multidisciplinar dos métodos científicos, possuindo um caráter eclético nas suas aplicações. Assim, para as pesquisas futuras, recomenda-se:

A implementação de outras abordagens na área da inteligência artificial e a aplicação de outros parâmetros inferenciais, visto que o programa computacional CONRSB foi desenvolvido com linguagem computacional de alto nível, facilitando a sua implementação. O desenvolvimento de experimentos, para a remoção biológica de fósforo em RSB, é uma dessas abordagens, considerando que as rotinas computacionais de identificação dos pontos notáveis, no período anaeróbio, foram implementadas nesta pesquisa.

O desenvolvimento do experimento, realizado neste trabalho, em escala real, visto que os comportamentos dos parâmetros inferenciais propostos, devem ser melhor estudados, ao longo do reator; assim como o estudo do comportamento de sensores mais robustos e confiáveis, principalmente na medição do oxigênio dissolvido. A aplicação do sensor de nível de água, para operar confiavelmente em ambientes agressivos e com espuma, deverá ser um dos dispositivos a ser implementado nesses experimentos, reduzindo as possíveis falhas durante o período de enchimento.

A aplicação do raciocínio pelo método de Takagi-Sugeno e dos algoritmos genéticos para a extração das regras de produção, para os predicativos das declividades das curvas dos parâmetros inferenciais, poderá potencializar a identificação nebulosa.

A aplicação dos sistemas neuro-nebulosos para as identificações dos instantes finais das reações aeróbia e anóxica, com os treinamentos utilizando as curvas dos parâmetros inferenciais, associados aos processos biológicos, em tempo real.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKIN, B. S.; UGURLU, A. Monitoring and control of biological nutrient removal in a sequencing batch reactor. **Process Biochemistry**, v.40, n.8, p.2873-2878, 2005.
- ALLEMAN, J. E. **Nitrogen Removal from Wastewater Using Sequencing Batch Reactors**. Indiana: University of Notre Dame, 1978. 188f. Tese (Doutorado) - University of Notre Dame, 1978.
- ANTHONISEN, A. C.; LOEHR, R. C.; PRAKASAN, T. B. S.; SRINATH, E.G. Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid. **Journal Water Pollution Control Federation**, v.48, n.5, p.835-851, 1976.
- ARARIBÓIA, G. **Inteligência artificial: um curso prático**. Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos e Científicos Ltda., 1989. 282p., il.
- ARDERN, E.; LOCKETT, W. T. Experiments on the oxidation of sewage without the aid of filters. **Journal Soc. Chem. Ind.**, v.XXXIII, n.10, p.523-536, 1914.
- BARNES, D.; BLISS, P. J. **Biological control of nitrogen in wastewater treatment**. London: E. & F.N. Spon, 1983. 146p., il.
- BARR, A.; FEIGENBAUM, E. A. **The handbook of artificial intelligence**. New York: Addison Wesley, 1981. 3v., 409p., il.
- BÜHLER, H.; GALSTER, H. **Redox Measurement: Principles and Problems**. Zürich: W. Ingold AG, 1979. 23p., il.
- BÜHLER, H.; INGOLD, W. Measuring pH and oxygen in fermenter. **Process Biochemistry**, v.11, n.3, p.19-24, 1976.
- CALLADO, N. H.; FORESTI, E. Remoção de matéria carbonácea e nitrogênio em reatores seqüenciais em batelada utilizando diferentes tempos de agitação e fontes externas de carbono. **In: Anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, João Pessoa, 2001.
- CASEY, T. J. **Unit treatment processes in water and wastewater engineering**. Chichester: John Wiley & Sons, 1993. 280p., il. (Wiley series in water resources engineering).

- CHAMBER, B. Batch operated activated sludge plant for production of high effluent quality at small works. **Water Science & Technology**, v.35, n.10, p.251-258, 1993.
- CHANG, C. H.; HAO O. J. Sequencing batch reactor system for nutrient removal: ORP and pH profiles. **Journal Chemical Technology & Biotechnology**, v.67, p.27-38, 1996.
- CHARPENTIER, J.; GOLDART, H.; MARTIN, G.; MOGNO, Y. Oxidation-reduction potential (ORP) regulation as a way to optimize aeration and C, N and P removal: Experimental basis and various full-scale examples. **Water Science & Technology**, v.21, p.1209-1223, 1989.
- CHEN, K. C.; CHEN, C. Y.; PENG, J. W., HOUNG J. Y. Real-time control of an immobilized-cell reactor for wastewater treatment using ORP. **Water Research**, v.36, p.230-238, 2002.
- CHEN, Y. U.; CAO, Z.; KANDEL, A. Application of fuzzy reasoning to the control of an activated sludge plant. **Fuzzy Set and System**, v.38, n.1, p.1-14, 1990.
- COELHO, L. S.; ALMEIDA O. M.; COELHO A. A. R. Projeto e estudo de caso da implementação de um sistema de controle nebuloso. **Revista Controle & Automação**, v.14, n.1, p.20-29, 2003.
- CORTINOVI, S. L. **Um protótipo de sistema especialista para projeto lógico de blocos operacionais de circuitos digitais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1986. 179f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1986.
- CYBIS, L. F. **An innovative approach to the control of sequencing batch reactors used for nitrification and denitrification**. Leeds: University of Leeds, 1992. 240f. Tese (Doutorado) - University of Leeds, 1992.
- DEMUYNCK, C.;VANROLLEGHEM, P.; MINGNEAU, C.; LIESSENS, J.; VERSTRAETE, W. NDBEPR Process optimization in SBRs:Reduction of external carbon-source and oxygen supply. **Water Science & Technology**, v.30, n.4, p.169-179, 1994.
- DRIANKOV, D.; HELLENDORRN, H.; REINFRANK, M. **An introduction to fuzzy control**. Berlin: Springer, 1996. 316p., il.

- ECKENFELDER, W. W.; GRAU, P. **Activated sludge process design and control – theory and practice**. Lancaster: Technomic Publishing Company, Inc., 1992. 268 p., il. (Water quality management library–v.1).
- EKAMA, G. A.; MARAIS, G. V. R.; SIEBRITZ, I. P.; PITMAN, A. R.; KEAY, G. F. P.; BUCHAN, L.; GERBER, A.; SMOLLEN, M. **Theory, design and operation of nutrient removal activated sludge processes**. Pretória: Water Research Commission, 1984. (Várias paginações), il.
- ENGEL, P. M. **Apostila da disciplina sistemas inteligentes avançados**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, curso de pós-graduação em Ciência da Computação, 1998. 60p., il.
- FURUMAI, H.; KAZMI, A. A.; FUJITA, M.; FURUYA, Y.; SASAKI, K. Modeling long term nutrient removal in a sequencing batch reactor. **Water Research**, v.33, n.11, p.2708-2714, 1999.
- GAUDY, A. F.; GAUDY, E. T. **Elements of bioenvironmental engineering**. San José: Engineering Press, Inc., 1988. 592p., il.
- GRADY, C. P. L.; LIM, H. C. **Biological wastewater treatment – theory and applications**. New York: Marcel Dekker, Inc, 1980. 963p., il.
- GRUNDITZ, C; DALHAMMAR, G. Development of nitrification assays using pure cultures of *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*. **Water Research**, v.35, n.2, p.433-440, 2001.
- HAMAMOTO, Y.; TABATA S.; OKUBO, Y. Development of the intermittent cyclic process for simultaneous nitrogen and phosphorus removal. In: **First IAWQ specialized conference on sequencing batch reactors technology**. Munich: IAWQ, 1996. p.69-70.
- HÄNEL, K. **Biological treatment of sewage by the activated sludge process**. Chichester: Ellis Horwood Limited, 1988. 299p., il.
- HARMON, P; KING D. **Sistemas especialistas: a inteligência artificial chega ao mercado**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1988. 304p., il. Tradutor: CARPINTEIRO, A. F.
- HEAD, M. A; OLESZKIEWICZ, J. A. Bioargumentation for nitrification at cold temperatures. **Water Research**, v.38, p.523-530, 2004.

- HELLENDOORN, H.; DRIANKOV, D. **Fuzzy – Model identification – Selected approaches**. Berlin: Springer, 1997. 319p., il.
- HORAN, N. J. **Biological wastewater treatment systems: theory and operation**. Chichester: John Wiley & Sons, 1990. 310p., il.
- INGOLD, W. **Oxygen electrodes**. Zürich: W. Ingold AG, 1980. 8p., il.
- IRVINE, R. L.; KETCHUM, L. H.; BREYFOGLE, E. F.; BARTH, E. F. Municipal application of sequencing batch treatment. **Journal Water Pollution Control Federation**, n.51, p.484-489, 1983.
- ISAACS, S. H; HENZE, M. Controlled carbon source addition to an alternating nitrification-denitrification wastewater treatment process including biological P removal. **Water Research**, v.29, n.1, p.77-89, 1995.
- KELLER, R. **Tecnologia de sistemas especialistas: desenvolvimento e aplicação**. São Paulo: Editora Makron Books, 1991. 282p., il. Tradutor: CASTELLO, R.
- KETCHUM, L. H. Design and physical feature of sequencing batch reactors. **Water Science & Technology**, v.35, n.1, p.11-18, 1997.
- KIM, J. H.; CHEN M.; KISHIDA N.; SUDO R. Integrated real-time control strategy for nitrogen removal in swine wastewater treatment using sequencing batch reactors. **Water Research**, v.38, p.3340-3348, 2004.
- KOSKO, B. **Neural networks and fuzzy systems: a dynamical systems approach to machine intelligence**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, Inc, 1992. 452p., il.
- KUBA, T.; SMOLDERS, G.; van LOOSDRECHT, M. C. M.; HEIJNEN. Biological phosphorus removal from wastewater by anaerobic-anoxic sequencing batch reactor. **Water Science & Technology**, v.27, n.56, p.241-252, 1993.
- LEE, D. S.; JEON C. O.; PARK J. M. Biological nitrogen removal with enhanced phosphate uptake in sequencing batch reactor using single sludge system. **Water Research**, v.35, n.16, p.3968-3976, 2001.
- LEE, Y. H.; TSAO, G. T. Dissolved oxygen electrodes. **Advanced Biochemical Engineering**, v.13, p.36-86, 1979.
- LIPTAK, B. G. **Environmental engineers handbook**. Pensilvânia: Chilton Book Company, 1974. 660p., il.

- MAMDANI, E. H.; ASSILIAN, S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. **International Journal of Man-Machine Studies**, v.7, n.1, p.1-13, 1975.
- MARAIS, G. V. R.; EKAMA, G. A. The activated sludge process – Part I – Steady state behaviour. **Water S.A.**, v.2, n.4, p.164-200, 1976.
- MATHWORKS, The. **Fuzzy Logic Toolbox for use with MATLAB – User’s guide – Versão 2**. The MathWorks, 1999. (Várias paginações), il.
- MEYER, P; LOHRUM, A.; GAREISS, J. **Practice and theory of pH measurement**. Urdorf: Ingold Messtechnik AG, 1989. 87p., il.
- OLESZKIEWICZ, J. A.; BERQUIST, S. A. Low Temperature Nitrogen Removal in Sequencing Batch Reactors. **Water Research**, v.22, n.9, p. 1163-1171, 1988.
- ORHON, D.; ARTAN, N. **Modelling of activated sludge systems**. Lancaster: Technomic Publishing Co., 1994. 589p., il.
- PALIS, J. C.; IRVINE, R. L. Nitrogen removal in a low-loaded single tank sequencing batch reactor. **Journal Water Pollution Control Federation**, v.57, n.1, p.82-86, 1985.
- PAUL, E.; PLISSON-SAUNE, S.; MAURET, M.; CANTET, J. Process state evaluation of alternating oxic-anoxic activated sludge using ORP, pH and OD. **Water Science & Technology**, v.38, n.3, p.299-306, 1998.
- PAVSELJ, N.; HVALA, N.; KOČIJAN, J.; ROS, M.; SUBELJ, M.; MUSIC, G.; STRMENIK, S. Experimental design of an optimal phase duration control strategy used in batch biological wastewater treatment. **ISA Transactions**, v.40, p.41-56, 2001.
- PENG, Y. Z.; GAO, J. F.; WANG S. Y.; SUI, M. H. Use pH and ORP as fuzzy control parameters of denitrification in SBR process. **Water Science & Technology**, v.46, n.4-5, p.131-137, 2002.
- PENG, Y. Z.; ZENG W.; WANG S. Y. DO concentration as a fuzzy control parameter for organic substrate removal in SBR process. **Environmental Engineering Science**, v.21, n.5, p.606-616, 2004.
- PLISSON-SAUNE, S.; CAPDEVILLE, B.; MAURET, M.; DEGUIN, A.; BAPTISTE, P. Real-time control of nitrogen removal using three ORP bending-

- points: signification, control strategy and results. **Water Science & Technology**, v.33, n.1, p.275-280, 1996.
- PUIG, S.; COROMINAS, L.; VIVES M. T.; BALAGUER M. D.; COLPRIM, J.; COLOMER, J. Development and implementation of a real-time control system for nitrogen removal using OUR and ORP as endpoints. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v.44, n.9, p.3367-3373, 2005.
- RANDALL, C. W.; BARNARD, J. L., STENSEL, H. D. **Design and retrofit of wastewater treatment plants for biological nutrient removal**. Lancaster: Technomic Publishing Company Inc., 1992. 420p., il. (Water Quality Management Library – v.5).
- RUSSELL, J. B. **Química Geral**. 2.ed. São Paulo: Makron Books, v.1, 1994. 1235p., il.
- RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. **Inteligência artificial**. 2.ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2004. 1132p., il. Tradutor: ENGEL, P. M.
- SANTOS, A. V. **Comportamento do reator sequencial em batelada (RSB) sob estado estacionário dinâmico utilizando a idade do lodo como parâmetro de controle operacional**. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 206f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2005.
- SASAKI, K.; YAMAMOTO, Y.; TSUMURA K.; HATSUMATA S., TATEWAKI, M. Simultaneous removal of nitrogen and phosphorus in intermittently aerated 2-tank activated sludge process using OD and ORP-bending-point control. **Water Science & Technology**, v.28, n.11-12, p.513-521, 1993.
- SAWYER, C. N.; McCARTY P. L. **Chemistry for environmental engineering**. 3.ed. Singapura: MacGraw-Hill, 1987. 532p., il.
- SCHANK, R. **What is AI, anyway ?** Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 25p.
- SEDLAK, R. I. **Phosphorus and nitrogen removal from municipal wastewater – principles and practice**. 2.ed. New York: Lewis Publishers, 1991. 240p., il.
- SILER, W. **Building fuzzy expert systems**. Disponível on-line em <http://www.building-fuzzy-expert-systems/index>. 02 mar. 2000.

- SLIEKERS, A. O.; DERWORT, N.; CAMPOS GOMEZ, J. L.; STROUS M.; KUENEN J. G.; JETTEN M. S. M. Completely autotrophic nitrogen removal over nitrite in one single reactor. **Water Research**, v.36, p.2475-2482, 2002.
- STANBURY, P. F.; WHITAKER, A.; HALL S. J. **Principles of fermentation technology**. 2.ed. Oxford: Elsevier Science Ltd., 1995. 357p., il.
- STANDARD methods for examinations of water and wastewater. 20.ed. Washington: American Public Health Association, 1998. 1v. (Várias paginações), il.
- TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse / Metcalf & Eddy, Inc.** 3.ed. New York: McGraw-Hill, 1991. 1334p., il. (Inc. Civil Engineering Series).
- TONG, R. M.; BECK, B. M.; LATTEN, A. Fuzzy control of the activated sludge wastewater treatment process. **Automatica**, v.16, n.6, p.659-701, 1980.
- TSAI, Y. P.; OUYANG, C. F., WU M. Y.; CHIANG W. L. Fuzzy control of dynamic activated sludge process for the forecast and control of effluent suspended solid concentration. **Water Research**, v.28, n.4, p.913-921, 1994.
- USEPA. **Manual – nitrogen control**. Washington: United State Environmental Protection Agency, 1993. 311p., il.
- . **Sequencing batch reactors for nitrification and nutrient removal**. Washington: United State Environmental Protection Agency, 1992. 51p., il.
- . **Wastewater technology fact sheet sequencing batch reactors**. Washington: United State Environmental Protection Agency, 1999. 9p., il.
- VAN HAANDEL, A. C. **Nitrification and denitrification kinetics in activated sludge process**. Cape Town: University of Cape Town – Department of civil engineering, 1981. (Várias paginações). Tese (Doutorado) University of Cape Town, 1981.
- VAN HAANDEL, A. C.; MARAIS, G. V. R. **O comportamento do sistema de lodo ativado – teoria e aplicação para projetos e operação**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999. 472p., il.
- von SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias - Lodos ativados**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e

- Ambiental – UFMG, 1997. 415p., il. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – v.5).
- WANNER, J. Use of the routine biological analyses to check the performance of sewage treatment plants. In: **International Symposium Biological Approach to Sewage Treatment Process: Current Status and Perspectives**. Perugia: ed. Paolo Madoni, 1991. p.199-210.
- WAREHAM, D. G.; HALL K. J.; MAVINIC D. S. Real-time control of wastewater treatment systems using ORP. **Water Science & Technology**, v.28, n.11-12, p.273-282, 1993.
- WEF. **Design of municipal wastewater treatment plants**. Alexandria: Water Environment Federation/American Society of Civil Engineers, 1992. 1592p., il. (WEF manual of practice n.8 - v.1-2).
- WOUTERS-WASIAK, K.; HEDUIT, A.; AUDIC, J. M.; LEFEVRE, F. Real-time control of nitrogen removal at full-scale using reduction potential. **Water Science & Technology**, v.30, n.4, p.207-210, 1994.
- YIN, M. T.; STENSTROM M. K. Fuzzy logic process control of HPO-AS process. **Journal of Environmental Engineering**, february, p.137-145, 1996.
- YU, R. F.; LIAW, S. L., CHANG, C. N.; LU, H. J.; CHENG, W. Y. Monitoring and control using on-line ORP on the continuous-flow activated sludge batch reactor system. **Water Science & Technology**, v.35, n.1, p.57-66, 1997.
- ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v.8, p.338-353, 1965.

9. ANEXOS

A - Módulos de implementação do programa computacional CONRSB

Neste anexo serão apresentadas as telas do monitor de vídeo do programa computacional CONRSB.

A apresentação segue a seqüência do *menu* principal, incorporado na tela principal, Figura 9.1. Nessa tela são mostrados os seguintes *menus*: Arquivo, Calibração, Control e, Monitoramento e Sobre.

O *menu* Arquivo é dividido nos seguintes *submenus*: Gera Configuração do Reator 1, Gera Configuração do Reator 2, Ler Configuração do Reator 1, Ler Configuração do Reator 2 e Sair. As telas, das Figuras 9.2 a 9.4, mostram a seqüência completa para o reator 1.

O *menu* Calibração é mostrado na Figura 9.5, por meio desse foi possível a calibração dos sensores do pH, ORP, OD e temperatura para o RSB 1 e RSB 2.

O *menu* Control e, mostrado na Figura 9.6, possui um único *submenu* denominado Manual. O *submenu* Manual é mostrado na Figura 9.7 e permitiu o acionamento dos dispositivos atuadores, quando o controle automático não estava ativo.

O *menu* Monitoramento, mostrado na Figura 9.8, é dividido nos *submenus*: Numérico - RSB 1 e 2, Gráfico RSB 1 e Gráfico RSB 2. O *submenu* Numérico - RSB 1 e RSB 2, apresentado na Figura 9.9, possibilitou o monitoramento em tempo real das informações das sondas e dos estados das variáveis de controle. A Figura 9.10 mostra a tela do monitor de vídeo do *submenu* Gráfico - RSB 1, na qual é funcionalmente semelhante ao *submenu* Gráfico - RSB 2, que apresentou as informações em tempo real das sondas, de forma gráfica.

O *menu* Sobre, mostrado na Figura 9.11, apresenta as informações sobre a autoria do programa computacional CONRSB.

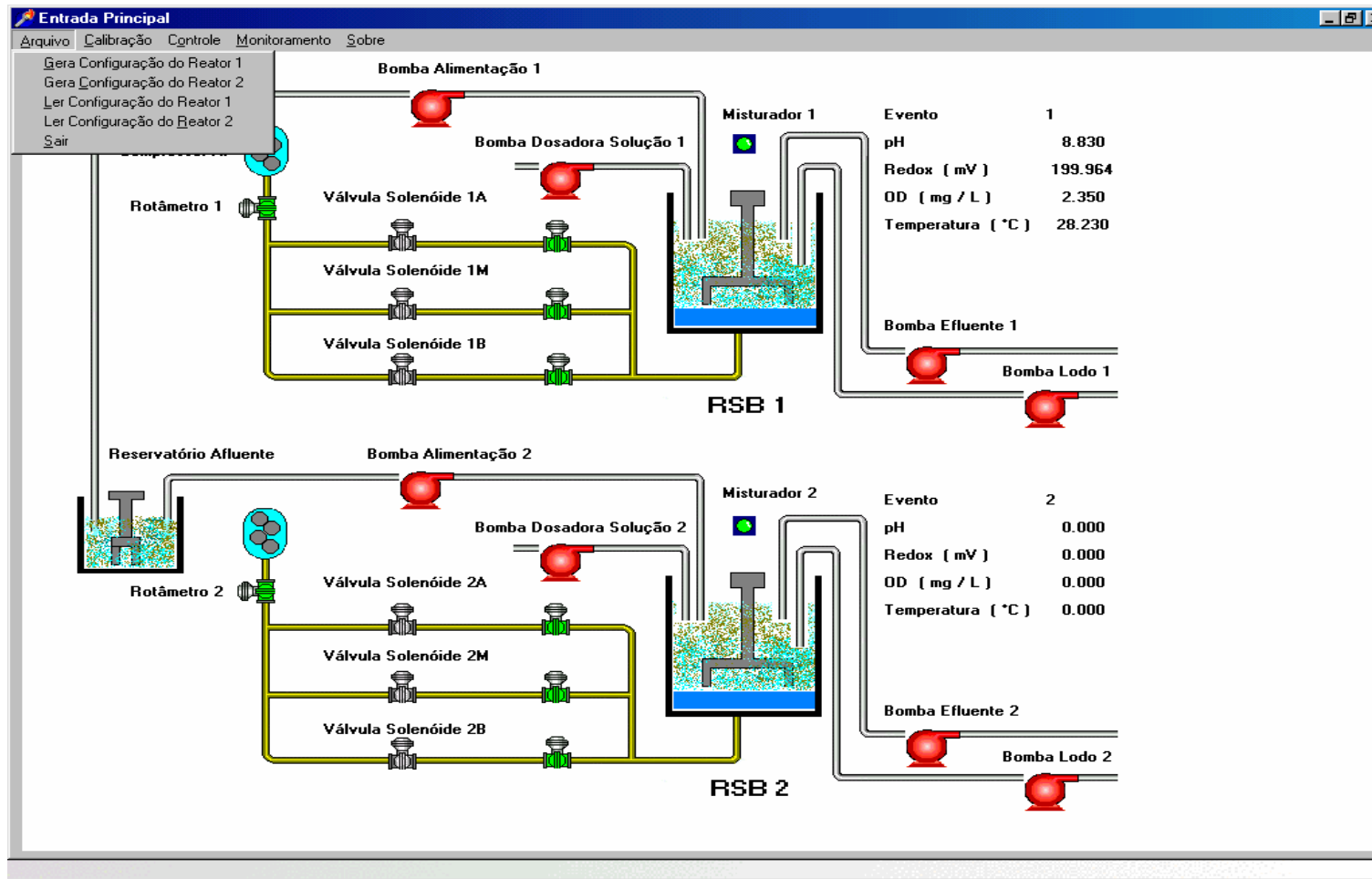


Figura 9.1 - Tela do menu Arquivo.

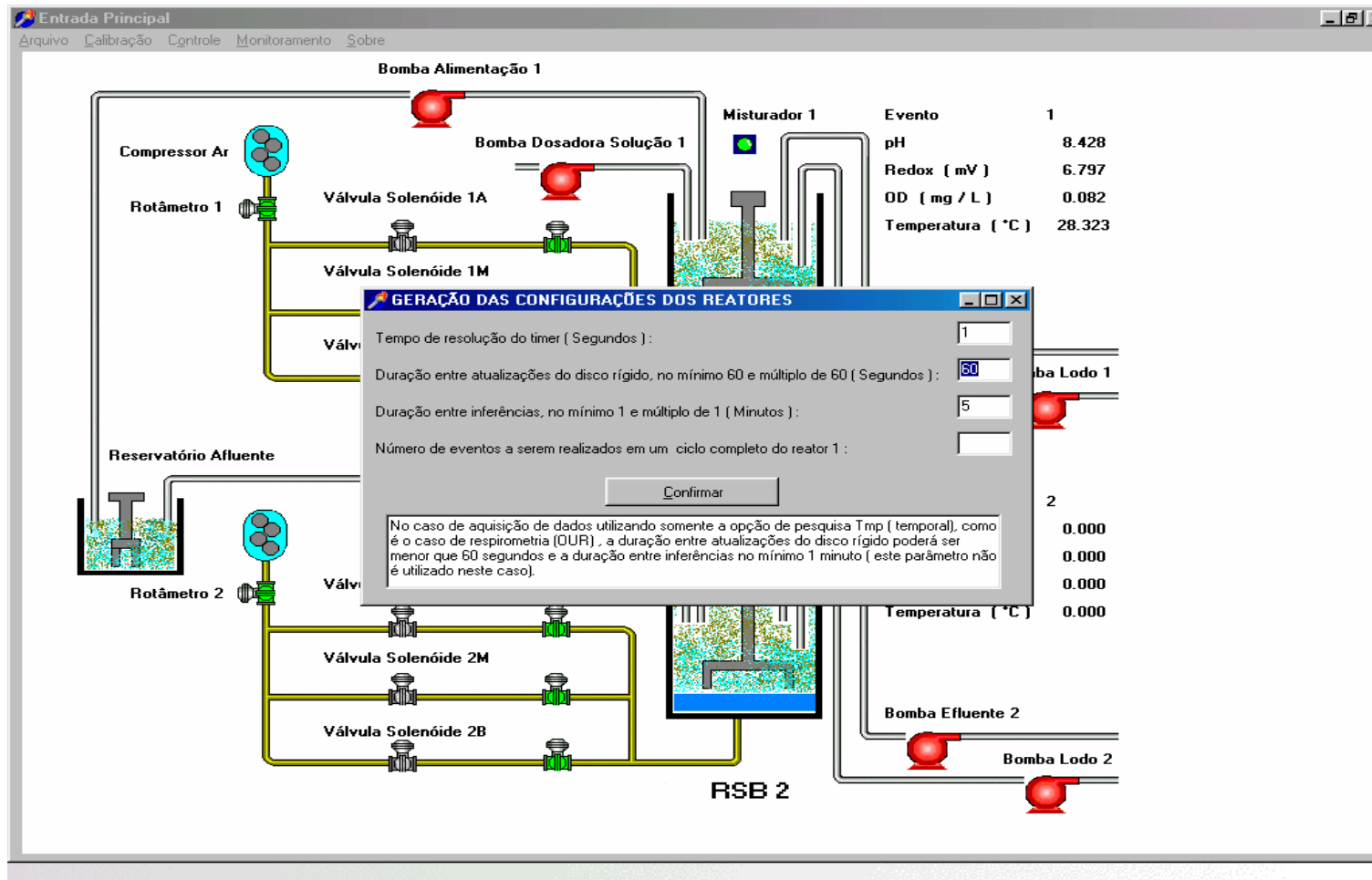


Figura 9.2 - Tela do submenu Gera configuração do reator 1 – Primeira tela.

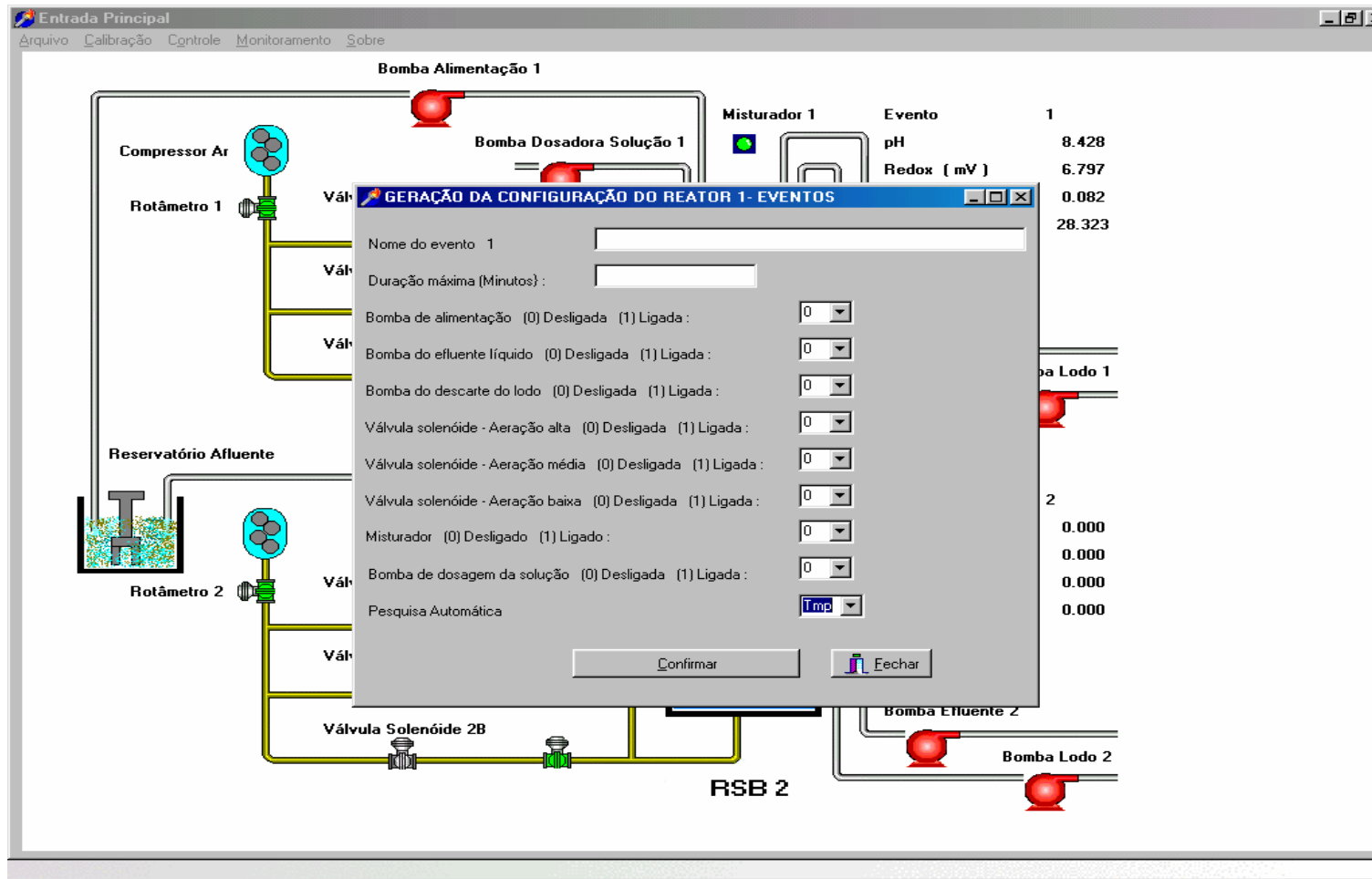


Figura 9.3 - Tela do submenu Gera configuração do reator 1 – Segunda tela.

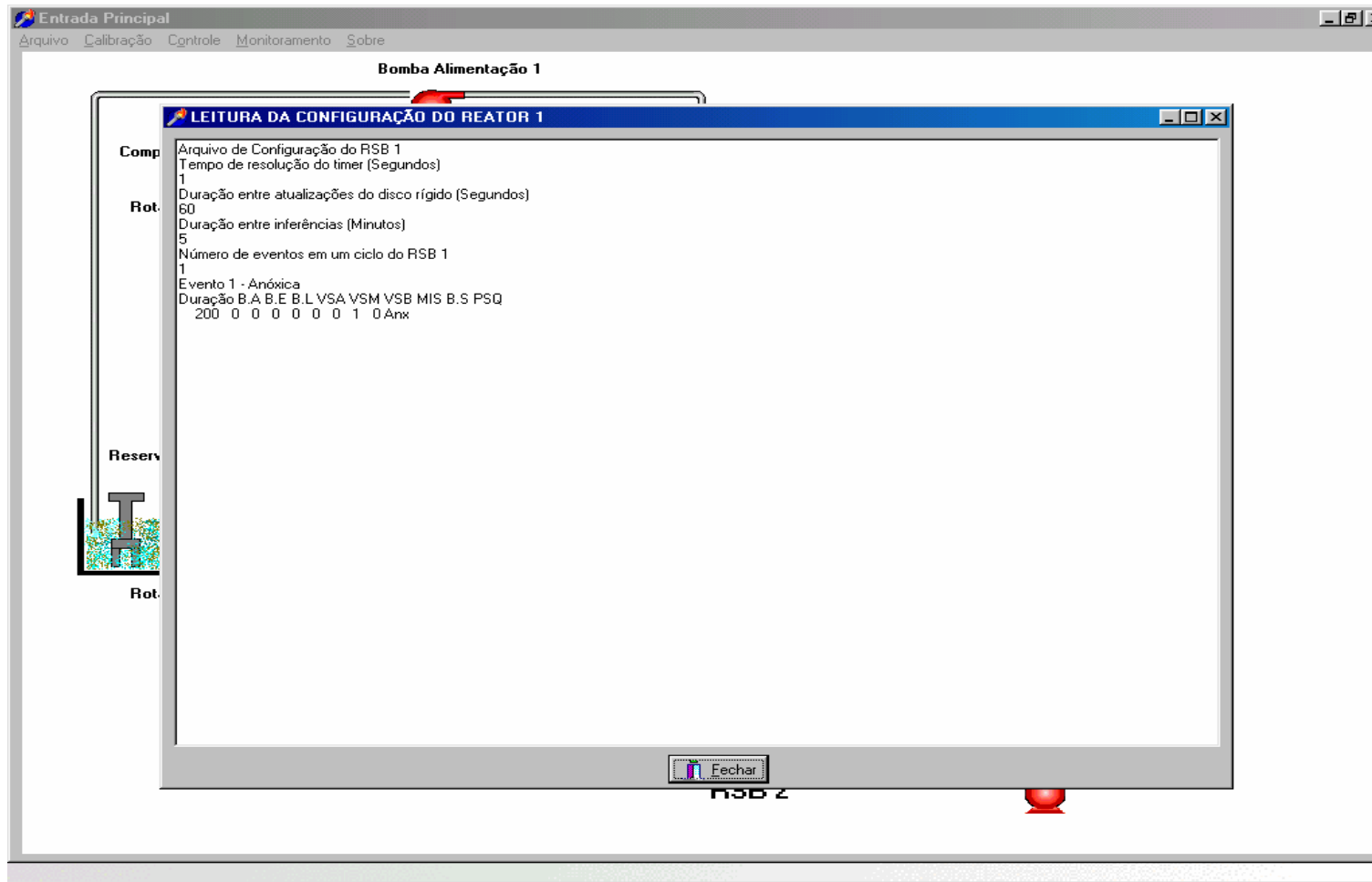


Figura 9.4 - Tela do submenu Ler configuração do reator 1.

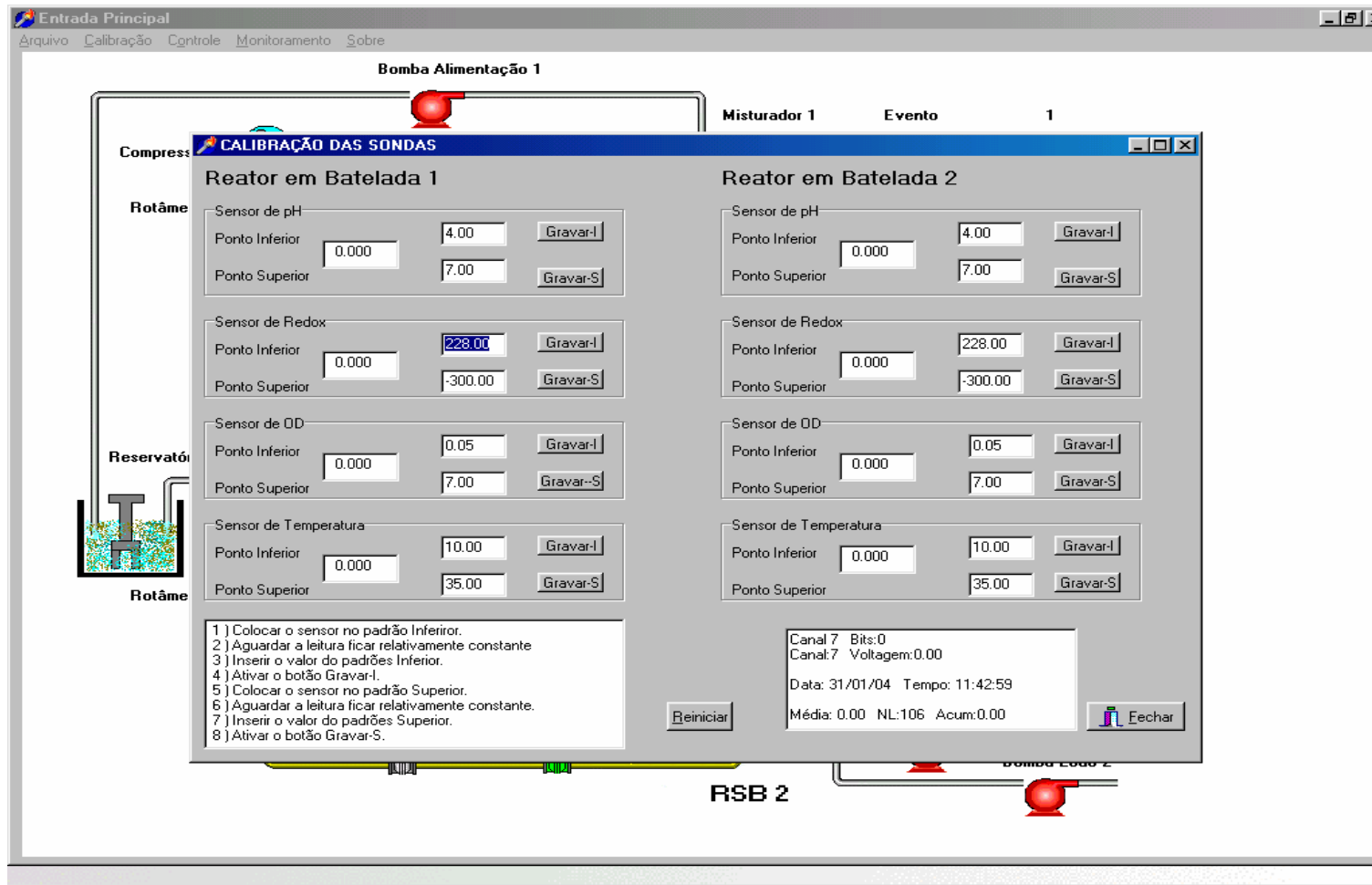


Figura 9.5 - Tela do menu Calibração.

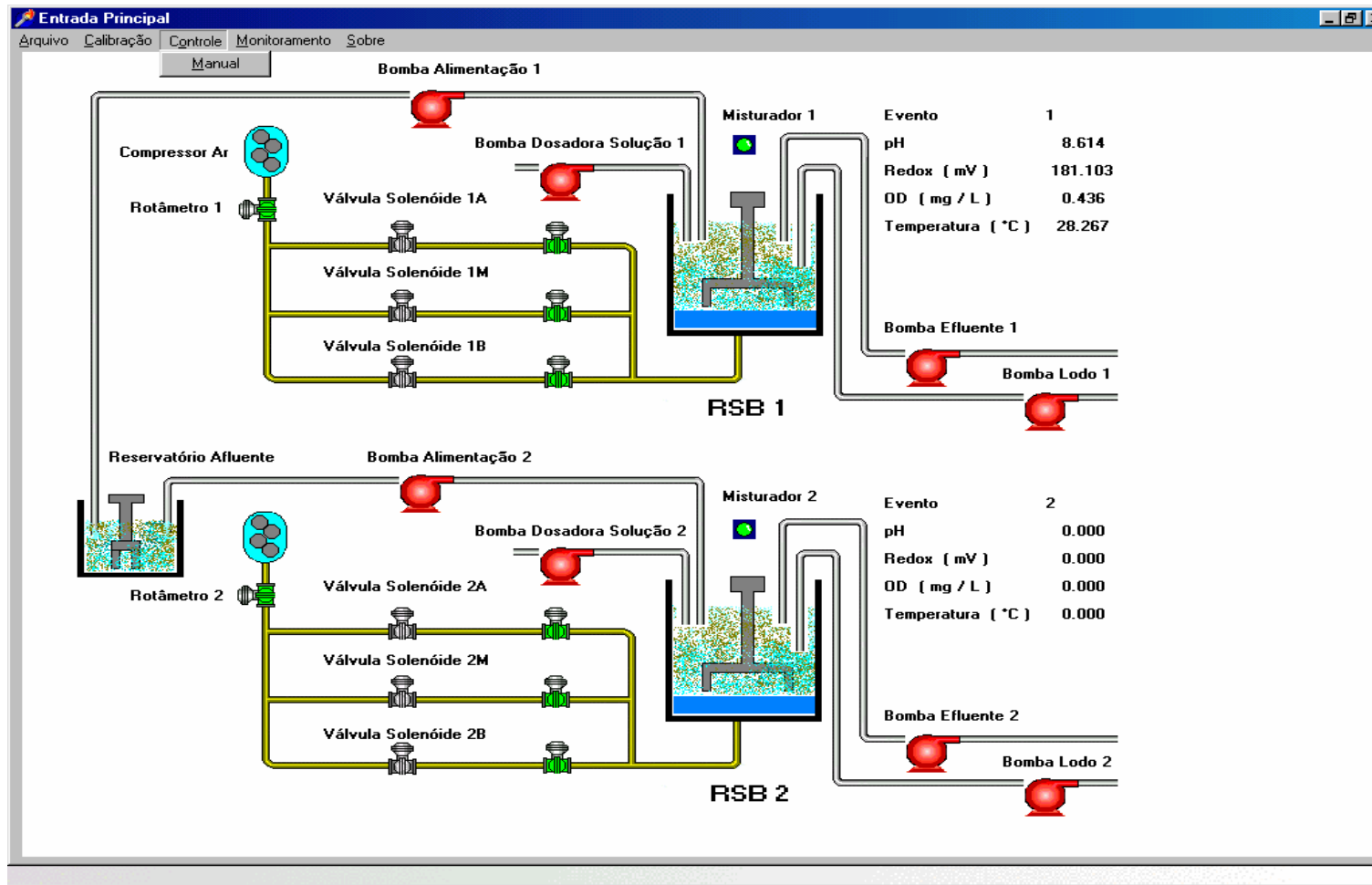


Figura 9.6 - Tela do menu Control

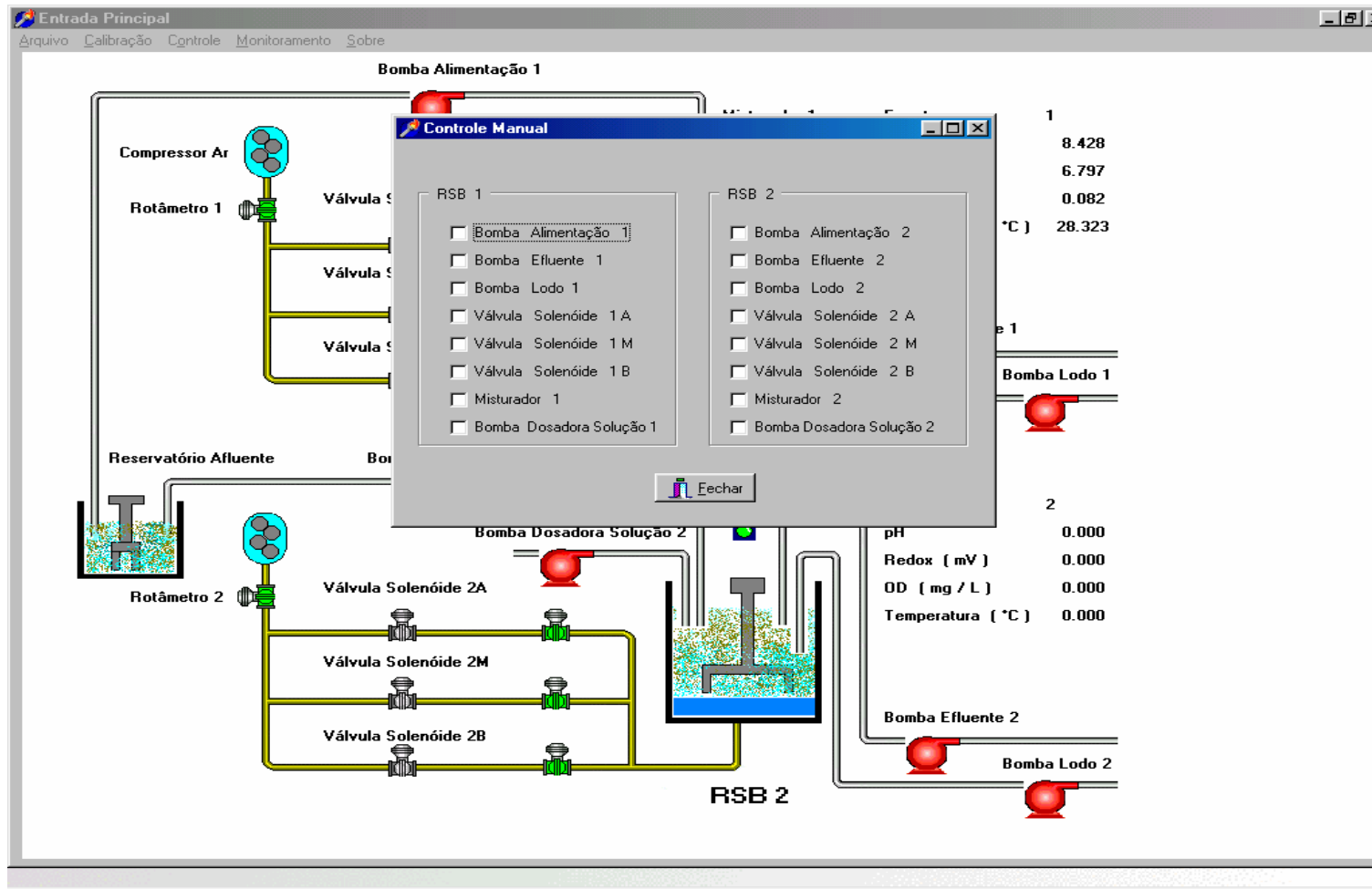


Figura 9.7 - Tela do submenu Manual.

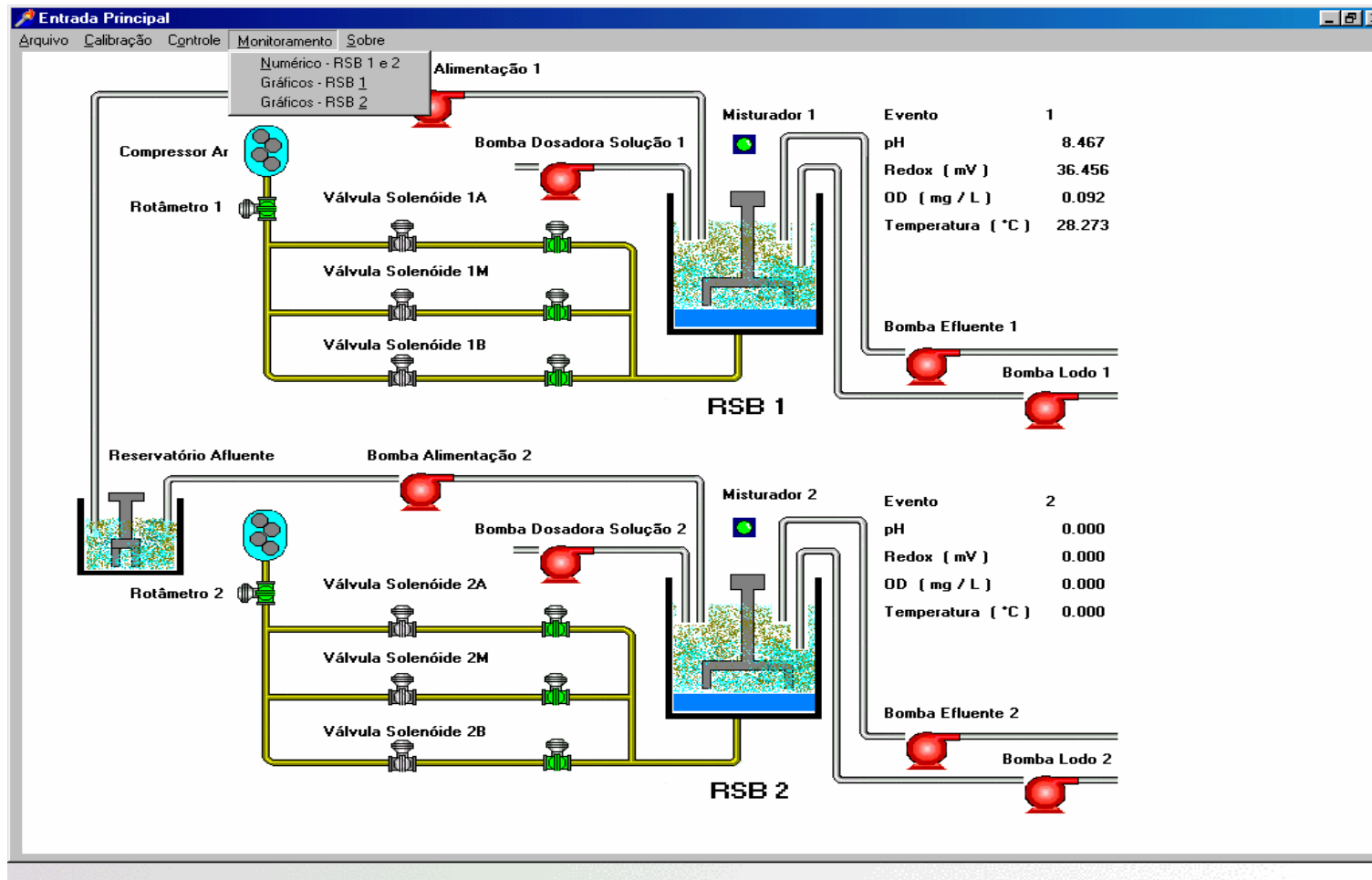


Figura 9.8 - Tela do menu Monitoramento.

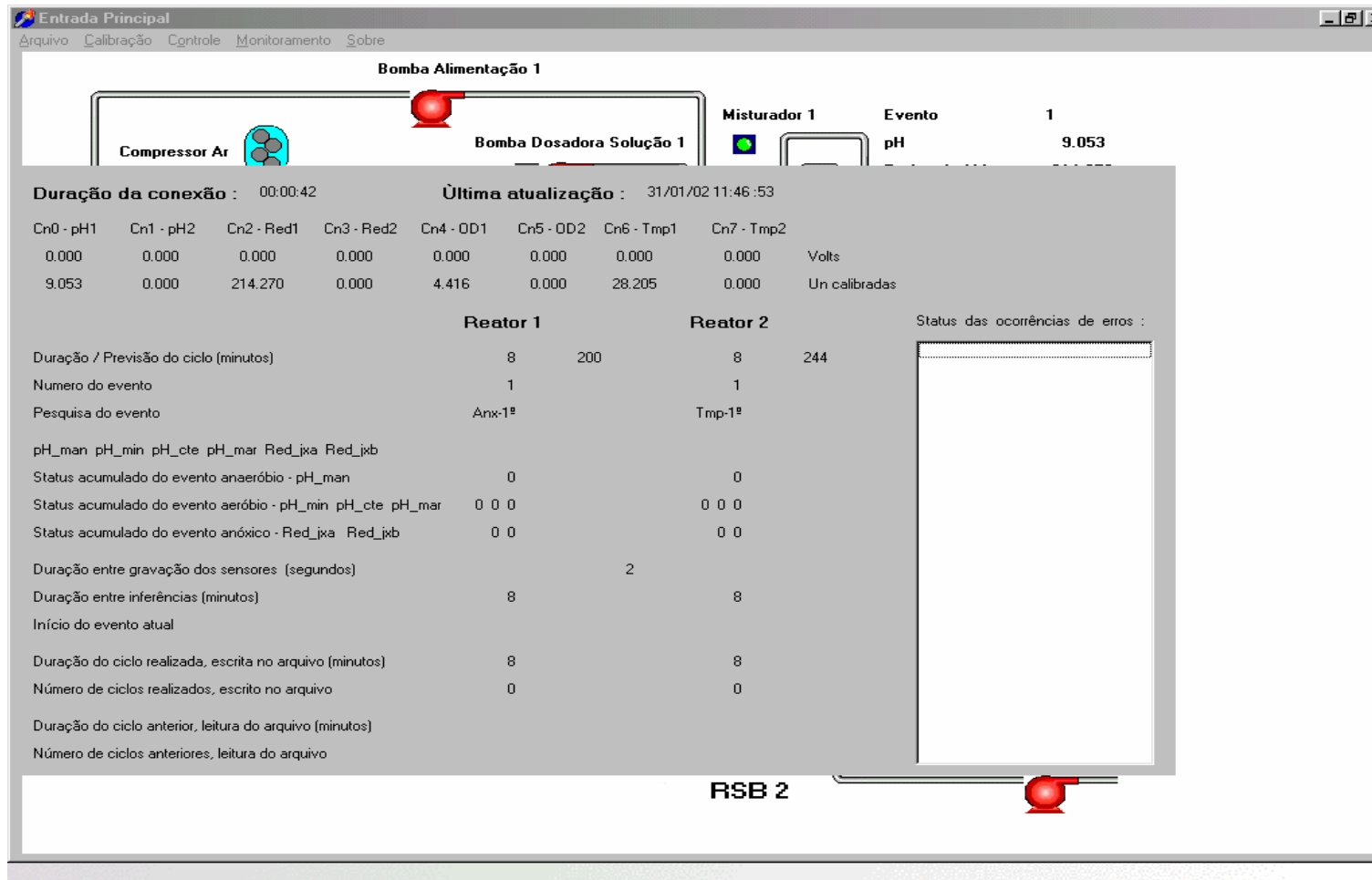


Figura 9.9 - Tela do submenu Numérico – RSB 1 e 2.

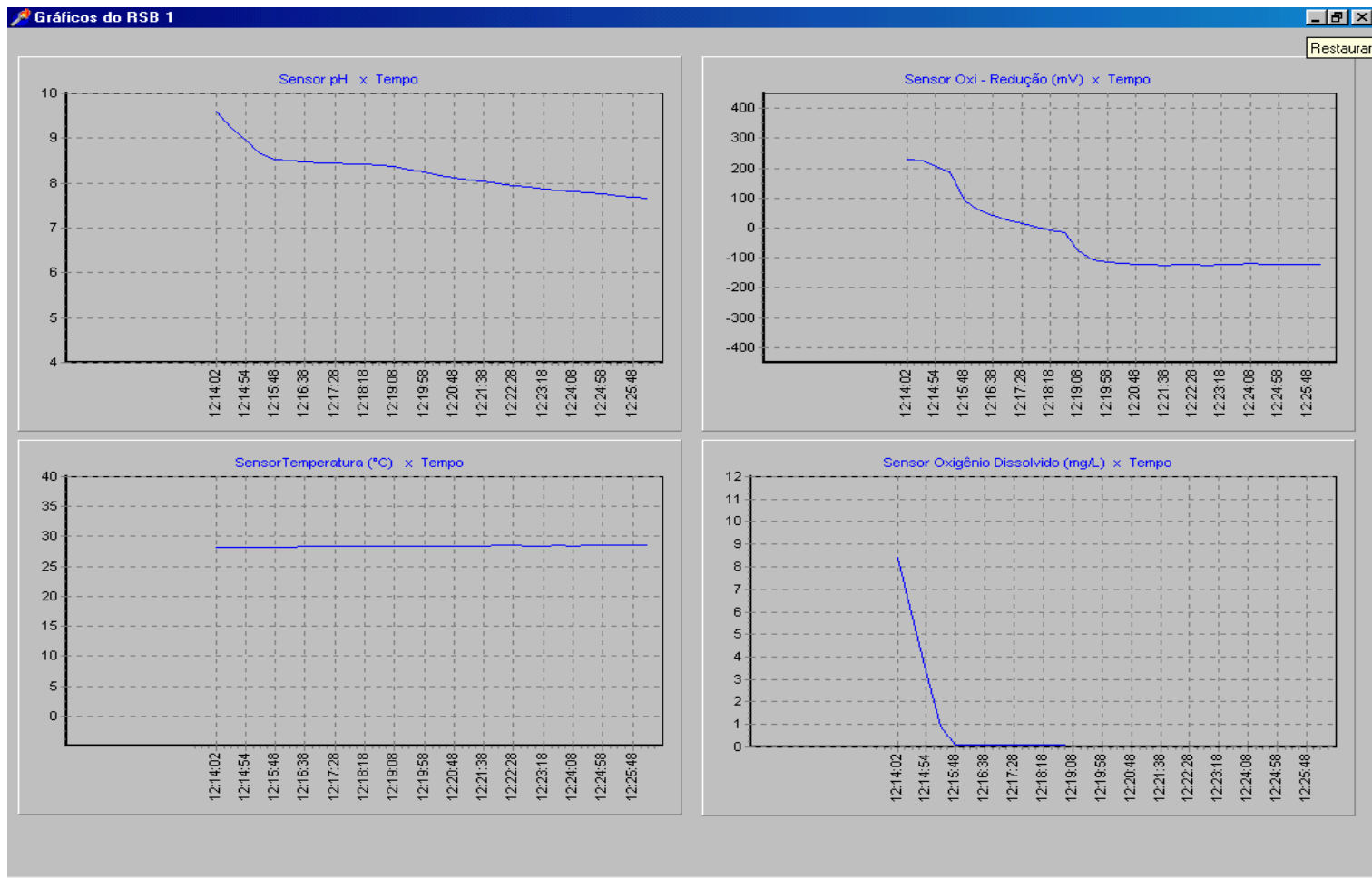


Figura 9.10 - Tela do submenu Gráficos - RSB 1.

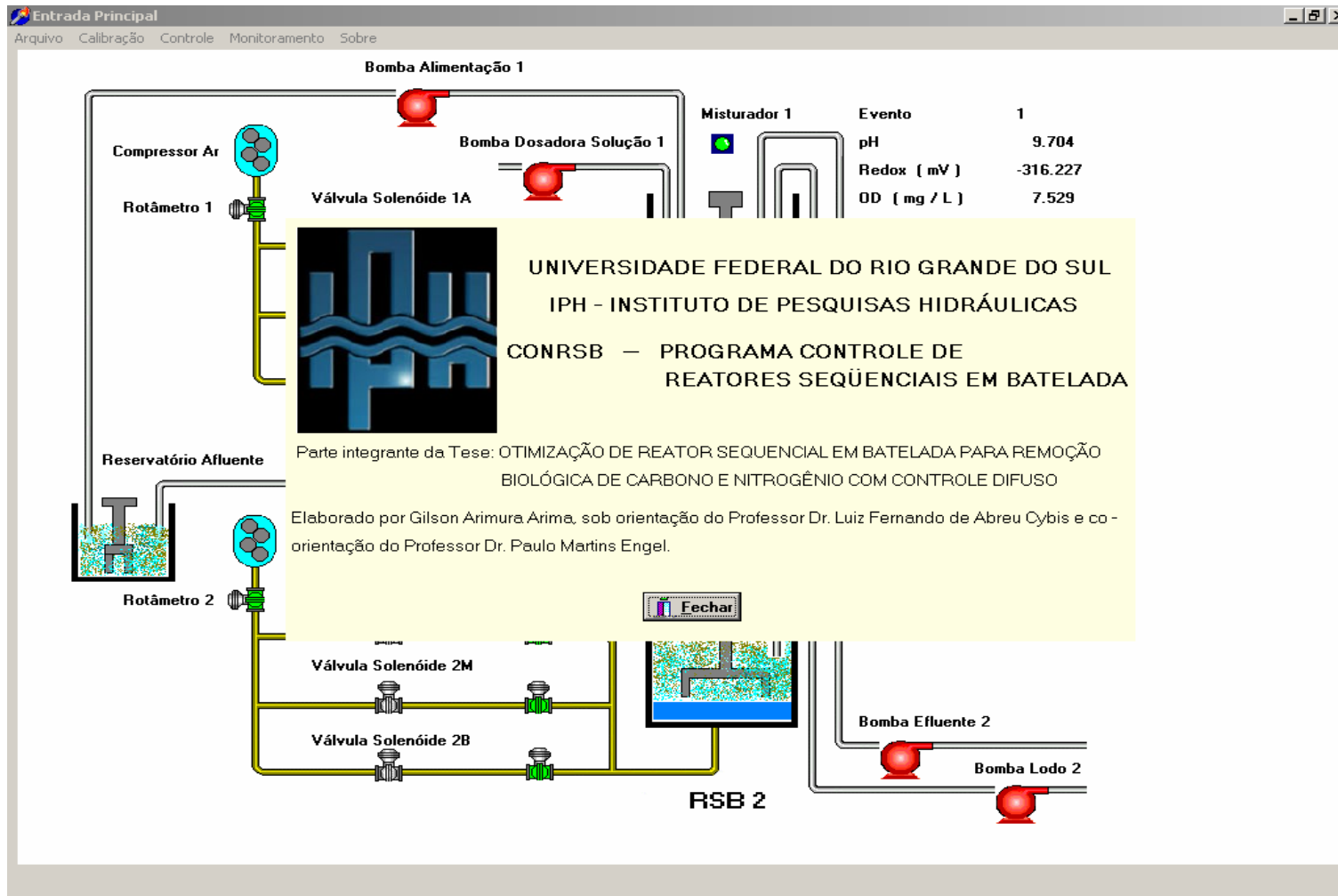


Figura 9.11 - Tela do menu Sobre.

B - Listagem do programa computacional CONRSB

Os códigos fontes do programa computacional CONRSB são associados aos formulários de tela apresentados no Anexo A. O programa principal foi denominado PRSB, sendo mostrado no item B.1. Nesse programa está contido a estrutura do CONRSB com os formulários associados aos seus respectivos códigos fontes.

Os demais códigos fontes, apresentados nesse anexo, são: B.2) UnPrincipal.pas associado ao formulário de tela FrmPrincipal, B.3) UnGerConf.pas associado ao formulário de tela FrmGerConf, B.4) UnLerConf.pas associado ao formulário de tela FrmLerConf, B.5) UnCalibra.pas associado ao formulário de tela FrmCalibra, B.6) UnGerConfEve.pas associado ao formulário de tela FrmGerConfEve, B.7) UnGerConf2.pas associado ao formulário de tela FrmGerConf2, B.8) UnGerConfEve2.pas associado ao formulário de tela FrmGerConfEve2, B.9) UnLerConf2.pas associado ao formulário de tela FrmLerConf2, B.10) UnAutoma.pas associado ao formulário de tela FrmAutoma, B.11) UnGraf1.pas associado ao formulário de tela FrmGrafico1, B.12) UnGraf2.pas associado ao formulário de tela FrmGrafico2, B.13) UnManual.pas associado ao formulário de tela FrmManual e o B.14) UnSobre.pas associado ao formulário de tela FrmSobre.

B.1) Programa PRSB

```
program PRSB;
```

```
uses
```

```
  Forms,
```

```
  UnPrincipal in 'UnPrincipal.pas' {FrmPrincipal},
```

```
  UnGerConf in 'UnGerConf.pas' {FrmGerConf},
```

```
  UnLerConf in 'UnLerConf.pas' {FrmLerConf},
```

```
  UnCalibra in 'UnCalibra.pas' {FrmCalibra},
```

```
  UnGerConfEve in 'UnGerConfEve.pas' {FrmGerConfEve},
```

```
  UnGerConf2 in 'UnGerConf2.pas' {FrmGerConf2},
```

```
  UnGerConfEve2 in 'UnGerConfEve2.pas' {FrmGerConfEve2},
```

```
  UnLerConf2 in 'UnLerConf2.pas' {FrmLerConf2},
```

```
  UnAutoma in 'UnAutoma.pas' {FrmAutoma},
```

```
  UnGraf1 in 'UnGraf1.pas' {FrmGrafico1},
```

```
  UnGraf2 in 'UnGraf2.pas' {FrmGrafico2},
```

```
  UnManual in 'UnManual.pas' {FrmManual},
```

```
  UnSobre in 'UnSobre.pas' {FrmSobre};
```

```
{ $R *.RES }
```

```
begin
```

```
  Application.Initialize;
```

```
  Application.CreateForm(TFrmPrincipal, FrmPrincipal);
```

```
  Application.CreateForm(TFrmSobre, FrmSobre);
```

```
  Application.Run;
```

```
end.
```

B.2) Código fonte UnPrincipal.pas

```
unit UnPrincipal;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
Menus, ExtCtrls, StdCtrls, DIO;
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
```

```
type
```

```
TFrmPrincipal = class(TForm)
```

```
  MainMenu1: TMainMenu;
```

```
  MnArquivo: TMenuItem;
```

```
  GerArqConf: TMenuItem;
```

```
  LerArqConf: TMenuItem;
```

```
  MnCalibra: TMenuItem;
```

```
  MnControle: TMenuItem;
```

```
  CtrManual: TMenuItem;
```

```
  Monitorar: TMenuItem;
```

```
  GeraConfiguracaoReator21: TMenuItem;
```

```
  LerConfiguracaoReator21: TMenuItem;
```

```
  Sair1: TMenuItem;
```

```
  ImgPrincipal: TImage;
```

```
  ImgBa1_desl: TImage;
```

```
  ImgBa1_liga: TImage;
```

```
  ImgBe1_desl: TImage;
```

```
  ImgBe1_liga: TImage;
```

ImgB11_desl: TImage;
ImgB11_liga: TImage;
ImgVsa1_desl: TImage;
ImgVsa1_liga: TImage;
ImgVsm1_desl: TImage;
ImgVsm1_liga: TImage;
ImgVsb1_desl: TImage;
ImgVsb1_liga: TImage;
ImgMis1_desl: TImage;
ImgMis1_liga: TImage;
LblBa1: TLabel;
LblBe1: TLabel;
LblB11: TLabel;
LblVs1a: TLabel;
LblVs1m: TLabel;
LblVs1B: TLabel;
LblMix1: TLabel;
LblComp: TLabel;
LblRot1: TLabel;
Lblevent1: TLabel;
Lblevent2: TLabel;
ImgBa2_desl: TImage;
ImgBa2_liga: TImage;
ImgBe2_desl: TImage;
ImgBe2_liga: TImage;
ImgB12_desl: TImage;
ImgB12_liga: TImage;
ImgVsa2_desl: TImage;
ImgVsa2_liga: TImage;
ImgVsm2_desl: TImage;

ImgVsm2_liga: TImage;
ImgVsb2_desl: TImage;
ImgVsb2_liga: TImage;
ImgMis2_desl: TImage;
ImgMis2_liga: TImage;
LblBa2: TLabel;
LblBe2: TLabel;
LblVs2a: TLabel;
LblVs2m: TLabel;
LblVs2b: TLabel;
LblMix2: TLabel;
LblB12: TLabel;
LblRot2: TLabel;
LblResa: TLabel;
GrafRSB1: TMenuItem;
GrafRSB2: TMenuItem;
Label1: TLabel;
Label2: TLabel;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
Label7: TLabel;
Label8: TLabel;
Label9: TLabel;
Label10: TLabel;
Lblph1c: TLabel;
Lblred1c: TLabel;
Lblod1c: TLabel;
Lbltemplc: TLabel;

```

Lblph2c: TLabel;
Lblred2c: TLabel;
Lblod2c: TLabel;
Lbltemp2c: TLabel;
ImgBs1_desl: TImage;
ImgBs1_liga: TImage;
LblBs1: TLabel;
ImgBs2_desl: TImage;
ImgBs2_liga: TImage;
LblBs2: TLabel;
NumRSB12: TMenuItem;
Sobre: TMenuItem;
procedure GerArqConfClick(Sender: TObject);
procedure LerArqConfClick(Sender: TObject);
procedure MnCalibraClick(Sender: TObject);
procedure GeraConfiguracaoReator21Click(Sender: TObject);
procedure Sair1Click(Sender: TObject);
procedure LerConfiguracaoReator21Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
procedure GrafRSB1Click(Sender: TObject);
procedure GrafRSB2Click(Sender: TObject);
procedure CtrManualClick(Sender: TObject);
procedure NumRSB12Click(Sender: TObject);
procedure SobreClick(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

```

```

var
  FrmPrincipal: TFrmPrincipal;
  wBase: Word; //Endereço da placa P16R16 DIO
  Sitener:Array [0..2] of String; //Situação de desligamento dos reatores
  Tmp_durrcics_def:Array [0..2] of Cardinal; // Duração realizada no ciclo, no ciclo especial da falta de energia
  Arqreat1,Arqreat2:TextFile; // Chamada dos arquivos de Sensores, reatores 1 e 2
  Arqinfr1,Arqinfr2:TextFile; // Chamada dos arquivos de Inferências, reatores 1 e 2
implementation

{$R *.DFM}

uses
  UnGerConf, UnLerConf, UnCalibra, UnDiagrama, UnGrafico, UnGerConfEve,UnGerConf2, UnGerConfEve2, UnLerConf2, UnAutoma,
  UnGraf1, UnGraf2,UnManual,
  UnSobre;

var
  Arqener:TextFile; // Chamada do arquivo de situação do desligamento

procedure TFrmPrincipal.FormCreate(Sender: TObject);
//=====
//=====
//
// Inicialização do Formulário FrmPrincipal
//
//=====
//=====

```

```

var
wInitialCode: Word;
Site:String; // Situação de desligamento, leitura do arquivo

//=====
// Declaração da Revisão da Placa de Relê - P16R16 DIO
//=====
// Inicialização do Driver da placa de relê
wBase:=StrToInt('$300');//Endereço da placa P16R16 DIO, definido via hardware
wInitialCode:=DIO_DriverInit;
  If wInitialCode <> NoError Then
    begin
      Application.MessageBox('DIO com erro','ERRO DIO.DLL',IDOK);
    end; }

//=====
// Leitura / Escrita do arquivo de situação do desligamento
//=====
AssignFile(Arqener,'Statener.TXT');
Reset(Arqener);
Readln(Arqener,Site);
If (Site='OFF') then
  begin
    //O desligamento foi normal
    //Atualiza Statener.TXT
    Rewrite(Arqener);
    Writeln(Arqener,'ON');
    CloseFile(Arqener);
    Sitener[1]:='ON';
    Sitener[2]:='ON';
    //Criação do arquivo das medidas dos sensores, reator 1

```



```

AssignFile(Arqreat1,'Reator1.TXT');
Rewrite(Arqreat1);
Writeln(Arqreat1,format('%19s%12s%12s%12s%12s',[FormatDateTime('dd/mm/yy" "hh:nn :ss',Now),' ',' ',' '])+' Início evento 1 - Nº Cic
Acum 0 - durrcics 0' );
CloseFile(Arqreat1);
//Criação do arquivo das medidas dos sensores, reator 2
AssignFile(Arqreat2,'Reator2.TXT');
Rewrite(Arqreat2);
Writeln(Arqreat2,format('%19s%12s%12s%12s%12s',[FormatDateTime('dd/mm/yy" "hh:nn :ss',Now),' ',' ',' '])+' Início evento 1 - Nº Cic
Acum 0 - durrcics 0' );
CloseFile(Arqreat2);
//Criação do arquivo das inferências, reator 1
AssignFile(Arqinfr1,'Rinfer1.TXT');
Rewrite(Arqinfr1);
Writeln(Arqinfr1,'Data Evento Pra1_brt Pra2_brt Pra3_brt Prb1_brt & Pra1 Pra2 Pra3 Prb1');
Writeln(Arqinfr1,'dpr(k)n m_dpr(k)n (valores fuzzy)');
Writeln(Arqinfr1,'dpr(k-1)n m_dpr(k-1)n (valores fuzzy)');
Writeln(Arqinfr1,'pr(k)n m_pr(k)n (valores fuzzy)');
Writeln(Arqinfr1,'Valor crisp Defuzzyficado Valores crisps desnormalizados');
CloseFile(Arqinfr1);
//Criação do arquivo das inferências, reator 2
AssignFile(Arqinfr2,'Rinfer2.TXT');
Rewrite(Arqinfr2);
Writeln(Arqinfr2,'Data Evento Pra1_brt Pra2_brt Pra3_brt Prb1_brt & Pra1 Pra2 Pra3 Prb1');
Writeln(Arqinfr2,'dpr(k)n m_dpr(k)n (valores fuzzy)');
Writeln(Arqinfr2,'dpr(k-1)n m_dpr(k-1)n (valores fuzzy)');
Writeln(Arqinfr2,'pr(k)n m_pr(k)n (valores fuzzy)');
Writeln(Arqinfr2,'Valor crisp Defuzzyficado Valores crisps desnormalizados');
CloseFile(Arqinfr2);
end

```

```

else
begin
//o desligamento foi anormal
CloseFile(Arqener);
Sitener[1]:='ON_DEF';
Sitener[2]:='ON_DEF';
Tmp_durrcics_def[1]:=0;
Tmp_durrcics_def[2]:=0;
end;
//Criação do formulário FrmAutoma
FrmAutoma:=TFrmAutoma.Create(self);
FrmAutoma.Show;
//Criação do formulário FrmGrafico1
FrmGrafico1:=TFrmGrafico1.Create(self);
FrmGrafico1.Show;
//Criação do formulário FrmGrafico2
FrmGrafico2:=TFrmGrafico2.Create(self);
FrmGrafico2.Show;
end;

```

```

procedure TFrmPrincipal.GerArqConfClick(Sender: TObject);

```

```

//=====

```

```

// Arquivo - Geração do Arquivo de Configuração do Reator 1

```

```

//=====

```

```

begin
FrmGerConf:=TFrmGerConf.Create(self);
FrmGerConf.ShowModal;
FrmGerConfEve:=TFrmGerConfEve.Create(self);
FrmGerConfEve.ShowModal;

```

```
FrmGerConfEve.Destroy;  
FrmGerConf.Destroy;  
end;
```

```
procedure TFrmPrincipal.GeraConfiguraodoReator21Click(Sender: TObject);
```

```
//=====
```

```
// Arquivo - Geração do Arquivo de Configuração do Reator 2
```

```
//=====
```

```
begin
```

```
FrmGerConf2:=TFrmGerConf2.Create(self);
```

```
FrmGerConf2.ShowModal;
```

```
FrmGerConfEve2:=TFrmGerConfEve2.Create(self);
```

```
FrmGerConfEve2.ShowModal;
```

```
FrmGerConfEve2.Destroy;
```

```
FrmGerConf2.Destroy;
```

```
end;
```

```
//=====
```

```
// Arquivo - Ler o Arquivo de Configuração do Reator 1
```

```
//=====
```

```
procedure TFrmPrincipal.LerArqConfClick(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
FrmLerConf:=TFrmLerConf.Create(self);
```

```
FrmLerConf.ShowModal;
```

```
FrmLerConf.Destroy;
```

```
end;
```

```
//=====
```

```
// Arquivo - Ler o Arquivo de Configuração do Reator 2
```

```

//=====
procedure TFrmPrincipal.LerConfiguraoDoReator21Click(Sender: TObject);
begin
FrmLerConf2:=TFrmLerConf2.Create(self);
FrmLerConf2.ShowModal;
FrmLerConf2.Destroy;
end;

//=====
// Arquivo - Sair do formulário principal
//=====
procedure TFrmPrincipal.Sair1Click(Sender: TObject);
begin
FrmAutoma.TmrPrincipal.Enabled:=False;
FrmPrincipal.Close;
end;

//=====
// Calibração - Geração das Curvas de Calibração do Reator 1 e 2
//=====
procedure TFrmPrincipal.MnCalibraClick(Sender: TObject);
begin
FrmCalibra:=TFrmCalibra.Create(self);
FrmCalibra.ShowModal;
FrmCalibra.Destroy;
end;

//=====
// Controle - Controle Manual
//=====

```

```
procedure TFrmPrincipal.CtrManualClick(Sender: TObject);
begin
  FrmManual:=TFrmManual.Create(self);
  FrmManual.ShowModal;
  FrmManual.Destroy;
end;
```

```
//=====
// Monitoramento - Geração numérica dos Reatores 1 e 2
//=====
```

```
procedure TFrmPrincipal.NumRSB12Click(Sender: TObject);
begin
  FrmAutoma.Show;
end;
```

```
//=====
// Monitoramento - Geração da série gráfica do Reator 1
//=====
```

```
procedure TFrmPrincipal.GrafRSB1Click(Sender: TObject);
begin
  FrmGrafico1.Show;
end;
```

```
//=====
// Monitoramento - Geração da série gráfica do Reator 2
//=====
```

```
procedure TFrmPrincipal.GrafRSB2Click(Sender: TObject);
begin
  FrmGrafico2.Show;
end;
```

```

//=====
// Sobre - Informações do programa
//=====
procedure TFrmPrincipal.SobreClick(Sender: TObject);
begin
  FrmSobre:=TFrmSobre.Create(self);
  FrmSobre.ShowModal;
  FrmSobre.Destroy;
end;

//=====
// Desligamento dos relês e atualização o status de energia
//=====
procedure TFrmPrincipal.FormClose(Sender: TObject;var Action: TCloseAction);
begin
  DIO_OutputWord(wBase,0); //Desativa todos os relês
  DIO_DriverClose; //Desativa o driver da placa P16R16 DIO }
  //Atualização do arquivo de situação do desligamento - Para desligamento Normal
  AssignFile(Arqener,'Statener.TXT');
  Rewrite(Arqener);
  Writeln(Arqener,'OFF');
  CloseFile(Arqener);
end;

end.

```

B.3) Código fonte UnGerConf.pas

```
unit UnGerConf;
interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Buttons, DIO;
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,

type
  TFrmGerConf = class(TForm)
    Label4: TLabel;
    T_Tmr: TEdit;
    Label1: TLabel;
    T_Atu: TEdit;
    Label3: TLabel;
    T_Inf: TEdit;
    Label2: TLabel;
    Num_Evento: TEdit;
    BtnConfirmar: TBitBtn;
    Memo1: TMemo;
    procedure BtnConfirmarClick(Sender: TObject);
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;
```

```

var
  FrmGerConf: TFrmGerConf;

implementation
  {$R *.DFM}

uses
  UnGerConfEve, UnPrincipal, UnAutoma;

procedure TFrmGerConf.BtnConfirmarClick(Sender: TObject);
var
  Arq_Conf1: TextFile;
  Stmp_tmr, Stmp_atu, Stmp_inf, Snev: String;

begin
  Stmp_tmr:=FrmGerConf.T_Tmr.Text;
  Stmp_atu:=FrmGerConf.T_Atu.Text;
  Stmp_inf:=FrmGerConf.T_Inf.Text;
  Snev:=FrmGerConf.Num_Evento.Text;
  AssignFile(Arq_Conf1, 'Confr1.Txt');
  Rewrite(Arq_Conf1);
  Writeln(Arq_Conf1,'Arquivo de Configuração do RSB 1');
  Writeln(Arq_Conf1,'Tempo de resolução do timer (Segundos)');
  Writeln(Arq_Conf1,Stmp_tmr);
  Writeln(Arq_Conf1,'Duração entre atualizações do disco rígido, no mínimo 60 e múltiplo de 60 (Segundos)');
  Writeln(Arq_Conf1,Stmp_atu);
  Writeln(Arq_Conf1,'Duração entre inferências, no mínimo 1 e múltiplo de 1 (Minutos)');
  Writeln(Arq_Conf1,Stmp_inf);

```



```

Writeln(Arq_Conf1,'Número de eventos em um ciclo do RSB 1');
Writeln(Arq_Conf1,Snev);
FrmGerConf.T_Tmr.Enabled:=False;
FrmGerConf.T_Atu.Enabled:=False;
FrmGerConf.T_Inf.Enabled:=False;
FrmGerConf.Num_Evento.Enabled:=False;
FrmGerConf.BtnConfirmar.Enabled:=False;
CloseFile(Arq_Conf1);
Close;
FrmPrincipal.Show;
end;

```

```

procedure TFrmGerConf.FormCreate(Sender: TObject);

```

```

begin

```

```

//=====

```

```

//Desativa modo automático e posiciona no modo de desligamento anormal

```

```

//Caso queira iniciar do evento em que parou, basta DESLIGAR e LIGAR a cpu.

```

```

//Caso queira iniciar no começo do ciclo FECHÉ o FrmPrincipal e inicialize a cpu

```

```

//Desativa todos os relês.

```

```

//=====

```

```

    With FrmAutoma do

```

```

    begin

```

```

    FrmAutoma.TmrPrincipal.Enabled:=False;

```

```

    DIO_OutputWord(wBase,0); // Desativa todos os relês

```

```

    end;

```

```

end;

```

```

end.

```

B.4) Código fonte UnLerConf.pas

```
unit UnLerConf;
interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Buttons, DIO;
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,

type
  TFrmLerConf = class(TForm)
    Memo1: TMemo;
    Btn_Fechar: TBitBtn;
    procedure FormActivate(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  FrmLerConf: TFrmLerConf;

implementation

{$R *.DFM}

uses
```

UnPrincipal, UnAutoma;

procedure TFrmLerConf.FormActivate(Sender: TObject);

begin

//=====

//Desativa modo automático e posiciona no modo de desligamento anormal

//Caso queira iniciar do evento em que parou, basta DESLIGAR e LIGAR a cpu.

//Caso queira iniciar no começo do ciclo FECHÉ o FrmPrincipal e inicialize a cpu

//Desativa todos os relês.

//=====

With FrmAutoma do

FrmAutoma.TmrPrincipal.Enabled:=False;

DIO_OutputWord(wBase,0); // Desativa todos os relês

//=====

//Leitura do arquivo Confr1.Txt

//=====

Memo1.Lines.LoadFromFile('Confr1.Txt');

FrmLerConf.Btn_Fechar.SetFocus;

end;

end.

B.5) Código fonte UnCalibra.pas

```
unit UnCalibra;
interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Buttons, ExtCtrls, Cbw, DIO;
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,

type
  TFrmCalibra = class(TForm)
    Label1: TLabel;
    GroupBox2: TGroupBox;
    Label6: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Edit3: TEdit;
    Edit4: TEdit;
    BitBtn4: TBitBtn;
    GroupBox3: TGroupBox;
    Label10: TLabel;
    Label11: TLabel;
    Edit5: TEdit;
    Edit6: TEdit;
    BitBtn6: TBitBtn;
    GroupBox4: TGroupBox;
    Label14: TLabel;
    Label15: TLabel;
    Edit7: TEdit;
```

Edit8: TEdit;
BitBtn8: TBitBtn;
Label22: TLabel;
GroupBox1: TGroupBox;
Label2: TLabel;
Label3: TLabel;
Edit1: TEdit;
Edit2: TEdit;
BitBtn2: TBitBtn;
GroupBox6: TGroupBox;
Label23: TLabel;
Label24: TLabel;
Edit11: TEdit;
Edit12: TEdit;
BitBtn12: TBitBtn;
GroupBox7: TGroupBox;
Label27: TLabel;
Label28: TLabel;
Edit13: TEdit;
Edit14: TEdit;
BitBtn14: TBitBtn;
GroupBox8: TGroupBox;
Label31: TLabel;
Label32: TLabel;
Edit15: TEdit;
Edit16: TEdit;
BitBtn16: TBitBtn;
GroupBox9: TGroupBox;
Label35: TLabel;
Label36: TLabel;

```
Edit17: TEdit;
Edit18: TEdit;
BitBtn18: TBitBtn;
Memo1: TMemo;
BitBtn31: TBitBtn;
BitBtn33: TBitBtn;
BitBtn35: TBitBtn;
BitBtn37: TBitBtn;
BitBtn39: TBitBtn;
BitBtn43: TBitBtn;
BitBtn45: TBitBtn;
BitBtn47: TBitBtn;
BitBtn49: TBitBtn;
Timer1: TTimer;
MemoData: TMemo;
Memph1: TMemo;
Memph2: TMemo;
Memred1: TMemo;
Memred2: TMemo;
Memod1: TMemo;
Memod2: TMemo;
Memtemp1: TMemo;
Memtemp2: TMemo;
BitBtn1: TBitBtn;
procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn4Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn6Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn8Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn12Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn14Click(Sender: TObject);
```

```

procedure BitBtn16Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn18Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn33Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn35Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn37Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn39Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure BitBtn43Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn45Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn47Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn49Click(Sender: TObject);
procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
procedure BitBtn31Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  FrmCalibra: TFrmCalibra;
  A,B:Real;//Coef independente e dependente

implementation

{$R *.DFM}

uses
  UnPrincipal, UnAutoma;

```

```

var
ULstat:Integer; //Estado da leitura do sensor
Par:Array[0..7] of Real; //Leituras médias dos canais
Arqcal:Textfile;
Arqcaux:Textfile;

const
PlacaNum:Integer=1; // Endereço da placa Analógica
Faixa:Integer=UNI10VOLTS; // 0 a 10 Volts

procedure TFrmCalibra.FormCreate(Sender: TObject);
//=====
//=====
//
// Inicialização do FrmCalibra
//
//=====
//=====
var
ErrHandling:Integer;
ErrReporting:Integer;
RevLevel:Single;

begin
//=====
//Desativa modo automático e posiciona no modo de desligamento anormal
//Caso queira iniciar do evento em que parou, basta DESLIGAR e LIGAR a cpu.
//Caso queira iniciar no começo do ciclo FECHÉ o FrmPrincipal e inicialize a cpu
//Desativa todos os relês.

```



```

//=====
With FrmAutoma do
FrmAutoma.TmrPrincipal.Enabled:=False;
DIO_OutputWord(wBase,0); // Desativa todos os relês

//=====
// Declaração da Revisão da Placa de Aquisição Analógica
//=====
//Declaração do nível da revisão - Entrada analógica
RevLevel:=CURRENTREVNUM;
ULstat:=cbDeclareRevision(RevLevel);
//Ajuste interno para o disparo dos erro na biblioteca - Entrada analógica
ErrReporting:=PRINTALL; //set Universal Library to print all errors
ErrHandling:=STOPALL; //set Universal Library to stop on errors
ULstat:=cbErrHandling(ErrReporting,ErrHandling); }

//=====
// Aciona o Timer
//=====
Timer1.Enabled:=True;
end;

procedure Medpar(Duracao:Word;Can:Integer;var Med:Real);
//=====
// Rotina valor médio das leituras das sondas
//=====
// Esta rotina visa obter a média das leituras, com uma dada
// duração (milisegundos), um dado canal(0 a 7) e retorna o valor na variável
// Med(Volts).

```

```

// As leituras não coerentes serão desconsideradas, como.
// Valores com desvio absoluto de 10% em relação a leitura anterior; leituras
// com erros(ULstat<>0) e fora de faixa.
var
Med_bt:Word; //Valor medido em bit
Med_ts:Single; //Valor medido em tensão (volts)
Med_tsa:Single; //Valor acumulado das tensões medidas
Cont:Integer; //Contador dos valores de tensão medidas
Tmp_fim:Real; //Tempo quando do término das leituras, em milisegundos
Tmp_loop:Real; //Tempo a cada loop, em milisegundos
Hora,Minuto,Segundo,Msegundo:Word; //Argumentos para conversão em milisegundos
Dta_med:String; //Data ao final das leituras médias - Exibição
Tmp_med:String; //Tempo ao final das leituras médias - Exibição
MedString:String; //Auxiliar para exibição

begin //e
Med_tsa:=0;
Cont:=0;
Hora:=0;
Minuto:=0;
Segundo:=0;
Msegundo:=0;
DecodeTime(Time,Hora,Minuto,Segundo,Msegundo);
Tmp_loop:=Hora*3600000+Minuto*60000+Segundo*1000+Msegundo;
Tmp_fim:=Hora*3600000+Minuto*60000+Segundo*1000+(Msegundo+duracao);
While (Tmp_loop<Tmp_fim) do
begin// c
Med_bt:=0;
Med_ts:=0;
ULstat:=cbAIn(PlacaNum,Can,Faixa,Med_bt);

```

```

If ULstat <> 0 then
else
begin//b
MedString:='Canal '+IntToStr(Can)+' Bits:'+IntToStr(Med_bt);
FrmCalibra.MemoData.Text:=MedString;
ULstat := cbToEngUnits (PlacaNum,Faixa,Med_bt,Med_ts);
If ULstat <> 0 then
else
begin //a
MedString:=Format('Canal:%d Voltagem:%f',[Can,Med_ts]);
FrmCalibra.MemoData.Lines.Add (MedString);
MedString:=' ';
FrmCalibra.MemoData.Lines.Add (MedString);
Med_tsa:=Med_tsa+Med_ts;
Cont:=Cont+1;
end; //a
end; //b
Hora:=0;
Minuto:=0;
Segundo:=0;
Msegundo:=0;
DecodeTime(Time,Hora,Minuto,Segundo,Msegundo);
Tmp_loop:=Hora*3600000+Minuto*60000+Segundo*1000+Msegundo;
end; //c
Med:=Med_tsa/Cont;
// Resultados das medidas após a duração especificada
Dta_med:=DateToStr(Date);
Tmp_med:=TimeToStr(EncodeTime(Hora,Minuto,Segundo,Msegundo));
MedString:=Format('Data: %s Tempo: %s',[Dta_med,Tmp_med]);
FrmCalibra.MemoData.Lines.Add (MedString);

```

```

MedString:=' ';
FrmCalibra.MemoData.Lines.Add (MedString);
MedString:=Format('Média: %f NL:%d Acum:%f',[Med,Cont,Med_tsa]);
FrmCalibra.MemoData.Lines.Add (MedString);
end;//e

```

```

procedure Calin(pm1,pm2,pd1,pd2:Real;var c1,c2:Real);

```

```

//=====

```

```

// Rotina de Cálculo dos Coef da Curva de Calibração Linear

```

```

//=====

```

```

//Medido(un) = C1 + C2 * Medido(Volts)

```

```

begin

```

```

c1:=0;

```

```

c2:=0;

```

```

c1:=pd2-pm2*(pd2-pd1)/(pm2-pm1);

```

```

c2:=(pd2-pd1)/(pm2-pm1);

```

```

end;

```

```

//=====

```

```

// Calibração do sensor de pH do Reator 1

```

```

//=====

```

```

//-----Botão GRAVAR-I, pH no ponto inferior, reator 1-----

```

```

procedure TFrmCalibra.BitBtn2Click(Sender: TObject);

```

```

var

```

```

mens:String;

```

```

i:Integer;

```

```

sphmi,sphdi:String;

```

```

begin
Str(Par[0]:7:3,sphmi);
sphdi:=Edit1.Text;
AssignFile(Arqcal,'Cal.TXT');
AssignFile(Arqcaux,'Calaux.TXT');
Reset(Arqcal);
Rewrite(Arqcaux);
  For i:=1 to 2 do
  begin
    Readln(Arqcal,mens);
    Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
Readln(Arqcal,mens);//Linha 3
Writeln(Arqcaux,format('%7s%11s',[sphmi,sphdi]));
  For i:=4 to 56 do
  begin
    Readln(Arqcal,mens);
    Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
CloseFile(Arqcal);
CloseFile(Arqcaux);
If FileExists('C:\Principal\Cal.TXT') then
  DeleteFile('C:\Principal\Cal.TXT');
If Not RenameFile('C:\Principal\Calaux.TXT','C:\Principal\Cal.TXT') then ShowMessage('Erro ao renomear arquivo');
end;

//-----Botão GRAVAR-S, pH no ponto superior, reator 1-----
procedure TFrmCalibra.BitBtn33Click(Sender: TObject);
var

```

```

i,cd:Integer;
mens,mens1,sphms,sphds,sphmi,sphdi,sa,sb:String;
phmi,phdi,phms,phds:Real;
begin
Str(Par[0]:7:3,sphms);
sphds:=Edit2.Text;
AssignFile(Arqcal,'Cal.TXT');
AssignFile(Arqcaux,'Calaux.TXT');
Reset(Arqcal);
Rewrite(Arqcaux);
  For i:=1 to 2 do
  begin
  Readln(Arqcal,mens);
  Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
  Readln(Arqcal,mens1);//Linha 3
  Writeln(Arqcaux,mens1);
  Readln(Arqcal,mens);//Linha 4
  Writeln(Arqcaux,mens);
  Readln(Arqcal,mens);//Linha 5
  Writeln(Arqcaux,format('%7s%11s',[sphms,sphds]));
  Readln(Arqcal,mens);//Linha 6
  Writeln(Arqcaux,mens);
{Tratamento da String Mens1}
sphmi:=copy(mens1,1,7);
sphdi:=copy(mens1,8,11);
Val(sphmi,phmi,cd);
Val(sphdi,phdi,cd);
Val(sphms,phms,cd);
Val(sphds,phds,cd);

```

```

{Chama o procedimento p/ cálculo de A e B}
Calin(phmi,phms,phdi,phds,A,B);
Str(A:11:5,sa);//Conversão em string do coef A
Str(B:11:5,sb);//Conversão em string do coef B
ShowMessage('A para pH1 =' +sa);
ShowMessage('B para pH1 =' +sb);
  Readln(Arqcal,mens);//Linha 7
  Writeln(Arqcaux,format('%20s%20s',[sa,sb]));
  For i:=8 to 56 do
  begin
  Readln(Arqcal,mens);
  Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
CloseFile(Arqcal);
CloseFile(Arqcaux);
If FileExists('C:\Principal\Cal.TXT') then
  DeleteFile('C:\Principal\Cal.TXT');
If Not RenameFile('C:\Principal\Calaux.TXT','C:\Principal\Cal.TXT') then ShowMessage('Erro ao renomear arquivo');
FrmCalibra.GroupBox1.Visible:=False;
end;

```

```

//=====
// Calibração do sensor de pH do Reator 2
//=====

```

```

//-----Botão GRAVAR-I, pH, no ponto inferior, reator 2-----
procedure TFrmCalibra.BitBtn12Click(Sender: TObject);
var
i:Integer;

```

```

mens,sphmi,sphdi:String;
begin
Str(Par[1]:7:3,sphmi);
sphdi:=Edit11.Text;
AssignFile(Arqcal,'Cal.TXT');
AssignFile(Arqcaux,'Calaux.TXT');
Reset(Arqcal);
Rewrite(Arqcaux);
  For i:=1 to 9 do
  begin
  Readln(Arqcal,mens);
  Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
Readln(Arqcal,mens); //Linha 10
Writeln(Arqcaux,format('%7s%11s',[sphmi,sphdi]));
  For i:=11 to 56 do
  begin
  Readln(Arqcal,mens);
  Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
CloseFile(Arqcal);
CloseFile(Arqcaux);
If FileExists('C:\Principal\Cal.TXT') then
  DeleteFile('C:\Principal\Cal.TXT');
If Not RenameFile('C:\Principal\Calaux.TXT','C:\Principal\Cal.TXT')then ShowMessage('Erro ao renomear arquivo');
end;

//-----Botão GRAVAR-S, pH no ponto superior, reator 2-----
procedure TFrmCalibra.BitBtn43Click(Sender: TObject);

```



```

var
mens,mens1,sphms,sphds,sphmi,sphdi,sa,sb:String;
i,cd:Integer;
phmi,phdi,phms,phds:Real;
begin
Str(Par[1]:7:3,sphms);
sphds:=Edit12.Text;
AssignFile(Arqcal,'Cal.TXT');
AssignFile(Arqcaux,'Calaux.TXT');
Reset(Arqcal);
Rewrite(Arqcaux);
  For i:=1 to 9 do
  begin
  Readln(Arqcal,mens);
  Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
  Readln(Arqcal,mens1);//Linha 10
  Writeln(Arqcaux,mens1);
  Readln(Arqcal,mens);//Linha 11
  Writeln(Arqcaux,mens);
  Readln(Arqcal,mens);//Linha 12
  Writeln(Arqcaux,format('%7s%11s',[sphms,sphds]));
  Readln(Arqcal,mens);//Linha 13
  Writeln(Arqcaux,mens);
{Tratamento da String Mens1}
sphmi:=copy(mens1,1,7);
sphdi:=copy(mens1,8,11);
Val(sphmi,phmi,cd);
Val(sphdi,phdi,cd);
Val(sphms,phms,cd);

```

```

Val(sphds,phds,cd);
{Chama o procedimento p/ cálculo de A e B}
Calin(phmi,phms,phdi,phds,A,B);
Str(A:11:5,sa);//Conversão em string do coef A
Str(B:11:5,sb);//Conversão em string do coef B
ShowMessage('A para pH2 =' +sa);
ShowMessage('B para pH2 =' +sb);
  Readln(Arqcal,mens);//Linha 14
  Writeln(Arqcaux,format('%20s%20s',[sa,sb]));
  For i:=15 to 56 do
  begin
  Readln(Arqcal,mens);
  Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
CloseFile(Arqcal);
CloseFile(Arqcaux);
If FileExists('C:\Principal\Cal.TXT') then
  DeleteFile('C:\Principal\Cal.TXT');
If Not RenameFile('C:\Principal\Calaux.TXT','C:\Principal\Cal.TXT')then ShowMessage('Erro ao renomear arquivo');
FrmCalibra.GroupBox6.Visible:=False;
end;

```

```

//=====
// Calibração do sensor de REDOX do Reator 1
//=====

```

```

//-----Botão GRAVAR-I, Redox no ponto Inferior, reator 1-----
procedure TFrmCalibra.BitBtn4Click(Sender: TObject);
{Gravar REDOX1, com os parâmetros Label8.Caption, Edit3.Text}

```

```

var
i:Integer;
mens,sredmi,sreddi:String;
begin
Str(Par[2]:7:3,sredmi);
sreddi:=Edit3.Text;
AssignFile(Arqcal,'Cal.TXT');
AssignFile(Arqcaux,'Calaux.TXT');
Reset(Arqcal);
Rewrite(Arqcaux);
  For i:=1 to 16 do
  begin
  Readln(Arqcal,mens);
  Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
Readln(Arqcal,mens); //Linha 17
Writeln(Arqcaux,format('%7s%11s',[sredmi,sreddi]));
  For i:=18 to 56 do
  begin
  Readln(Arqcal,mens);
  Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
CloseFile(Arqcal);
CloseFile(Arqcaux);
If FileExists('C:\Principal\Cal.TXT') then
  DeleteFile('C:\Principal\Cal.TXT');
If Not RenameFile('C:\Principal\Calaux.TXT','C:\Principal\Cal.TXT') then ShowMessage('Erro ao renomear arquivo');
end;

```

```

//-----Botão GRAVAR-S, REDOX no ponto superior, reator 1-----
procedure TFrmCalibra.BitBtn35Click(Sender: TObject);
var
mens,mens1,sredms,sredds,sredmi,sreddi,sa,sb:String;
i,cd:Integer;
redmi,reddi,redms,redds:Real;
begin
Str(Par[2]:7:3,sredms);
sredds:=Edit4.Text;
AssignFile(Arqcal,'Cal.TXT');
AssignFile(Arqcaux,'Calaux.TXT');
Reset(Arqcal);
Rewrite(Arqcaux);
  For i:=1 to 16 do
  begin
    Readln(Arqcal,mens);
    Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
  Readln(Arqcal,mens1);//Linha 17
  Writeln(Arqcaux,mens1);
  Readln(Arqcal,mens);//Linha 18
  Writeln(Arqcaux,mens);
  Readln(Arqcal,mens);//Linha 19
  Writeln(Arqcaux,format('%7s%11s',[sredms,sredds]));
  Readln(Arqcal,mens);//Linha 20
  Writeln(Arqcaux,mens);
//Tratamento da String Mens1
sredmi:=copy(mens1,1,7);
sreddi:=copy(mens1,8,11);
//Conversão em real

```

```

Val(sredmi,redmi,cd);
Val(sreddi,reddi,cd);
Val(sredms,redms,cd);
Val(sredds,redds,cd);
//Chama o procedimento p/ cálculo de A e B
Calin(redmi,redms,reddi,redds,A,B);
Str(A:11:5,sa);//Conversão em string do coef A
Str(B:11:5,sb);//Conversão em string do coef B
ShowMessage('A para REDOX1 =' +sa);
ShowMessage('B para REDOX1 =' +sb);
  Readln(Arqcal,mens);//Linha 21
  Writeln(Arqcaux,format('%20s%20s',[sa,sb]));
  For i:=22 to 56 do
  begin
  Readln(Arqcal,mens);
  Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
CloseFile(Arqcal);
CloseFile(Arqcaux);
If FileExists('C:\Principal\Cal.TXT') then DeleteFile('C:\Principal\Cal.TXT');
If Not RenameFile('C:\Principal\Calaux.TXT','C:\Principal\Cal.TXT') then ShowMessage('Erro ao renomear arquivo');
FrmCalibra.GroupBox2.Visible:=False;
end;

//=====
// Calibração do sensor de REDOX do Reator 2
//=====

```

```

//-----Botão GRAVAR-I, Redox no ponto inferior, reator 2-----
procedure TFrmCalibra.BitBtn14Click(Sender: TObject);
var
i:Integer;
mens,sredmi,sreddi:String;
begin
Str(Par[3]:7:3,sredmi);
sreddi:=Edit13.Text;
AssignFile(Arqcal,'Cal.TXT');
AssignFile(Arqcaux,'Calaux.TXT');
Reset(Arqcal);
Rewrite(Arqcaux);
  For i:=1 to 23 do
  begin
  Readln(Arqcal,mens);
  Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
Readln(Arqcal,mens); //Linha 24
Writeln(Arqcaux,format('%7s%11s',[sredmi,sreddi]));
  For i:=25 to 56 do
  begin
  Readln(Arqcal,mens);
  Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
CloseFile(Arqcal);
CloseFile(Arqcaux);
If FileExists('C:\Principal\Cal.TXT') then DeleteFile('C:\Principal\Cal.TXT');
If Not RenameFile('C:\Principal\Calaux.TXT','C:\Principal\Cal.TXT') then ShowMessage('Erro ao renomear arquivo');
end;

```

```

//-----Botão GRAVAR-S, Redox no ponto superior, reator 2-----
procedure TFrmCalibra.BitBtn45Click(Sender: TObject);
var
mens,mens1,sredms,sredds,sredmi,sreddi,sa,sb:String;
i,cd:Integer;
redmi,reddi,redms,redds:Real;
begin
Str(Par[3]:7:3,sredms);
sredds:=Edit14.Text;
AssignFile(Arqcal,'Cal.TXT');
AssignFile(Arqcaux,'Calaux.TXT');
Reset(Arqcal);
Rewrite(Arqcaux);
  For i:=1 to 23 do
  begin
    Readln(Arqcal,mens);
    Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
  Readln(Arqcal,mens1)//Linha 24
  Writeln(Arqcaux,mens1);
  Readln(Arqcal,mens)//Linha 25
  Writeln(Arqcaux,mens);
  Readln(Arqcal,mens)//Linha 26
  Writeln(Arqcaux,format('%7s%11s',[sredms,sredds]));
  Readln(Arqcal,mens)//Linha 27
  Writeln(Arqcaux,mens);
//Tratamento da String Mens1
sredmi:=copy(mens1,1,7);
sreddi:=copy(mens1,8,11);

```

```

//Conversão em real
Val(sredmi,redmi,cd);
Val(sreddi,reddi,cd);
Val(sredms,redms,cd);
Val(sredds,redds,cd);
//Chama o procedimento p/ cálculo de A e B
Calin(redmi,redms,reddi,redds,A,B);
Str(A:11:5,sa);//Conversão em string do coef A
Str(B:11:5,sb);//Conversão em string do coef B
ShowMessage('A para REDOX2 =' +sa);
ShowMessage('B para REDOX2 =' +sb);
  Readln(Arqcal,mens);//Linha 28
  Writeln(Arqcaux,format('%20s%20s',[sa,sb]));
  For i:=29 to 56 do
  begin
    Readln(Arqcal,mens);
    Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
CloseFile(Arqcal);
CloseFile(Arqcaux);
If FileExists('C:\Principal\Cal.TXT') then
  DeleteFile('C:\Principal\Cal.TXT');
If Not RenameFile('C:\Principal\Calaux.TXT','C:\Principal\Cal.TXT') then ShowMessage('Erro ao renomear arquivo');
FrmCalibra.GroupBox7.Visible:=False;
end;

//=====
// Calibração do sensor de OD do Reator 1
//=====

```



```

//-----Botão GRAVAR-I, OD no ponto inferior, reator 1-----
procedure TFrmCalibra.BitBtn6Click(Sender: TObject);
var
i:Integer;
mens,sodmi,soddi:String;
begin
Str(Par[4]:7:3,sodmi);
soddi:=Edit5.Text;
AssignFile(Arqcal,'Cal.TXT');
AssignFile(Arqcaux,'Calaux.TXT');
Reset(Arqcal);
Rewrite(Arqcaux);
  For i:=1 to 30 do
  begin
    Readln(Arqcal,mens);
    Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
Readln(Arqcal,mens); //Linha 31
Writeln(Arqcaux,format('%7s%11s',[sodmi,soddi]));
  For i:=32 to 56 do
  begin
    Readln(Arqcal,mens);
    Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
CloseFile(Arqcal);
CloseFile(Arqcaux);
If FileExists('C:\Principal\Cal.TXT') then
  DeleteFile('C:\Principal\Cal.TXT');
If Not RenameFile('C:\Principal\Calaux.TXT','C:\Principal\Cal.TXT') then ShowMessage('Erro ao renomear arquivo');

```

end;

```
//-----Botão GRAVAR-S, OD no ponto superior, reator 1-----  
procedure TFrmCalibra.BitBtn37Click(Sender: TObject);  
var  
mens,mens1,sodms,sodds,sodmi,soddi,sa,sb:String;  
i,cd:Integer;  
odmi,oddi,odms,odds:Real;  
begin  
Str(Par[4]:7:3,sodms);  
sodds:=Edit6.Text;  
AssignFile(Arqcal,'Cal.TXT');  
AssignFile(Arqcaux,'Calaux.TXT');  
Reset(Arqcal);  
Rewrite(Arqcaux);  
  For i:=1 to 30 do  
  begin  
    Readln(Arqcal,mens);  
    Writeln(Arqcaux,mens);  
  end;  
  Readln(Arqcal,mens1);//Linha 31  
  Writeln(Arqcaux,mens1);  
  Readln(Arqcal,mens);//Linha 32  
  Writeln(Arqcaux,mens);  
  Readln(Arqcal,mens);//Linha 33  
  Writeln(Arqcaux,format('%7s%11s',[sodms,sodds]));  
  Readln(Arqcal,mens);//Linha 34  
  Writeln(Arqcaux,mens);  
//Tratamento da String Mens1
```

```

sodmi:=copy(mens1,1,7);
soddi:=copy(mens1,8,11);
//Conversão em real
Val(sodmi,odmi,cd);
Val(soddi,oddi,cd);
Val(sodms,odms,cd);
Val(sodds,odds,cd);
//Chama o procedimento p/ cálculo de A e B
Calin(odmi,odms,oddi,odds,A,B);
Str(A:11:5,sa);//Conversão em string do coef A
Str(B:11:5,sb);//Conversão em string do coef B
ShowMessage('A para OD1 =' +sa);
ShowMessage('B para OD1 =' +sb);
  Readln(Arqcal,mens);//Linha 35
  Writeln(Arqcaux,format('%20s%20s',[sa,sb]));
  For i:=36 to 56 do
  begin
  Readln(Arqcal,mens);
  Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
CloseFile(Arqcal);
CloseFile(Arqcaux);
If FileExists('C:\Principal\Cal.TXT') then
  DeleteFile('C:\Principal\Cal.TXT');
If Not RenameFile('C:\Principal\Calaux.TXT','C:\Principal\Cal.TXT') then ShowMessage('Erro ao renomear arquivo');
FrmCalibra.GroupBox3.Visible:=False;
end;

//=====

```

```
// Calibração do sensor de OD do Reator 2
```

```
//=====
```

```
//-----Botão GRAVAR-I, OD no ponto inferior, reator 2-----
```

```
procedure TFrmCalibra.BitBtn16Click(Sender: TObject);
```

```
var
```

```
i:Integer;
```

```
mens,sodmi,soddi:String;
```

```
begin
```

```
Str(Par[5]:7:3,sodmi);
```

```
soddi:=Edit15.Text;
```

```
AssignFile(Arqcal,'Cal.TXT');
```

```
AssignFile(Arqcaux,'Calaux.TXT');
```

```
Reset(Arqcal);
```

```
Rewrite(Arqcaux);
```

```
  For i:=1 to 37 do
```

```
  begin
```

```
  Readln(Arqcal,mens);
```

```
  Writeln(Arqcaux,mens);
```

```
  end;
```

```
Readln(Arqcal,mens); //Linha 38
```

```
Writeln(Arqcaux,format('%7s%11s',[sodmi,soddi]));
```

```
  For i:=39 to 56 do
```

```
  begin
```

```
  Readln(Arqcal,mens);
```

```
  Writeln(Arqcaux,mens);
```

```
  end;
```

```
CloseFile(Arqcal);
```

```
CloseFile(Arqcaux);
```

```
If FileExists('C:\Principal\Cal.TXT') then
```

```

DeleteFile('C:\Principal\Cal.TXT');
If Not RenameFile('C:\Principal\Calaux.TXT','C:\Principal\Cal.TXT') then ShowMessage('Erro ao renomear arquivo');
end;

```

```

//-----Botão GRAVAR-S, OD no ponto superior, reator 2-----
procedure TFrmCalibra.BitBtn47Click(Sender: TObject);
var
mens,mens1,sodms,sodds,sodmi,soddi,sa,sb:String;
i,cd:Integer;
odmi,oddi,odms,odds:Real;
begin
Str(Par[5]:7:3,sodms);
sodds:=Edit16.Text;
AssignFile(Arqcal,'Cal.TXT');
AssignFile(Arqcaux,'Calaux.TXT');
Reset(Arqcal);
Rewrite(Arqcaux);
  For i:=1 to 37 do
  begin
  Readln(Arqcal,mens);
  Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
  Readln(Arqcal,mens1);//Linha 38
  Writeln(Arqcaux,mens1);
  Readln(Arqcal,mens);//Linha 39
  Writeln(Arqcaux,mens);
  Readln(Arqcal,mens);//Linha 40
  Writeln(Arqcaux,format('%7s%11s',[sodms,sodds]));
  Readln(Arqcal,mens);//Linha 41

```

```

    Writeln(Arqcaux,mens);
//Tratamento da String Mens1
sodmi:=copy(mens1,1,7);
soddi:=copy(mens1,8,11);
//Conversão em real
Val(sodmi,odmi,cd);
Val(soddi,oddi,cd);
Val(sodms,odms,cd);
Val(sodds,odds,cd);
//Chama o procedimento p/ cálculo de A e B
Calin(odmi,odms,oddi,odds,A,B);
Str(A:11:5,sa);//Conversão em string do coef A
Str(B:11:5,sb);//Conversão em string do coef B
ShowMessage('A para OD2 =' +sa);
ShowMessage('B para OD2 =' +sb);
  Readln(Arqcal,mens);//Linha 42
  Writeln(Arqcaux,format('%20s%20s',[sa,sb]));
  For i:=43 to 56 do
  begin
    Readln(Arqcal,mens);
    Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
CloseFile(Arqcal);
CloseFile(Arqcaux);
If FileExists('C:\Principal\Cal.TXT') then
  DeleteFile('C:\Principal\Cal.TXT');
If Not RenameFile('C:\Principal\Cal.TXT','C:\Principal\Cal.TXT') then ShowMessage('Erro ao renomear arquivo');
FrmCalibra.GroupBox8.Visible:=False;
end;

```

```

//=====
// Calibração do sensor de TEMPERATURA do Reator 1
//=====

//-----Botão GRAVAR-I, Temperatura no ponto inferior, reator 1-----
procedure TFrmCalibra.BitBtn8Click(Sender: TObject);
var
i:Integer;
mens,stempmi,stempdi:String;
begin
Str(Par[6]:7:3,stempmi);
stempdi:=Edit7.Text;
AssignFile(Arqcal,'Cal.TXT');
AssignFile(Arqcaux,'Calaux.TXT');
Reset(Arqcal);
Rewrite(Arqcaux);
  For i:=1 to 44 do
  begin
  Readln(Arqcal,mens);
  Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
Readln(Arqcal,mens); //Linha 45
Writeln(Arqcaux,format('%7s%11s',[stempmi,stempdi]));
  For i:=46 to 56 do
  begin
  Readln(Arqcal,mens);
  Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
end;

```

```

CloseFile(Arqcal);
CloseFile(Arqcaux);
If FileExists('C:\Principal\Cal.TXT') then
  DeleteFile('C:\Principal\Cal.TXT');
If Not RenameFile('C:\Principal\Calaux.TXT','C:\Principal\Cal.TXT') then ShowMessage('Erro ao renomear arquivo');
end;

```

```

//-----Botão GRAVAR-S, Temperatura no ponto superior, reator 1-----
procedure TFrmCalibra.BitBtn39Click(Sender: TObject);
var
mens,mens1,stempms,stempds,stempi,stempdi,sa,sb:String;
i,cd:Integer;
tempmi,tempdi,tempms,tempds:Real;
begin
Str(Par[6]:7:3,stempms);
stempds:=Edit8.Text;
AssignFile(Arqcal,'Cal.TXT');
AssignFile(Arqcaux,'Calaux.TXT');
Reset(Arqcal);
Rewrite(Arqcaux);
  For i:=1 to 44 do
    begin
      Readln(Arqcal,mens);
      Writeln(Arqcaux,mens);
    end;
  Readln(Arqcal,mens1)//Linha 45
  Writeln(Arqcaux,mens1);
  Readln(Arqcal,mens)//Linha 46
  Writeln(Arqcaux,mens);

```



```

Readln(Arqcal,mens);//Linha 47
Writeln(Arqcaux,format('%7s%11s',[stempms,stempds]));
Readln(Arqcal,mens);//Linha 48
Writeln(Arqcaux,mens);
//Tratamento da String mens1
stempmi:=copy(mens1,1,7);
stempdi:=copy(mens1,8,11);
//Conversão em real
Val(stempmi,tempmi,cd);
Val(stempdi,tempdi,cd);
Val(stempms,tempms,cd);
Val(stempds,tempds,cd);
//Chama o procedimento p/ cálculo de A e B
Calin(tempmi,tempms,tempdi,tempds,A,B);
Str(A:11:5,sa);//Conversão em string do coef A
Str(B:11:5,sb);//Conversão em string do coef B
ShowMessage('A para Temperatura1 =' +sa);
ShowMessage('B para Temperatura1 =' +sb);
  Readln(Arqcal,mens);//Linha 49
  Writeln(Arqcaux,format('%20s%20s',[sa,sb]));
  For i:=50 to 56 do
  begin
    Readln(Arqcal,mens);
    Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
CloseFile(Arqcal);
CloseFile(Arqcaux);
If FileExists('C:\Principal\Cal.TXT') then
  DeleteFile('C:\Principal\Cal.TXT');
If Not RenameFile('C:\Principal\Cal.TXT','C:\Principal\Cal.TXT') then ShowMessage('Erro ao renomear arquivo');

```

```
FrmCalibra.GroupBox4.Visible:=False;  
end;
```

```
//=====
```

```
// Calibração do sensor de TEMPERATURA do Reator 2
```

```
//=====
```

```
//-----Botão GRAVAR-I, Temperatura no ponto inferior, reator 2-----  
procedure TFrmCalibra.BitBtn18Click(Sender: TObject);  
var  
i:Integer;  
mens,stempmi,stempdi:String;  
begin  
Str(Par[7]:7:3,stempmi);  
stempdi:=Edit17.Text;  
AssignFile(Arqcal,'Cal.TXT');  
AssignFile(Arqcaux,'Calaux.TXT');  
Reset(Arqcal);  
Rewrite(Arqcaux);  
  For i:=1 to 51 do  
  begin  
  Readln(Arqcal,mens);  
  Writeln(Arqcaux,mens);  
  end;  
Readln(Arqcal,mens); //Linha 52  
Writeln(Arqcaux,format('%7s%11s',[stempmi,stempdi]));  
  For i:=53 to 56 do  
  begin  
  Readln(Arqcal,mens);
```

```

    Writeln(Arqcaux,mens);
  end;
CloseFile(Arqcal);
CloseFile(Arqcaux);
If FileExists('C:\Principal\Cal.TXT') then
  DeleteFile('C:\Principal\Cal.TXT');
If Not RenameFile('C:\Principal\Calaux.TXT','C:\Principal\Cal.TXT') then ShowMessage('Erro ao renomear arquivo');
end;

```

```

//-----Botão GRAVAR-S, Temperatura no ponto superior, reator 2-----
procedure TFrmCalibra.BitBtn49Click(Sender: TObject);
var
  mens,mens1,stempms,stempds,stempi,stempdi,sa,sb:String;
  i,cd:Integer;
  tempmi,tempdi,tempms,tempds:Real;
begin
  Str(Par[7]:7:3,stempms);
  stempds:=Edit18.Text;
  AssignFile(Arqcal,'Cal.TXT');
  AssignFile(Arqcaux,'Calaux.TXT');
  Reset(Arqcal);
  Rewrite(Arqcaux);
  For i:=1 to 51 do
    begin
      Readln(Arqcal,mens);
      Writeln(Arqcaux,mens);
    end;
  Readln(Arqcal,mens1);//Linha 52
  Writeln(Arqcaux,mens1);

```

```

Readln(Arqcal,mens);//Linha 53
Writeln(Arqcaux,mens);
Readln(Arqcal,mens);//Linha 54
Writeln(Arqcaux,format('%7s%11s',[stempms,stempds]));
Readln(Arqcal,mens);//Linha 55
Writeln(Arqcaux,mens);
//Tratamento da String mens1
stempmi:=copy(mens1,1,7);
stempdi:=copy(mens1,8,11);
//Conversão em real
Val(stempmi,tempmi,cd);
Val(stempdi,tempdi,cd);
Val(stempms,tempms,cd);
Val(stempds,tempds,cd);
//Chama o procedimento p/ cálculo de A e B
Calin(tempmi,tempms,tempdi,tempds,A,B);
Str(A:11:5,sa);//Conversão em string do coef A
Str(B:11:5,sb);//Conversão em string do coef B
ShowMessage('A para Temperatura2 =' +sa);
ShowMessage('B para Temperatura2 =' +sb);
  Readln(Arqcal,mens);//Linha 56
  Writeln(Arqcaux,format('%20s%20s',[sa,sb]));
CloseFile(Arqcal);
CloseFile(Arqcaux);
If FileExists('C:\Principal\Cal.TXT') then
  DeleteFile('C:\Principal\Cal.TXT');
If Not RenameFile('C:\Principal\Cal.TXT','C:\Principal\Cal.TXT') then ShowMessage('Erro ao renomear arquivo');
FrmCalibra.GroupBox9.Visible:=False;
end;

```

```

procedure TFrmCalibra.Timer1Timer(Sender: TObject);
//=====
// Temporizador para ativar a rotina leituras médias
//=====
// O valor de Interval deve ser um pouco maior (neste caso 3000 msegundos) que
// a soma de tempo dos argumentos das funções (neste caso 8 msegundos), para
// oportunizar a modificação dos valores padrões e acionar a gravação em
// arquivo magnético.
// O valor de Interval pode ser alterado nos Events, da componente Timer1.
var
i:Integer;
sph1,sph2,sred1,sred2,sod1,sod2,stemp1,stemp2:String;
begin
//Medpar(duração de aquisição em msegundos, Canal, Media das leituras)
  For i:=0 to 7 do
    begin
      Medpar(1,i,Par[i]);
    end;
//Mostra os valores médios dos bits e tensões
Str(Par[0]:7:3,sph1);
Str(Par[1]:7:3,sph2);
Str(Par[2]:7:3,sred1);
Str(Par[3]:7:3,sred2);
Str(Par[4]:7:3,sod1);
Str(Par[5]:7:3,sod2);
Str(Par[6]:7:3,stemp1);
Str(Par[7]:7:3,stemp2);
FrmCalibra.Memph1.Text:=sph1;
FrmCalibra.Memph2.Text:=sph2;

```

```

FrmCalibra.Memred1.Text:=sred1;
FrmCalibra.Memred2.Text:=sred2;
FrmCalibra.Memod1.Text:=sod1;
FrmCalibra.Memod2.Text:=sod2;
FrmCalibra.Memtemp1.Text:=stemp1;
FrmCalibra.Memtemp2.Text:=stemp2;
end;

```

```

procedure TFrmCalibra.BitBtn31Click(Sender: TObject);

```

```

//=====
// Desabilitar Timer1 e Fechar FrmCalibra
//=====

```

```

begin
Timer1.Enabled:=False;
end;

```

```

procedure TFrmCalibra.BitBtn1Click(Sender: TObject);

```

```

//=====
// Criar a estrutura do arquivo Cal.TXT
//=====

```

```

begin
// Sensor de pH do Reator 1
AssignFile(Arqcal,'Cal.TXT');
Rewrite(Arqcal);
Writeln(Arqcal,'pH1');
Writeln(Arqcal,'PM1_INF  PD1_INF');
Writeln(Arqcal,format('%7s%11s',['0000000','0000000']));
Writeln(Arqcal,'PM1_SUP  PD1_SUP');
Writeln(Arqcal,format('%7s%11s',['0000000','0000000']));
Writeln(Arqcal,'A          B');

```

```

Writeln(Arqcal,format('%20s%20s',['0000000','0000000']));
// Sensor de pH do Reator 2
Writeln(Arqcal,'pH2');
Writeln(Arqcal,'PM1_INF  PD1_INF');
Writeln(Arqcal,format('%7s%11s',['0000000','0000000']));
Writeln(Arqcal,'PM1_SUP  PD1_SUP');
Writeln(Arqcal,format('%7s%11s',['0000000','0000000']));
Writeln(Arqcal,'A          B');
Writeln(Arqcal,format('%20s%20s',['0000000','0000000']));
// Sensor de REDOX do Reator 1
Writeln(Arqcal,'REDOX1');
Writeln(Arqcal,'PM1_INF  PD1_INF');
Writeln(Arqcal,format('%7s%11s',['0000000','0000000']));
Writeln(Arqcal,'PM1_SUP  PD1_SUP');
Writeln(Arqcal,format('%7s%11s',['0000000','0000000']));
Writeln(Arqcal,'A          B');
Writeln(Arqcal,format('%20s%20s',['0000000','0000000']));
// Sensor de REDOX do Reator 2
Writeln(Arqcal,'REDOX2');
Writeln(Arqcal,'PM1_INF  PD1_INF');
Writeln(Arqcal,format('%7s%11s',['0000000','0000000']));
Writeln(Arqcal,'PM1_SUP  PD1_SUP');
Writeln(Arqcal,format('%7s%11s',['0000000','0000000']));
Writeln(Arqcal,'A          B');
Writeln(Arqcal,format('%20s%20s',['0000000','0000000']));
// Sensor de OD do Reator 1
Writeln(Arqcal,'OD1');
Writeln(Arqcal,'PM1_INF  PD1_INF');
Writeln(Arqcal,format('%7s%11s',['0000000','0000000']));
Writeln(Arqcal,'PM1_SUP  PD1_SUP');

```

```

Writeln(Arqcal,format('%7s%11s',['0000000','0000000']));
Writeln(Arqcal,'A          B');
Writeln(Arqcal,format('%20s%20s',['0000000','0000000']));
// Sensor de OD do Reator 2
Writeln(Arqcal,'OD2');
Writeln(Arqcal,'PM1_INF  PD1_INF');
Writeln(Arqcal,format('%7s%11s',['0000000','0000000']));
Writeln(Arqcal,'PM1_SUP  PD1_SUP');
Writeln(Arqcal,format('%7s%11s',['0000000','0000000']));
Writeln(Arqcal,'A          B');
Writeln(Arqcal,format('%20s%20s',['0000000','0000000']));
// Sensor de TEMPERATURA do Reator 1
Writeln(Arqcal,'TEMPERATURA1');
Writeln(Arqcal,'PM1_INF  PD1_INF');
Writeln(Arqcal,format('%7s%11s',['0000000','0000000']));
Writeln(Arqcal,'PM1_SUP  PD1_SUP');
Writeln(Arqcal,format('%7s%11s',['0000000','0000000']));
Writeln(Arqcal,'A          B');
Writeln(Arqcal,format('%20s%20s',['0000000','0000000']));
// Sensor de TEMPERATURA do Reator 2
Writeln(Arqcal,'TEMPERATURA2');
Writeln(Arqcal,'PM1_INF  PD1_INF');
Writeln(Arqcal,format('%7s%11s',['0000000','0000000']));
Writeln(Arqcal,'PM1_SUP  PD1_SUP');
Writeln(Arqcal,format('%7s%11s',['0000000','0000000']));
Writeln(Arqcal,'A          B');
Writeln(Arqcal,format('%20s%20s',['0000000','0000000']));
CloseFile(Arqcal);
end;

```


end.

B.6) Código fonte UnGerConfEve.pas

```
unit UnGerConfEve;
interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Buttons, UnGerConf;

type
  TFrmGerConfEve = class(TForm)
    Label3: TLabel;
    Lbl_Contador: TLabel;
    Nm_Evento: TEdit;
    Label5: TLabel;
    Dur_Evento: TEdit;
    Label6: TLabel;
    Cbx_Ba: TComboBox;
    Label11: TLabel;
    Cbx_Be: TComboBox;
    Label12: TLabel;
    Cbx_Bl: TComboBox;
    Label7: TLabel;
    Cbx_Vsa: TComboBox;
    Label8: TLabel;
    Cbx_Vsm: TComboBox;
    Label9: TLabel;
    Cbx_Vsb: TComboBox;
    Label10: TLabel;
```

```

Cbx_Mis: TComboBox;
BtnConfirmar: TBitBtn;
BtnFechar: TBitBtn;
Label1: TLabel;
Cbx_Psq: TComboBox;
Label2: TLabel;
Cbx_Bs: TComboBox;
procedure BtnConfirmarClick(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Nm_EventoEnter(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  FrmGerConfEve: TFrmGerConfEve;

implementation

{$R *.DFM}

var
  id:Integer;
  Nev:Integer;
  SNev:String;

procedure TFrmGerConfEve.BtnConfirmarClick(Sender: TObject);
Var

```

```

Arq_Confl:TextFile;
Snoev:String;
Sdur:String[7];
Sba,Sbe,Sbl,Svsa,Svsm,Svsb,Smis,Sbs,Spsq:String[3];

begin
  id:=id+1;
  if ((id-1)<=Nev) then
    begin
      Snoev:=FrmGerConfEve.Nm_Evento.Text;
      Sdur:=FrmGerConfEve.Dur_Evento.Text;
      Sba:=FrmGerConfEve.Cbx_Ba.Text;
      Sbe:=FrmGerConfEve.Cbx_Be.Text;
      Sbl:=FrmGerConfEve.Cbx_Bl.Text;
      Svsa:=FrmGerConfEve.Cbx_Vsa.Text;
      Svsm:=FrmGerConfEve.Cbx_Vsm.Text;
      Svsb:=FrmGerConfEve.Cbx_Vsb.Text;
      Smis:=FrmGerConfEve.Cbx_Mis.Text;
      Sbs:=FrmGerConfEve.Cbx_Bs.Text;
      Spsq:=FrmGerConfEve.Cbx_Psq.Text;
      AssignFile(Arq_Confl, 'Confr1.Txt');
      Append(Arq_Confl);
      Writeln(Arq_Confl,'Evento '+IntToStr(id-1)+' - '+Snoev);
      Writeln(Arq_Confl,'Duração B.A B.E B.L VSA VSM VSB MIS B.S PSQ');
      Writeln(Arq_Confl,format('%7s%4s%4s%4s%4s%4s%4s%4s%4s%4s',[Sdur,Sba,Sbe,Sbl,
      Svsa,Svsm,Svsb,Smis,Sbs,Spsq]));
      CloseFile(Arq_Confl);
      FrmGerConfEve.Nm_Evento.SetFocus;
      Nm_Evento.Text:=' ';
      Dur_Evento.Text:=' ';
    end;
  end;

```

```
end;

end;

procedure TFrmGerConfEve.FormCreate(Sender: TObject);
begin
id:=1;
end;

procedure TFrmGerConfEve.Nm_EventoEnter(Sender: TObject);
begin
FrmGerConfEve.Lbl_Contador.Caption:=IntToStr(id);
Snev:=FrmGerConf.Num_Evento.Text;
Nev:=StrToInt(Snev);
if ( StrToInt(FrmGerConfEve.Lbl_Contador.Caption)=(Nev+1) ) then
FrmGerConfEve.BtnConfirmar.Enabled:=False;
end;

end.
```

B.7) Código fonte UnGerConf2.pas

```
unit UnGerConf2;
interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Buttons, DIO;
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,

type
  TFrmGerConf2 = class(TForm)
    Label2: TLabel;
    Num_Evento: TEdit;
    BtnConfirmar: TBitBtn;
    procedure BtnConfirmarClick(Sender: TObject);
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  FrmGerConf2: TFrmGerConf2;

implementation

uses
```

UnPrincipal, UnAutoma;

{SR *.DFM}

procedure TFrmGerConf2.BtnConfirmarClick(Sender: TObject);

var

Arq_Conf2: TextFile;

Snev: String;

begin

Snev:=FrmGerConf2.Num_Evento.Text;

AssignFile(Arq_Conf2, 'Confr2.Txt');

Rewrite(Arq_Conf2);

Writeln(Arq_Conf2,'Arquivo de Configuração do RSB 2');

Writeln(Arq_Conf2,'Número de eventos em um ciclo do RSB 2');

Writeln(Arq_Conf2,Snev);

FrmGerConf2.Num_Evento.Enabled:=False;

FrmGerConf2.BtnConfirmar.Enabled:=False;

CloseFile(Arq_Conf2);

Close;

FrmPrincipal.Show;

end;

procedure TFrmGerConf2.FormCreate(Sender: TObject);

begin

//=====

//Desativa modo automático e posiciona no modo de desligamento anormal

//Caso queira iniciar do evento em que parou, basta DESLIGAR e LIGAR a cpu.

//Caso queira iniciar no começo do ciclo FECHÉ o FrmPrincipal e inicialize a cpu

//Desativa todos os relês.

```
//=====
With FrmAutoma do
FrmAutoma.TmrPrincipal.Enabled:=False;
DIO_OutputWord(wBase,0); // Desativa todos os relês
end;

end.
```


B.8) Código fonte UnGerConfEve2.pas

```
unit UnGerConfEve2;
interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Buttons;

type
  TFrmGerConfEve2 = class(TForm)
    Label3: TLabel;
    Lbl_Contador: TLabel;
    Label5: TLabel;
    Label6: TLabel;
    Label11: TLabel;
    Label12: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Label8: TLabel;
    Label9: TLabel;
    Label10: TLabel;
    Nm_Evento: TEdit;
    Dur_Evento: TEdit;
    Cbx_Ba: TComboBox;
    Cbx_Be: TComboBox;
    Cbx_Bl: TComboBox;
    Cbx_Vsa: TComboBox;
    Cbx_Vsm: TComboBox;
    Cbx_Vsb: TComboBox;
```

```

Cbx_Mis: TComboBox;
BtnConfirmar: TBitBtn;
BtnFechar: TBitBtn;
Label1: TLabel;
Cbx_Psq: TComboBox;
Label2: TLabel;
Cbx_Bs: TComboBox;
procedure BtnConfirmarClick(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Nm_EventoEnter(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

```

```

var
  FrmGerConfEve2: TFrmGerConfEve2;

```

implementation

```

uses UnGerConf2;

```

```

{$R *.DFM}

```

```

var
  id:Integer;
  Nev:Integer;
  SNev:String;

```

```

procedure TFrmGerConfEve2.BtnConfirmarClick(Sender: TObject);
Var
Arq_Conf2: TextFile;
Snoev: String;
Sdur: String[7];
Sba,Sbe,Sbl,Svsa,Svsm,Svsb,Smis,Sbs,Spsq: String[3];

begin
  id:=id+1;
  if ((id-1)<=Nev) then
    begin
      Snoev:=FrmGerConfEve2.Nm_Evento.Text;
      Sdur:=FrmGerConfEve2.Dur_Evento.Text;
      Sba:=FrmGerConfEve2.Cbx_Ba.Text;
      Sbe:=FrmGerConfEve2.Cbx_Be.Text;
      Sbl:=FrmGerConfEve2.Cbx_Bl.Text;
      Svsa:=FrmGerConfEve2.Cbx_Vsa.Text;
      Svsm:=FrmGerConfEve2.Cbx_Vsm.Text;
      Svsb:=FrmGerConfEve2.Cbx_Vsb.Text;
      Smis:=FrmGerConfEve2.Cbx_Mis.Text;
      Sbs:=FrmGerConfEve2.Cbx_Bs.Text;
      Spsq:=FrmGerConfEve2.Cbx_Psq.Text;
      AssignFile(Arq_Conf2, 'Confr2.Txt');
      Append(Arq_Conf2);
      Writeln(Arq_Conf2,'Evento '+IntToStr(id-1)+' - '+Snoev);
      Writeln(Arq_Conf2,'Duração B.A B.E B.L VSA VSM VSB MIS B.S PSQ');
      Writeln(Arq_Conf2,format('%7s%4s%4s%4s%4s%4s%4s%4s%4s%4s',[Sdur,Sba,Sbe,Sbl,
      Svsa,Svsm,Svsb,Smis,Sbs,Spsq]));
      CloseFile(Arq_Conf2);
      FrmGerConfEve2.Nm_Evento.SetFocus;
    end;
end;

```

```
Nm_Evento.Text:=' ';  
Dur_Evento.Text:=' ';  
end;
```

```
end;
```

```
procedure TFrmGerConfEve2.FormCreate(Sender: TObject);  
begin  
id:=1;  
end;
```

```
procedure TFrmGerConfEve2.Nm_EventoEnter(Sender: TObject);  
begin  
FrmGerConfEve2.Lbl_Contador.Caption:=IntToStr(id);  
Snev:=FrmGerConf2.Num_Evento.Text;  
Nev:=StrToInt(Snev);  
if ( StrToInt(FrmGerConfEve2.Lbl_Contador.Caption)=(Nev+1) ) then  
FrmGerConfEve2.BtnConfirmar.Enabled:=False;  
end;
```

```
end.
```

B.9) Código fonte UnLerConf2.pas

```
unit UnLerConf2;
interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Buttons, DIO;
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,

type
  TFrmLerConf2 = class(TForm)
    Memo1: TMemo;
    Btn_Fechar: TBitBtn;
    procedure FormActivate(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  FrmLerConf2: TFrmLerConf2;

implementation

{$R *.DFM}

uses
```

UnPrincipal, UnAutoma;

procedure TFrmLerConf2.FormActivate(Sender: TObject);

begin

//=====

//Desativa modo automático e posiciona no modo de desligamento anormal

//Caso queira iniciar do evento em que parou, basta DESLIGAR e LIGAR a cpu.

//Caso queira iniciar no começo do ciclo FECHÉ o FrmPrincipal e inicialize a cpu

//Desativa todos os relês.

//=====

With FrmAutoma do

FrmAutoma.TmrPrincipal.Enabled:=False;

DIO_OutputWord(wBase,0); // Desativa todos os relês

//=====

//Leitura do arquivo Confr2.Txt

//=====

Memo1.Lines.LoadFromFile('Confr2.Txt');

FrmLerConf2.Btn_Fechar.SetFocus;

end;

end.

B.10) Código fonte UnAutoma.pas

```
unit UnAutoma;  
interface  
  
uses  
//Incluir os drivers das placas PCI-DAS 1200Jr e P16R16 DIO  
//Os arquivos CBW.dcu e DIO.dcu devem estar no diretório corrente  
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
  ExtCtrls, StdCtrls, Cbw, Buttons, DIO, Math;  
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
  
type  
  TFrmAutoma = class(TForm)  
    Label1: TLabel;  
    Label2: TLabel;  
    Label3: TLabel;  
    Label4: TLabel;  
    Label5: TLabel;  
    Label6: TLabel;  
    Label7: TLabel;  
    Label8: TLabel;  
    Label9: TLabel;  
    Label10: TLabel;  
    Label11: TLabel;  
    Label12: TLabel;  
    Label13: TLabel;  
    Label17: TLabel;  
    Label19: TLabel;
```

Label20: TLabel;
Label21: TLabel;
Label15: TLabel;
Label16: TLabel;
Label22: TLabel;
Label23: TLabel;
Label24: TLabel;
Label25: TLabel;
Label26: TLabel;
Label27: TLabel;
Label30: TLabel;
Label31: TLabel;
Label32: TLabel;
Label33: TLabel;
Label34: TLabel;
Label35: TLabel;
Lbldur: TLabel;
Label36: TLabel;
Lblph1: TLabel;
Lblph2: TLabel;
Lblred1: TLabel;
Lblred2: TLabel;
Lblod1: TLabel;
Lblod2: TLabel;
Lbltemp1: TLabel;
Lbltemp2: TLabel;
Lblph1c: TLabel;
Lblph2c: TLabel;
Lblred1c: TLabel;
Lblred2c: TLabel;

Lblod1c: TLabel;
Lblod2c: TLabel;
Lbltemp1c: TLabel;
Lbltemp2c: TLabel;
TmrPrincipal: TTimer;
Label29: TLabel;
Label38: TLabel;
Label40: TLabel;
Label42: TLabel;
Label44: TLabel;
Label45: TLabel;
Label46: TLabel;
Label47: TLabel;
Label48: TLabel;
Label49: TLabel;
Label50: TLabel;
Label51: TLabel;
Label52: TLabel;
Label53: TLabel;
Label54: TLabel;
Label55: TLabel;
Label56: TLabel;
Label59: TLabel;
Label18: TLabel;
Label14: TLabel;
Label37: TLabel;
Label41: TLabel;
Label39: TLabel;
Label43: TLabel;
Label57: TLabel;

```

Label28: TLabel;
ListBox1: TListBox;
Label58: TLabel;
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure TmrPrincipalTimer(Sender: TObject);
protected
  FNextTimerEventTime : TDateTime;
  FContGrava : Cardinal; // Contador da duração da gravacao
  FContCics: Array [0..2] of Cardinal; // Contador da duração dos ciclos
  FContDec: Array [0..2] of Cardinal; // Contador da duração para realizar a inferência, nos reatores 1 e 2
  FcontGraf1,FcontGraf2: Cardinal; // Contador da geração gráfica
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
  constructor Create( AOwner : TComponent ); override;
end;

var
  FrmAutoma: TFrmAutoma;

implementation

uses UnPrincipal, UnGraf1, UnGraf2;

{$R *.DFM}

```

type

Tmf = Array [0..4,0..4] of Real; // Membership function das variáveis de entrada (dimensionar pela maior entre as fases dos reatores 1 e 2) - 4 MFs trapezoidais, com 4 pontos, pois a variável com maior número de MFs é o output

Tmd = Array [0..3] of Real; // Valor fuzzy das variáveis de entrada (dimensionar pela maior entre as fases dos reatores 1 e 2) - 3 graus de pertinência das MFs trapezoidais

Tru = Array [0..3,0..3,0..2] of Integer; // Grade de regras (dimensionar pela maior entre as fases dos reatores 1 e 2) - [3 MF variável de entrada dprk, 3 MF variável de entrada dprk1,2 MF variável de entrada pr]

var

ULstat:Integer; // Estado da leitura do sensor

Par:Array[0..7] of Real; // Leituras médias dos canais

a:Array[0..7] of Real; // Coef da calibração linear (canais 0 - 7)

b:Array[0..7] of Real; // Coef da calibração linear (canais 0 - 7)

Tmp_inicon:TDateTime; // Hora do inicio da conexão

IntervalDesejadoTimer:Cardinal; // Intervalo desejado do timer; em milisegundo

Tmp_atudsc:Cardinal; // Duração entre atualização do disco p/ sensores

IntervalDesejadoDecis1:Cardinal; // Na mesma unidade do Tmp_atudsc,ie, se Tmp_atudsc=1 min o intervalo será de 5 min (se IntervalDesejadoDecis=5), no reator 1

IntervalDesejadoDecis2:Cardinal; // Na mesma unidade do Tmp_atudsc,ie, se Tmp_atudsc=1 min o intervalo será de 5 min (se IntervalDesejadoDecis=5), no reator 2

Noev:Array[0..2] of Integer; // Numero de eventos no ciclo. Até 2 reatores

Dur:Array[0..2,0..20] of Cardinal; // Durações dos eventos - Arq Configuração. Até 2 reatores e 20 eventos

Ba,Be,BI,Vsa,Vsm,Vsb,Mis,Bs:Array[0..2,0..20] of Word; // Status dos eventos. Até 2 reatores e 20 eventos

Spsq:Array [0..2,0..20] of String; // Tipo de pesquisa no evento. Até 2 reatores e 20 eventos

Tmp_duracps:Array [0..2,0..20] of Cardinal; // Duração acumulada prevista, em minutos. Até 2 reatores e 20 eventos

Tmp_duracpt:Array [0..2,0..20] of Cardinal; // Duração acumulada prevista , variável temporária, em minutos. Até 2 reatores e 20 eventos

Tmp_durrcics:Array [0..2] of Cardinal; // Duração já realizada no ciclo, em minutos. Até 2 reatores

Nciclo:Array [0..2] of Integer; // Número de ciclos nos reatores 1 e 2. Até 2 reatores

Seteve:Array [0..2,0..20] of Word; //Estado dos relês durante o evento previsto. Até 2 reatores e 20 eventos

Setant:Word; // Estado final dos relês, em t-1

Arqstcic:TextFile; // Chamada do arquivo estado do ciclo - Statcic.TXT
 Tmp_sduccics_def:Array [0..2] of String; // Duração ja realizada no ciclo(minutos) qdo da faltar energia. Até 2 reatores
 Snciclo_def:Array [0..2] of String; // Número de ciclos ja realizados qdo da falta de energia. Até 2 reatores
 Evento:Array [0..2] of Integer; // Número do evento em cada reator, em t
 Evento_ant:Array [0..2] of Integer; // Número do evento em cada reator, em t-1. Até 2 reatores
 Flg_inicon:Integer; // Flag para inicio de conexão
 Flg_prim_dec: Array [0..2] of Integer; // Flag p/ primeira inferência. Assume 1 até a primeira inferência ser realizada,ie, após 3 intervalos de tempo
 Ph_brt,Red_brt,Od_brt,Temp_brt: Array [0..2,0..2] of Real; // Parâmetro bruto [reator,tempo] p/ inferência. Até 2 reatores e 3 pontos (t0,t1 e t2)
 Ph_fil,Red_fil,Od_fil,Temp_fil: Array [0..2,0..2] of Real; // Parâmetro filtrado e arredondado [reator,tempo] p/ inferência. Até 2 reatores e 3 pontos (t0,t1 e t2)
 Ph,Red,Od,Temp: Array [0..2,0..2] of Real; // Parâmetro filtrado e arredondado [reator,tempo] p/ inferência. Até 2 reatores e 3 pontos (t0,t1 e t2)
 Dec_ph_man: Array [0..2] of Integer; // Guarda o achado do ph_man durante o evento anaeróbio, (0) indica que não achou ainda, e (1) indica que achou
 Dec_ph_min: Array [0..2] of Integer; // Guarda o achado do ph_min durante o evento aeróbio, (0) indica que não achou ainda, e (1) indica que achou
 Dec_ph_cte: Array [0..2] of Integer; // Guarda o achado do ph_cte durante o evento aeróbio, (0) indica que não achou ainda, e (1) indica que achou
 Dec_ph_max: Array [0..2] of Integer; // Guarda o achado do ph_max durante o evento aeróbio, (0) indica que não achou ainda, e (1) indica que achou
 Dec_red_jxa: Array [0..2] of Integer; // Guarda o achado do red_jxa (primeiro ponto-jelho) durante o evento anóxico, (0) indica que não achou ainda, e (1) indica que achou
 Dec_red_jxb: Array [0..2] of Integer; // Guarda o achado do red_jxb (segundo ponto-jelho) durante o evento anóxico, (0) indica que não achou ainda, e (1) indica que achou
 Cnt_adc_ana_r1,Cnt_adc_ana_r2:Integer; //Contador para adicionar uma dada duração após a detecção do ponto ph_man, durante o evento anaeróbio
 Cnt_adc_aer_r1,Cnt_adc_aer_r2:Integer; //Contador para adicionar uma dada duração após a detecção do ponto ph_max, durante o evento aeróbio

```

Cnt_adc_anx_r1,Cnt_adc_anx_r2:Integer; //Contador para adicionar uma dada duração após a detecção do ponto red_jxb, durante o evento
anóxico
Cont_eix1,Cont_eix2:Integer; // Contador das séries gráficas
//----- Sitema de controle fuzzy - Fase anaeróbia - Reator 1
n_dphk_ana_r1:Integer; // Número de mf no dph(k) - fase anaeróbia - reator 1
mf_dphk_ana_r1:Tmf;// Membership function da variável de entrada dph(k) - fase anaeróbia - reator 1
n_dphk1_ana_r1:Integer; // Número de mf no dph(k-1) - fase anaeróbia - reator 1
mf_dphk1_ana_r1:Tmf;// Membership function da variável de entrada dph(k-1) - fase anaeróbia - reator 1
n_phk_ana_r1:Integer; // Número de mf no pH - fase anaeróbia - reator 1
mf_phk_ana_r1:Tmf;// Membership function da variável de entrada pH - fase anaeróbia - reator 1
n_output_ana_r1:Integer; // Número de mf na variável de saída output - fase anaeróbia - reator 1
mf_output_ana_r1:Tmf;// Membership function da variável de saída - fase anaeróbia - reator 1
n_ru_ana_r1:Integer; // número de regras - fase anaeróbia - reator 1
ru_ana_r1:Tru; // Grade de regras - fase anaeróbia - reator 1
//----- Sitema de controle fuzzy - Fase aeróbia - Reator 1
n_dphk_aer_r1:Integer; // Número de mf no dph(k) - fase aeróbia - reator 1
mf_dphk_aer_r1:Tmf;// Membership function da variável de entrada dph(k) - fase aeróbia - reator 1
n_dphk1_aer_r1:Integer; // Número de mf no dph(k-1) - fase aeróbia - reator 1
mf_dphk1_aer_r1:Tmf;// Membership function da variável de entrada dph(k-1) - fase aeróbia - reator 1
n_phk_aer_r1:Integer; // Número de mf no pH - fase aeróbia - reator 1
mf_phk_aer_r1:Tmf;// Membership function da variável de entrada pH - fase aeróbia - reator 1
n_output_aer_r1:Integer; // Número de mf na variável de saída output - fase aeróbia - reator 1
mf_output_aer_r1:Tmf;// Membership function da variável de saída - fase aeróbia - reator 1
n_ru_aer_r1:Integer; // número de regras - fase aeróbia - reator 1
ru_aer_r1:Tru; // Grade de regras - fase aeróbia - reator 1
//----- Sitema de controle fuzzy - Fase anóxica - Reator 1
n_dredk_anx_r1:Integer; // Número de mf no dred(k) - fase anóxica - reator 1
mf_dredk_anx_r1:Tmf;// Membership function da variável de entrada dred(k) - fase anóxica - reator 1
n_dredk1_anx_r1:Integer; // Número de mf no dred(k-1) - fase anóxica - reator 1
mf_dredk1_anx_r1:Tmf;// Membership function da variável de entrada dred(k-1) - fase anóxica - reator 1

```

```

n_odk_anx_r1:Integer; // Número de mf no od - fase anóxica - reator 1
mf_odk_anx_r1:Tmf; // Membership function da variável de entrada od - fase anóxica - reator 1
n_output_anx_r1:Integer; // Número de mf na variável de saída output - fase anóxica - reator 1
mf_output_anx_r1:Tmf; // Membership function da variável de saída - fase anóxica - reator 1
n_ru_anx_r1:Integer; // número de regras - fase anóxica - reator 1
ru_anx_r1:Tru; // Grade de regras - fase anóxica - reator 1
//----- Sitema de controle fuzzy - Fase anaeróbia - Reator 2
n_dphk_ana_r2:Integer; // Número de mf no dph(k) - fase anaeróbia - reator 2
mf_dphk_ana_r2:Tmf; // Membership function da variável de entrada dph(k) - fase anaeróbia - reator 2
n_dphk1_ana_r2:Integer; // Número de mf no dph(k-1) - fase anaeróbia - reator 2
mf_dphk1_ana_r2:Tmf; // Membership function da variável de entrada dph(k-1) - fase anaeróbia - reator 2
n_phk_ana_r2:Integer; // Número de mf no pH - fase anaeróbia - reator 2
mf_phk_ana_r2:Tmf; // Membership function da variável de entrada pH - fase anaeróbia - reator 2
n_output_ana_r2:Integer; // Número de mf na variável de saída output - fase anaeróbia - reator 2
mf_output_ana_r2:Tmf; // Membership function da variável de saída - fase anaeróbia - reator 2
n_ru_ana_r2:Integer; // número de regras - fase anaeróbia - reator 2
ru_ana_r2:Tru; // Grade de regras - fase anaeróbia - reator 2
//----- Sitema de controle fuzzy - Fase aeróbia - Reator 2
n_dphk_aer_r2:Integer; // Número de mf no dph(k) - fase aeróbia - reator 2
mf_dphk_aer_r2:Tmf; // Membership function da variável de entrada dph(k) - fase aeróbia - reator 2
n_dphk1_aer_r2:Integer; // Número de mf no dph(k-1) - fase aeróbia - reator 2
mf_dphk1_aer_r2:Tmf; // Membership function da variável de entrada dph(k-1) - fase aeróbia - reator 2
n_phk_aer_r2:Integer; // Número de mf no pH - fase aeróbia - reator 2
mf_phk_aer_r2:Tmf; // Membership function da variável de entrada pH - fase aeróbia - reator 2
n_output_aer_r2:Integer; // Número de mf na variável de saída output - fase aeróbia - reator 2
mf_output_aer_r2:Tmf; // Membership function da variável de saída - fase aeróbia - reator 2
n_ru_aer_r2:Integer; // número de regras - fase aeróbia - reator 2
ru_aer_r2:Tru; // Grade de regras - fase aeróbia - reator 2
//----- Sitema de controle fuzzy - Fase anóxica - Reator 2
n_dredk_anx_r2:Integer; // Número de mf no dred(k) - fase anóxica - reator 2

```

```

mf_dredk_anx_r2:Tmf;// Membership function da variável de entrada dred(k) - fase anóxica - reator 2
n_dredk1_anx_r2:Integer; // Número de mf no dred(k-1) - fase anóxica - reator 2
mf_dredk1_anx_r2:Tmf;// Membership function da variável de entrada dred(k-1) - fase anóxica - reator 2
n_odk_anx_r2:Integer; // Número de mf no od - fase anóxica - reator 2
mf_odk_anx_r2:Tmf;// Membership function da variável de entrada od - fase anóxica - reator 2
n_output_anx_r2:Integer; // Número de mf na variável de saída output - fase anóxica - reator 2
mf_output_anx_r2:Tmf;// Membership function da variável de saída - fase anóxica - reator 2
n_ru_anx_r2:Integer; // número de regras - fase anóxica - reator 2
ru_anx_r2:Tru; // Grade de regras - fase anóxica - reator 2
//-----

const
  PlacaNum:Integer = 1; // Endereço da placa Analógica
  Faixa:Integer = UNI10VOLTS; // 0 a 10 Volts
  Adc_ana_r1 = 1; // Quantidade de duração adicional (em IntervalDesejadoDecis1) - 1, após a detecção do último ponto notável na fase anaeróbia. Se igual a 1, não adiciona intervalo de tempo.
  Adc_ana_r2 = 1; // Quantidade de duração adicional (em IntervalDesejadoDecis2) - 1, após a detecção do último ponto notável na fase anaeróbia. Se igual a 1, não adiciona intervalo de tempo.
  Adc_aer_r1 = 1; // Quantidade de duração adicional (em IntervalDesejadoDecis1) - 1, após a detecção do último ponto notável na fase aeróbia. Se igual a 1, não adiciona intervalo de tempo.
  Adc_aer_r2 = 1; // Quantidade de duração adicional (em IntervalDesejadoDecis2) - 1, após a detecção do último ponto notável na fase aeróbia. Se igual a 1, não adiciona intervalo de tempo.
  Adc_anx_r1 = 1; // Quantidade de duração adicional (em IntervalDesejadoDecis1) - 1, após a detecção do último ponto notável na fase anóxica. Se igual a 1, não adiciona intervalo de tempo.
  Adc_anx_r2 = 1; // Quantidade de duração adicional (em IntervalDesejadoDecis2) - 1, após a detecção do último ponto notável na fase anóxica. Se igual a 1, não adiciona intervalo de tempo.

//=====
//=====
//

```

```

// Rotina para leitura dos arquivos membership function das variáveis de entrada e saída, reatores 1 e 2
// Sistema de controle fuzzy
//
//=====
//=====
procedure Ler_mf_io(nome_mf_io:String;var n_mf_io:Integer;var mf_io:Tmf);
//Leitura do arquivo membership function das variáveis de entrada e saída
//Resulta n_mf_io e mf_io [1 a n_mf_io , 1 a 4]
//formato da linha +x.xxx$$$+x.xxx$$$+x.xxx$$$+x.xxx
var
arq_mf:TextFile;
k:Integer; // Contador
linha:String; // Auxiliar para Leitura
begin
AssignFile(arq_mf,nome_mf_io);
Reset(arq_mf);
Readln(arq_mf,linha);
n_mf_io:=StrToInt(linha);
  For k:=1 to n_mf_io do
    begin
      Readln(arq_mf,linha);
      mf_io[k,1]:=StrToFloat(Copy(linha,1,9));
      mf_io[k,2]:=StrToFloat(Copy(linha,10,9));
      mf_io[k,3]:=StrToFloat(Copy(linha,19,9));
      mf_io[k,4]:=StrToFloat(Copy(linha,28,9));
    end;
end;

//=====

```



```

//=====
//
// Rotina para leitura dos arquivos de regras, reatores 1 e 2
// Sistema de controle fuzzy
//
//=====
//=====
procedure Ler_ru(nome_ru:String;n_dprk_v1:Integer;n_dprk1_v2:Integer;n_pr_v3:Integer;var n_ru:Integer;var ru:Tru);
// Leitura do arquivos de regras
// Resulta n_ru e ru[1 a n_dprk_v1 , 1 a n_dprk1_v2 , 1 a n_pr_v3]
// Formato da linha NE$$$NE$$$SM$$$NA$$$3
// nome_ru - Nome do arquivo de regras
// n_dprk_v1 - Número de MFs da primeira variável
// n_dprk1_v2 - Número de MFs da segunda variável
// n_pr_v3 - Número de MFs da terceira variável
// n_ru - Número de regras, para a grade completa é igual a n_dprk_v1 * n_dprk1_v2 * n_pr_v3
// ru - Matriz das regras
var
arq_ru:TextFile;
k,j,i:Integer; // Contadores
linha:String; // Auxiliar para Leitura
begin
AssignFile(arq_ru,nome_ru);
Reset(arq_ru);
Readln(arq_ru,linha);
n_ru:=StrToInt(linha);
  For k:=1 to n_dprk_v1 do
  begin
    For j:=1 to n_dprk1_v2 do
    begin

```

```
For i:=1 to n_pr_v3 do
begin
Readln(arq_ru,linha);
rul[k,j,i]:=StrToInt(Copy(linha,21,3));
end;
end;
end;
end;
```

```
//=====
//=====
//
// Pré-inicialização do Formulário FrmAutoma
//
//=====
//=====
constructor TFrmAutoma.Create( AOwner : TComponent );
begin
inherited Create( AOwner );
FNextTimerEventTime := Now;
end;
```

```
//=====
//=====
//
// Inicialização do Formulário FrmAutoma
//
//=====
```

```

//=====
procedure TFrmAutoma.FormCreate(Sender: TObject);
var
  ErrHandling:Integer; // Argumento no tratamento de erros
  ErrReporting:Integer; // Argumento no tratamento de erros
  RevLevel:Single; // Argumento do nível da revisão
  Arqcal,Arq_Conf1,Arq_Conf2,Arqbug:TextFile; // Chamada de arquivos(Calibração/Configuração/Bugs)
  Mens,Mens1:String; // Auxiliares de leitura dos arquivos
  Sa,Sb:String; // Coeficientes da calibração linear - Leitura de arquivo
  i,j,k,cd:Integer; // Controle de loop e Val
  SintervalDesejadoTimer,Tmp_satudsc,SintervalDesejadoDecis1,Snoev,Sdur,Sba,Sbe,Sbl,Svsa,Svsm,Svsb,Smis,Sbs:String; // Auxiliares para
leitura de arquivos
  Setba,Setbe,Setbl,Setvsa,Setvsm,Setvsb,Setmis,Setbs:Array [0..2,0..20] of Word; // Estado dos relês em cada evento. Até 2 reatores e 20
eventos
  Sdata_def:String; // Data da última gravação no arquivo Statcic.txt, antes de faltar energia
  Sevento_def:Array [0..2] of String; // Evento qdo da falta de energia

begin

  //-----
  // Declaração da Revisão da Placa de Aquisição Analógica - PCI-DAS 1200 Jr
  // Declaração do nível da revisão - Entrada analógica
  RevLevel:=CURRENTREVNUM;
  ULstat:=cbDeclareRevision(RevLevel);
  // Ajuste interno para o disparo dos erro na biblioteca - Entrada analógica
  ErrReporting:=PRINTALL; // Set Universal Library to print all errors
  ErrHandling:=STOPALL; // Set Universal Library to stop on errors
  ULstat:=cbErrHandling(ErrReporting,ErrHandling); }

  //-----

```

```

AssignFile(Arqcal,'Cal.TXT'); // Leitura do Arquivo da Calibração
Reset(Arqcal);
  For j:=0 to 7 do
  begin
    For i:=1 to 6 do
    begin
      Readln(Arqcal,mens);// Posiciona ponteiro
    end;
    Readln(Arqcal,Mens1);
    Sa:=copy(Mens1,1,20);
    Sb:=copy(Mens1,21,20);
    Val(Sa,a[j],cd);
    Val(Sb,b[j],cd);
  end;
CloseFile(Arqcal);

//-----
// Leitura do Arquivo de Configuração do Reator 1
// [1] [Noev] Índice 1 corresponde ao reator 1, Noev é o número do evento
AssignFile(Arq_Conf1, 'Confr1.Txt');
Reset(Arq_Conf1);
Readln(Arq_Conf1,Mens);
Readln(Arq_Conf1,Mens);
Readln(Arq_Conf1,Mens1);
SintervalDesejadoTimer:=copy(Mens1,1,3);
Val(SintervalDesejadoTimer,IntervalDesejadoTimer,cd);
IntervalDesejadoTimer:=IntervalDesejadoTimer*1000; // Em milisegundos
TmrPrincipal.Interval := IntervalDesejadoTimer;
Readln(Arq_Conf1,Mens);
Readln(Arq_Conf1,Mens1);

```

```

Tmp_satudsc:=copy(Mens1,1,3);
Val(Tmp_satudsc,Tmp_atudsc,cd);
Readln(Arq_Conf1,Mens);
Readln(Arq_Conf1,Mens1);
SintervalDesejadoDecis1:=copy(Mens1,1,3);
Val(SintervalDesejadoDecis1,IntervalDesejadoDecis1,cd);
IntervalDesejadoDecis2:=IntervalDesejadoDecis1;
Readln(Arq_Conf1,Mens);
Readln(Arq_Conf1,Mens1);
Snoev:=copy(Mens1,1,10);
Val(Snoev,Noev[1],cd);
  For j:=1 to Noev[1] do
  begin
    Readln(Arq_Conf1,Mens);
    Readln(Arq_Conf1,Mens);
    Readln(Arq_Conf1,Mens1);
    Sdur:=copy(Mens1,1,7);
    Sba:=copy(Mens1,8,4);
    Sbe:=copy(Mens1,12,4);
    Sbl:=copy(Mens1,16,4);
    Svsa:=copy(Mens1,20,4);
    Svsm:=copy(Mens1,24,4);
    Svsb:=copy(Mens1,28,4);
    Smis:=copy(Mens1,32,4);
    Sbs:=copy(Mens1,36,4);
    Spsq[1,j]:=copy(Mens1,40,4);
    Val(Sdur,Dur[1,j],cd); // Em minutos
    Val(Sba,Ba[1,j],cd); // Relê 0 = 1
    Val(Sbe,Be[1,j],cd); // Relê 1 = 2
    Val(Sbl,BI[1,j],cd); // Relê 2 = 4
  end

```

```

Val(Svsa,Vsa[1,j],cd); // Relê 3 = 8
Val(Svsm,Vsm[1,j],cd); // Relê 4 = 16
Val(Svsb,Vsb[1,j],cd); // Relê 5 = 32
Val(Smis,Mis[1,j],cd); // Relê 6 = 64
Val(Sbs,Bs[1,j],cd); // Relê 7 = 128
end;
CloseFile(Arq_Conf1);

//-----
// Formação do Status dos relês para os eventos no Reator 1
// [1] [Noev] Índice 1 corresponde ao reator 1, Noev é o número do evento
// Valor Set:0-desativa todos os relês, 1-relê 0, 2-relê 1, 4-relê 2, 8-relê 3,
// 16-relê 4, 32-relê 5, 64-relê 6, 128-relê 7, 256-relê 8, 512-relê 9,
// 1024-relê 10, 2048-relê 11, 4096-relê 12, 8192-relê 13, 16384-relê 14,
// 32768-relê 15
// a)Para ativar um dado relê, atribua um valor a Set.
// b)No caso de ativar mais de um relê, Set é a soma dos endereços.
// c)Para desativar um dado relê, subtraia o valor correspondente do Set atual.
  For j:=1 to Noev[1] do
    begin
      Setba[1,j]:=0;
      Setbe[1,j]:=0;
      Setbl[1,j]:=0;
      Setvsa[1,j]:=0;
      Setvsm[1,j]:=0;
      Setvsb[1,j]:=0;
      Setmis[1,j]:=0;
      Setbs[1,j]:=0;
      If (Ba[1,j]=1) then Setba[1,j]:=1; // BA1 - N° Caixa de relês 0
      If (Be[1,j]=1) then Setbe[1,j]:=2; // BE1 - N° Caixa de relês 1
    end;
  end;

```

```

If (Bl[1,j]=1) then Setbl[1,j]:=4; // BL1 - N° Caixa de relês 2
If (Vsa[1,j]=1) then Setvsa[1,j]:=8; // VSA1 - N° Caixa de relês 3
If (Vsm[1,j]=1) then Setvsm[1,j]:=16; // VSM1 - N° Caixa de relês 4
If (Vsb[1,j]=1) then Setvsb[1,j]:=32; // VSB1 - N° Caixa de relês 5
If (Mis[1,j]=1) then Setmis[1,j]:=64; // MIS1 - N° Caixa de relês 6
If (Bs[1,j]=1) then Setbs[1,j]:=128; // BS1 - N° Caixa de relês 7
Seteve[1,j]:=Setba[1,j]+Setbe[1,j]+Setbl[1,j]+Setvsa[1,j]+Setvsm[1,j]+Setvsb[1,j]+Setmis[1,j]+Setbs[1,j];
end;

```

```
//-----
```

```
// Duração acumulada prevista no reator 1 (em minutos)
```

```
Tmp_duracps[1,0]:=0;
```

```
For j:=1 to Noev[1] do
```

```
begin
```

```
  Tmp_duracps[1,j]:=Tmp_duracps[1,j-1] + dur[1,j];
```

```
end;
```

```
//-----
```

```
// Leituras das MFs das entradas, saída e das regras - Fase anaeróbia - Reator 1 - Sistema de controle fuzzy
```

```
Ler_mf_io('mf_dphk_ana_r1.txt',n_dphk_ana_r1,mf_dphk_ana_r1);
```

```
Ler_mf_io('mf_dphk1_ana_r1.txt',n_dphk1_ana_r1,mf_dphk1_ana_r1);
```

```
Ler_mf_io('mf_ph_ana_r1.txt',n_phk_ana_r1,mf_phk_ana_r1);
```

```
Ler_mf_io('mf_output_ana_r1.txt',n_output_ana_r1,mf_output_ana_r1);
```

```
Ler_ru('ru_ana_r1.txt',n_dphk_ana_r1,n_dphk1_ana_r1,n_phk_ana_r1,n_ru_ana_r1,ru_ana_r1);
```

```
//-----
```

```
// Leituras das MFs das entradas, saída e das regras - Fase aeróbia - Reator 1 - Sistema de controle fuzzy
```

```
Ler_mf_io('mf_dphk_aer_r1.txt',n_dphk_aer_r1,mf_dphk_aer_r1);
```

```
Ler_mf_io('mf_dphk1_aer_r1.txt',n_dphk1_aer_r1,mf_dphk1_aer_r1);
```

```
Ler_mf_io('mf_ph_aer_r1.txt',n_phk_aer_r1,mf_phk_aer_r1);
```

```

Ler_mf_io('mf_output_aer_r1.txt',n_output_aer_r1,mf_output_aer_r1);
Ler_ru('ru_aer_r1.txt',n_dphk_aer_r1,n_dphk1_aer_r1,n_phk_aer_r1,n_ru_aer_r1,ru_aer_r1);

//-----
// Leituras das MFs das entradas, saída e das regras - Fase anóxica - Reator 1 - Sistema de controle fuzzy
Ler_mf_io('mf_dredk_anx_r1.txt',n_dredk_anx_r1,mf_dredk_anx_r1);
Ler_mf_io('mf_dredk1_anx_r1.txt',n_dredk1_anx_r1,mf_dredk1_anx_r1);
Ler_mf_io('mf_od_anx_r1.txt',n_odk_anx_r1,mf_odk_anx_r1);
Ler_mf_io('mf_output_anx_r1.txt',n_output_anx_r1,mf_output_anx_r1);
Ler_ru('ru_anx_r1.txt',n_dredk_anx_r1,n_dredk1_anx_r1,n_odk_anx_r1,n_ru_anx_r1,ru_anx_r1);

//-----
// Leitura do Arquivo de Configuração do Reator 2
// [2] [Noev] Índice 2 corresponde ao reator 2, Noev é o número do evento
AssignFile(Arq_Conf2, 'Confr2.Txt');
Reset(Arq_Conf2);
Readln(Arq_Conf2,Mens);
Readln(Arq_Conf2,Mens);
Readln(Arq_Conf2,Mens1);
Snoev:=copy(Mens1,1,10);
Val(Snoev,Noev[2],cd);
  For k:=1 to Noev[2] do
  begin
    Readln(Arq_Conf2,Mens);
    Readln(Arq_Conf2,Mens);
    Readln(Arq_Conf2,Mens1);
    Sdur:=copy(Mens1,1,7);
    Sba:=copy(Mens1,8,4);
    Sbe:=copy(Mens1,12,4);
    Sbl:=copy(Mens1,16,4);
  end

```



```

Svsa:=copy(Mens1,20,4);
Svsm:=copy(Mens1,24,4);
Svsb:=copy(Mens1,28,4);
Smis:=copy(Mens1,32,4);
Sbs:=copy(Mens1,36,4);
Spsq[2,k]:=copy(Mens1,40,4);
Val(Sdur,Dur[2,k],cd); // Em minutos
Val(Sba,Ba[2,k],cd); // Relê 8 = 256
Val(Sbe,Be[2,k],cd); // Relê 9 = 512
Val(Sbl,Bl[2,k],cd); // Relê 10 = 1024
Val(Svsa,Vsa[2,k],cd); // Relê 11 = 2048
Val(Svsm,Vsm[2,k],cd); // Relê 12 = 4096
Val(Svsb,Vsb[2,k],cd); // Relê 13 = 8192
Val(Smis,Mis[2,k],cd); // Relê 14 = 16384
Val(Sbs,Bs[2,k],cd); // Relê 15 = 32768
end;
CloseFile(Arq_Conf2);

//-----
// Formação do Status dos relês para os eventos no Reator 2
// [2] [Noev] Índice 2 corresponde ao reator 2, Noev é o número do evento
For j:=1 to Noev[2] do
  begin
    Setba[2,j]:=0;
    Setbe[2,j]:=0;
    Setbl[2,j]:=0;
    Setvsa[2,j]:=0;
    Setvsm[2,j]:=0;
    Setvsb[2,j]:=0;
    Setmis[2,j]:=0;
  end;
end;

```

```

Setbs[2,j]:=0;
If (Ba[2,j]=1) then Setba[2,j]:=256; // BA2 - N° Caixa de relês 8
If (Be[2,j]=1) then Setbe[2,j]:=512; // BE2 - N° Caixa de relês 9
If (Bl[2,j]=1) then Setbl[2,j]:=1024; // BL2 - N° Caixa de relês 10
If (Vsa[2,j]=1) then Setvsa[2,j]:=2048; // VSA2 - N° Caixa de relês 11
If (Vsm[2,j]=1) then Setvsm[2,j]:=4096; // VSM2 - N° Caixa de relês 12
If (Vsb[2,j]=1) then Setvsb[2,j]:=8192; // VSB2 - N° Caixa de relês 13
If (Mis[2,j]=1) then Setmis[2,j]:=16384; // MIS2 - N° Caixa de relês 14
If (Bs[2,j]=1) then Setbs[2,j]:=32768; // BS2 - N° Caixa de relês 15
Seteve[2,j]:=Setba[2,j]+Setbe[2,j]+Setbl[2,j]+Setvsa[2,j]+Setvsm[2,j]+Setvsb[2,j]+Setmis[2,j]+Setbs[2,j];
end;

```

```
//-----
```

```
// Duração acumulada prevista no reator 2 (em minutos)
```

```

Tmp_duracps[2,0]:=0;
  For j:=1 to Noev[2] do
    begin
      Tmp_duracps[2,j]:=Tmp_duracps[2,j-1] + dur[2,j];
    end;

```

```
//-----
```

```
// Leituras das MFs das entradas, saída e das regras - Fase anaeróbia - Reator 2 - Sistema de controle fuzzy
```

```

Ler_mf_io('mf_dphk_ana_r2.txt',n_dphk_ana_r2,mf_dphk_ana_r2);
Ler_mf_io('mf_dphk1_ana_r2.txt',n_dphk1_ana_r2,mf_dphk1_ana_r2);
Ler_mf_io('mf_ph_ana_r2.txt',n_phk_ana_r2,mf_phk_ana_r2);
Ler_mf_io('mf_output_ana_r2.txt',n_output_ana_r2,mf_output_ana_r2);
Ler_ru('ru_ana_r2.txt',n_dphk_ana_r2,n_dphk1_ana_r2,n_phk_ana_r2,n_ru_ana_r2,ru_ana_r2);

```

```
//-----
```

```
// Leituras das MFs das entradas, saída e das regras - Fase aeróbia - Reator 2 - Sistema de controle fuzzy
```

```

Ler_mf_io('mf_dphk_aer_r2.txt',n_dphk_aer_r2,mf_dphk_aer_r2);
Ler_mf_io('mf_dphk1_aer_r2.txt',n_dphk1_aer_r2,mf_dphk1_aer_r2);
Ler_mf_io('mf_ph_aer_r2.txt',n_phk_aer_r2,mf_phk_aer_r2);
Ler_mf_io('mf_output_aer_r2.txt',n_output_aer_r2,mf_output_aer_r2);
Ler_ru('ru_aer_r2.txt',n_dphk_aer_r2,n_dphk1_aer_r2,n_phk_aer_r2,n_ru_aer_r2,ru_aer_r2);

//-----
// Leituras das MFs das entradas, saída e das regras - Fase anóxica - Reator 2 - Sistema de controle fuzzy
Ler_mf_io('mf_dredk_anx_r2.txt',n_dredk_anx_r2,mf_dredk_anx_r2);
Ler_mf_io('mf_dredk1_anx_r2.txt',n_dredk1_anx_r2,mf_dredk1_anx_r2);
Ler_mf_io('mf_od_anx_r2.txt',n_odk_anx_r2,mf_odk_anx_r2);
Ler_mf_io('mf_output_anx_r2.txt',n_output_anx_r2,mf_output_anx_r2);
Ler_ru('ru_anx_r2.txt',n_dredk_anx_r2,n_dredk1_anx_r2,n_odk_anx_r2,n_ru_anx_r2,ru_anx_r2);

//-----
// Inicializa as variáveis
Tmp_inicon:=Now;
FContGrava:=0;
FContCics[1]:=0;
FContCics[2]:=0;
FContDec[1]:=0;
FContDec[2]:=0;
Flg_inicon:=1;
Flg_prim_dec[1]:=1;
Flg_prim_dec[2]:=1;
Cont_eix1:= 0;
Cont_eix2:= 0;
FcontGraf1:=0;
FcontGraf2:=0;

```

```

//-----
// Gravação do histórico dos bugs e inicialização do número de ciclos
// Este arquivo deve ser limpo manualmente, pois uma vez criado manualmente
// sofre atualização com a falta de energia
  If (Sitener[1]='ON_DEF') or (Sitener[2]='ON_DEF') then
  begin // Caso de falta de energia
  AssignFile(Arqstcic,'Statcic.TXT'); // Leitura do arquivo de status do ciclo
  Reset(Arqstcic);
  Readln(Arqstcic,Mens1);
  Sdata_def:=Copy(Mens1,1,18);
  Readln(Arqstcic,Mens1);
  Tmp_sdurrcics_def[1]:=Copy(Mens1,1,6);
  Snciclo_def[1]:=Copy(Mens1,7,6);
  Sevento_def[1]:=Copy(Mens1,13,6);
  Readln(Arqstcic,Mens1);
  Dec_ph_man[1]:=StrToInt(Copy(Mens1,1,6));
  Cnt_adc_ana_r1:=StrToInt(Copy(Mens1,7,6));
  Readln(Arqstcic,Mens1);
  Dec_ph_min[1]:=StrToInt(Copy(Mens1,1,6));
  Dec_ph_cte[1]:=StrToInt(Copy(Mens1,7,6));
  Dec_ph_max[1]:=StrToInt(Copy(Mens1,13,6));
  Cnt_adc_aer_r1:=StrToInt(Copy(Mens1,19,6));
  Readln(Arqstcic,Mens1);
  Dec_red_jxa[1]:=StrToInt(Copy(Mens1,1,6));
  Dec_red_jxb[1]:=StrToInt(Copy(Mens1,7,6));
  Cnt_adc_anx_r1:=StrToInt(Copy(Mens1,13,6));
  For i:=0 to Noev[1] do
  begin
  Readln(Arqstcic,Mens1);
  Tmp_duracpt[1,i]:=StrToInt(Copy(Mens1,1,6));

```

```

    end;
    Readln(Arqstcic,Mens1);
    Tmp_sdurreics_def[2]:=Copy(Mens1,1,6);
    Snciclo_def[2]:=Copy(Mens1,7,6);
    Sevento_def[2]:=Copy(Mens1,13,6);
    Readln(Arqstcic,Mens1);
    Dec_ph_man[2]:=StrToInt(Copy(Mens1,1,6));
    Cnt_adc_ana_r2:=StrToInt(Copy(Mens1,7,6));
    Readln(Arqstcic,Mens1);
    Dec_ph_min[2]:=StrToInt(Copy(Mens1,1,6));
    Dec_ph_cte[2]:=StrToInt(Copy(Mens1,7,6));
    Dec_ph_max[2]:=StrToInt(Copy(Mens1,13,6));
    Cnt_adc_aer_r2:=StrToInt(Copy(Mens1,19,6));
    Readln(Arqstcic,Mens1);
    Dec_red_jxa[2]:=StrToInt(Copy(Mens1,1,6));
    Dec_red_jxb[2]:=StrToInt(Copy(Mens1,7,6));
    Cnt_adc_anx_r2:=StrToInt(Copy(Mens1,13,6));
    For i:=0 to Noev[2] do
    begin
        Readln(Arqstcic,Mens1);
        Tmp_duracpt[2,i]:=StrToInt(Copy(Mens1,1,6));
    end;
    CloseFile(Arqstcic);
    Label22.Caption:=Tmp_sdurreics_def[1]; // Visualização do status do ciclo
    Label23.Caption:=Tmp_sdurreics_def[2];
    Label33.Caption:=Snciclo_def[1];
    Label34.Caption:=Snciclo_def[2];
    Label48.Caption:=IntToStr(Dec_ph_man[1]);
    Label49.Caption:=IntToStr(Dec_ph_man[2]);
    Label51.Caption:=IntToStr(Dec_ph_min[1])+ ' '+IntToStr(Dec_ph_cte[1])+ ' '+IntToStr(Dec_ph_max[1]);

```

```

Label52.Caption:=IntToStr(Dec_ph_min[2])+ ' '+IntToStr(Dec_ph_cte[2])+ ' '+IntToStr(Dec_ph_max[2]);
Label54.Caption:=IntToStr(Dec_red_jxa[1])+ ' '+IntToStr(Dec_red_jxb[1]);
Label55.Caption:=IntToStr(Dec_red_jxa[2])+ ' '+IntToStr(Dec_red_jxb[2]);
AssignFile(Arqbug,'Bug.TXT'); // Escrita do arquivo notificador da falta de energia
Append(Arqbug);
Writeln(Arqbug,'Falta de energia - Início // Retorno');
Writeln(Arqbug,format('%19s',[Sdata_def]));
Writeln(Arqbug,format('%19s',[DateTimeToStr(Tmp_inicon)]));
Writeln(Arqbug,'Duração do ciclo no reator 1 (min) : '+Tmp_sdurrcics_def[1]);
Writeln(Arqbug,'Duração do ciclo no reator 2 (min) : '+Tmp_sdurrcics_def[2]);
Writeln(Arqbug,'Nº de ciclos acumulados no reator 1: '+Snciclo_def[1]);
Writeln(Arqbug,'Nº de ciclos acumulados no reator 2: '+Snciclo_def[2]);
Writeln(Arqbug,'=====');
CloseFile(Arqbug);
Nciclo[1]:=StrToInt(Snciclo_def[1]); // Inicializa o nº de ciclos acumulados qdo falta energia
Nciclo[2]:=StrToInt(Snciclo_def[2]);
Evento_ant[1]:=StrToInt(Sevento_def[1]); // Inicializa o evento anterior qdo falta energia
Evento_ant[2]:=StrToInt(Sevento_def[2]);
Evento[1] := StrToInt(Sevento_def[1]);
Evento[2] := StrToInt(Sevento_def[2]);
end
else
begin // Caso de desligamento normal, iniciando do ciclo 1
Nciclo[1]:=0; // Inicializa o nº de ciclos acumulados qdo desligamento normal
Nciclo[2]:=0;
Evento_ant[1]:=1; // Inicializa o evento anterior qdo desligamento normal
Evento_ant[2]:=1;
Evento[1] := 1;
Evento[2] := 1;

```

```

Dec_ph_man[1]:=0; // Inicializa o controle da ocorrência dos pontos notáveis
Dec_ph_man[2]:=0;
Cnt_adc_ana_r1:=0;
Cnt_adc_ana_r2:=0;
Dec_ph_min[1]:=0;
Dec_ph_min[2]:=0;
Dec_ph_cte[1]:=0;
Dec_ph_cte[2]:=0;
Dec_ph_max[1]:=0;
Dec_ph_max[2]:=0;
Cnt_adc_aer_r1:=0;
Cnt_adc_aer_r2:=0;
Dec_red_jxa[1]:=0;
Dec_red_jxa[2]:=0;
Dec_red_jxb[1]:=0;
Dec_red_jxb[2]:=0;
Cnt_adc_anx_r1:=0;
Cnt_adc_anx_r2:=0;

Tmp_duracpt[1,0]:=0; // Atribuição para variável temporária, da duração acumulada prevista, do reator 1
  For j:=1 to Noev[1] do
    begin
      Tmp_duracpt[1,j]:=Tmp_duracps[1,j];
    end;

Tmp_duracpt[2,0]:=0; // Atribuição para variável temporária, da duração acumulada prevista, do reator 2
  For j:=1 to Noev[2] do
    begin
      Tmp_duracpt[2,j]:=Tmp_duracps[2,j];
    end;

```

```

        end;

//-----
// Inicializa variáveis do controle dos relês
Setant:=0;
DIO_OutputWord(Wbase,Setant); // Desativa todos os relês

//-----
// Aciona o Timer principal
TmrPrincipal.Enabled:=True;

end;

//=====
//=====
//
// Rotina valor médio das leituras das sondas
// Usada para situações on-line, mesmo em off-line manter ativa
//=====
//=====
procedure Medpar(Nleitura:Integer;Can:Integer;var Med:Real);
// Esta rotina visa obter a média das leituras, para um dado número de leitura, um dado canal(0 a 7) e retorna o valor na variável - Med(Volts).
// As leituras não coerentes serão desconsideradas, quando: Valores com desvio absoluto de 10% em relação a leitura anterior; leituras com
erros(ULstat<>0) e fora de faixa.
var
Med_bt:Word; // Valor medido em bit
Med_ts:Single; // Valor medido em tensão (volts)
Med_tsa:Single; // Valor acumulado das tensões medidas
Nl:Integer; // Contador do número de leitura

```



```

begin
Med_tsa:=0;
  For NI:=1 to Nleitura do
    begin
    Med_bt:=0;
    Med_ts:=0;
    ULstat:=cbAIn(PlacaNum,Can,Faixa,Med_bt);
    If ULstat <> 0 then
      else
        begin
        FrmAutoma.Label37.Caption:='Canal '+IntToStr(Can)+' Bits:'+IntToStr(Med_bt);
        ULstat := cbToEngUnits (PlacaNum,Faixa,Med_bt,Med_ts);
        If ULstat <> 0 then
          else
            begin
            FrmAutoma.Label38.Caption:=Format('Canal:%d Voltagem:%f',[Can,Med_ts]);
            Med_tsa:=Med_tsa+Med_ts;
            end;
          end;
        end;
      end;
    Med:=Med_tsa/Nleitura;
    FrmAutoma.Label39.Caption:=Format('Média: %f Acum:%f',[Med,Med_tsa]); // Resultados das medidas após a duração especificada
  end;

//=====
//=====
//
// Rotina atualiza a tabela de planejamento horário do reator 1
//

```

```

//=====
//=====
procedure Muda_tab_plan1( Durrcic1:Cardinal;Even1:Integer );
// Obtém a diferença entre a duração prevista (Tmp_duracpt) e a duração realizada (Tmp_durrcics). E subtrai esta diferença da duração presvista,
// a partir do evento atual, recompondo a tabela de palnejamento horário
// A tabela modificada esta na variável Tmp_duracpt
var
  i:Integer;
  Dif:Cardinal;
begin
  Dif := Tmp_duracpt[1,Even1] - Durrcic1;
  For i:= Even1 to ( Noev[1]-1 ) do
  begin
    Tmp_duracpt[1,i] := Tmp_duracpt[1,i] - Dif;
  end;
  Tmp_duracpt[1,Noev[1]] :=Tmp_duracs[1,Noev[1]]; // Mantém a última duração acumulada, fazendo o último evento durar até a duração total
  prevista para o ciclo
end;

//=====
//=====
//
// Rotina atualiza a tabela de planejamento horário do reator 2
//
//=====
//=====
procedure Muda_tab_plan2( Durrcic2:Cardinal;Even2:Integer );
// Obtém a diferença entre a duração prevista (Tmp_duracpt) e a duração realizada (Tmp_durrcics). E subtrai esta diferença da duração presvista,
// a partir do evento atual, recompondo a tabela de palnejamento horário

```

```

// A tabela modificada esta na variável Tmp_duracpt
var
  i:Integer;
  Dif:Cardinal;
begin
  Dif := Tmp_duracpt[2,Even2] - Durrcic2;
  For i:= Even2 to ( Noev[2]-1 ) do
    begin
      Tmp_duracpt[2,i] := Tmp_duracpt[2,i] - Dif;
    end;
  Tmp_duracpt[2,Noev[2]] :=Tmp_duracs[2,Noev[2]]; // Mantém a última duração acumulada, fazendo o último evento durar até a duração total
  prevista para o ciclo
end;

//=====
//=====
//
// Normalização da variável dpH(k), dpH(k-1) e pH(k), fase anaeróbia, reator 1
// Sistema de controle fuzzy
//
//=====
//=====
Procedure Normal_ana_r1(Pr10:Real;Pr11:Real;Pr12:Real;inter_dec_r1:Integer;var dprkn_ana_r1:Real;var dprk1n_ana_r1:Real;var
prkn_ana_r1:Real);
// Normalização de dprk e dprk1 (-0.1 a +0.1), do prk (5.5 a 9.5, com central em 7.5)
var
  dprk,dprk1:Real;
begin
  dprk := ( Pr12 - Pr11 ) / inter_dec_r1;

```

```

dprk1 := ( Pr11 - Pr10 ) / inter_dec_r1;
dprkn_ana_r1 := ( dprk - 0.1 ) / 0.2 + 1; // Obtida em função das ranges máximas de dprk
dprk1n_ana_r1 := ( dprk1 - 0.1 ) / 0.2 + 1; // Obtida em função das ranges máximas de dprk1
prkn_ana_r1 := ( Pr12 - 9.5 ) / 4 + 1; // Obtida em função das ranges máximas de prk
  If dprkn_ana_r1 > 1 then
  begin
  dprkn_ana_r1:=1;
  FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dprkn_ana_r1 > 1');
  end;
  If dprk1n_ana_r1 > 1 then
  begin
  dprk1n_ana_r1:=1;
  FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dprk1n_ana_r1 > 1');
  end;
  If prkn_ana_r1 > 1 then
  begin
  prkn_ana_r1:=1;
  FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('prkn_ana_r1 > 1');
  end;
end;

```

```

//=====
//=====
//
// Normalização da variável dpH(k), dpH(k-1) e pH(k), fase aeróbia, reator 1
// Sistema de controle fuzzy
//
//=====
//=====

```

```

// Normalização de dprk e dprk1 (-0.025 a +0.025), do prk (5.5 a 8.5, com central em 7.0)
Procedure Normal_aer_r1(Pr10:Real;Pr11:Real;Pr12:Real;inter_dec_r1:Integer;var      dprkn_aer_r1:Real;var      dprk1n_aer_r1:Real;var
prkn_aer_r1:Real);
var
dprk,dprk1:Real;
begin
dprk := ( Pr12 - Pr11 ) / inter_dec_r1;
dprk1 := ( Pr11 - Pr10 ) / inter_dec_r1;
dprkn_aer_r1 := ( dprk - 0.025 ) / 0.05 + 1; // Obtida em função das ranges máximas de dprk
dprk1n_aer_r1 := ( dprk1 - 0.025 ) / 0.05 + 1; // Obtida em função das ranges máximas de dprk1
prkn_aer_r1 := ( Pr12 - 8.5 ) / 3 + 1; // Obtida em função das ranges máximas de prk
  If dprkn_aer_r1 > 1 then
    begin
      dprkn_aer_r1:=1;
      FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dprkn_aer_r1 > 1');
    end;
    If dprk1n_aer_r1 > 1 then
      begin
        dprk1n_aer_r1:=1;
        FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dprk1n_aer_r1 > 1');
      end;
      If prkn_aer_r1 > 1 then
        begin
          prkn_aer_r1:=1;
          FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('prkn_aer_r1 > 1');
        end;
end;

//=====

```

```

//=====
//
// Normalização da variável dorp(k), dorp(k-1) e od(k), fase anóxica, reator 1
// Sistema de controle fuzzy
//
//=====
//=====
// Normalização de dprak e dprak1 (-15 a +15), do prbk (0 a 5, com central em 2.5)
Procedure      Normal_anx_r1(Pra10:Real;Pra11:Real;Pra12:Real;Prb12:Real;inter_dec_r1:Integer;var      dprkn_anx_r1:Real;var
dprk1n_anx_r1:Real;var prkn_anx_r1:Real);
var
dprk,dprk1:Real;
begin
dprk := ( Pra12 - Pra11 ) / inter_dec_r1;
dprk1 := ( Pra11 - Pra10 ) / inter_dec_r1;
dprkn_anx_r1 := ( dprk - 15.0 ) / 30.0 + 1; // Obtida em função das ranges máximas de dprk
dprk1n_anx_r1 := ( dprk1 - 15.0 ) / 30.0 + 1; // Obtida em função das ranges máximas de dprk1
prkn_anx_r1 := ( Prb12 - 5.0 ) / 5.0 + 1; // Obtida em função das ranges máximas de prk
  If dprkn_anx_r1 > 1 then
  begin
dprkn_anx_r1:=1;
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dprkn_anx_r1 > 1');
end;
  If dprk1n_anx_r1 > 1 then
  begin
dprk1n_anx_r1:=1;
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dprk1n_anx_r1 > 1');
end;
  If prkn_anx_r1 > 1 then
  begin

```

```

prkn_anx_r1:=1;
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('prkn_anx_r1 > 1');
end;
end;

```

```

//=====
//=====
//
// Normalização da variável dpH(k), dpH(k-1) e pH(k), fase anaeróbia, reator 2
// Sistema de controle fuzzy
//
//=====
//=====

```

```

Procedure Normal_ana_r2(Pr20:Real;Pr21:Real;Pr22:Real;inter_dec_r2:Integer;var dprkn_ana_r2:Real;var dprk1n_ana_r2:Real;var
prkn_ana_r2:Real);
// Normalização de dprk e dprk1 (-0.1 a +0.1), do prk (5.5 a 9.5, com central em 7.5)
var
dprk,dprk1:Real;
begin
dprk := ( Pr22 - Pr21 ) / inter_dec_r2;
dprk1 := ( Pr21 - Pr20 ) / inter_dec_r2;
dprkn_ana_r2 := ( dprk - 0.1 ) / 0.2 + 1; // Obtida em função das ranges máximas de dprk
dprk1n_ana_r2 := ( dprk1 - 0.1 ) / 0.2 + 1; // Obtida em função das ranges máximas de dprk1
prkn_ana_r2 := ( Pr22 - 9.5 ) / 4 + 1; // Obtida em função das ranges máximas de prk
If dprkn_ana_r2 > 1 then
begin
dprkn_ana_r2:=1;
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dprkn_ana_r2 > 1');
end;

```

```

If dprk1n_ana_r2 > 1 then
begin
dprk1n_ana_r2:=1;
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dprk1n_ana_r2 > 1');
end;
  If prkn_ana_r2 > 1 then
  begin
  prkn_ana_r2:=1;
  FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('prkn_ana_r2 > 1');
  end;
end;

```

```

//=====
//=====
//
// Normalização da variável dpH(k), dpH(k-1) e pH(k), fase aeróbia, reator 2
// Sistema de controle fuzzy
//
//=====
//=====
// Normalização de dprk e dprk1 (-0.025 a +0.025), do prk (5.5 a 8.5, com central em 7.0)
Procedure Normal_aer_r2(Pr20:Real;Pr21:Real;Pr22:Real;inter_dec_r2:Integer;var dprkn_aer_r2:Real;var dprk1n_aer_r2:Real;var
prkn_aer_r2:Real);
var
dprk,dprk1:Real;
begin
dprk := ( Pr22 - Pr21 ) / inter_dec_r2;
dprk1 := ( Pr21 - Pr20 ) / inter_dec_r2;
dprkn_aer_r2 := ( dprk - 0.025 ) / 0.05 + 1; // Obtida em função das ranges máximas de dprk

```



```

dprk1n_aer_r2 := ( dprk1 - 0.025 ) / 0.05 + 1; // Obtida em função das ranges máximas de dprk1
prkn_aer_r2 := ( Pr22 - 8.5 ) / 3 + 1; // Obtida em função das ranges máximas de prk
  If dprkn_aer_r2 > 1 then
  begin
  dprkn_aer_r2:=1;
  FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dprkn_aer_r2 > 1');
  end;
  If dprk1n_aer_r2 > 1 then
  begin
  dprk1n_aer_r2:=1;
  FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dprk1n_aer_r2 > 1');
  end;
  If prkn_aer_r2 > 1 then
  begin
  prkn_aer_r2:=1;
  FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('prkn_aer_r2 > 1');
  end;
end;

```

```

//=====
//=====
//
// Normalização da variável dorp(k), dorp(k-1) e od(k), fase anóxica, reator 2
// Sistema de controle fuzzy
//
//=====
//=====
// Normalização de dprak e dprak1 (-15 a +15), do prbk (0 a 5, com central em 2.5)

```

```

Procedure      Normal_anx_r2(Pra20:Real;Pra21:Real;Pra22:Real;Prb22:Real;inter_dec_r2:Integer;var
dprk1n_anx_r2:Real;var prkn_anx_r2:Real);
var
dprk,dprk1:Real;
begin
dprk := ( Pra22 - Pra21 ) / inter_dec_r2;
dprk1 := ( Pra21 - Pra20 ) / inter_dec_r2;
dprkn_anx_r2 := ( dprk - 15.0 ) / 30.0 + 1; // Obtida em função das ranges máximas de dprk
dprk1n_anx_r2 := ( dprk1 - 15.0 ) / 30.0 + 1; // Obtida em função das ranges máximas de dprk1
prkn_anx_r2 := ( Prb22 - 5.0 ) / 5.0 + 1; // Obtida em função das ranges máximas de prk
  If dprkn_anx_r2 > 1 then
    begin
      dprkn_anx_r2:=1;
      FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dprkn_anx_r2 > 1');
    end;
    If dprk1n_anx_r2 > 1 then
      begin
        dprk1n_anx_r2:=1;
        FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dprk1n_anx_r2 > 1');
      end;
      If prkn_anx_r2 > 1 then
        begin
          prkn_anx_r2:=1;
          FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('prkn_anx_r2 > 1');
        end;
end;

//=====
//=====

```

```

//
// Fuzzyficação do valor crisp normalizado (0 a 1), reatores 1 e 2
// Sistema de controle fuzzy
//
//=====
//=====
procedure Fuzzy_mf(mf:Tmf;n_mf:Integer;vc:Real;var md:Tmd);
// Procedimento da fuzzyficação do valor crisp normalizado (0 a 1)
// mf - entrada da matriz das membership function, 0..3, 0..4, 3 MFs com 4 pontos (trapezoidal)
// n_mf - entrada no número de membership function
// vc - entrada do valor crisp normalizado (0 a 1)
// md - saída do vetor grau de pertinência das mf (valor fuzzy), 0..3, 3 MFs
var
k:Integer; // Contador
begin
  For k:=1 to n_mf do
    begin
      If ( vc <= mf[k,3] ) and ( vc >= mf[k,2] ) then md[k]:=1
      else
        If ( vc < mf[k,2] ) and ( vc > mf[k,1] ) then md[k]:= (vc-mf[k,1]) / (mf[k,2]-mf[k,1])
        else
          If ( vc > mf[k,3] ) and ( vc < mf[k,4] ) then md[k]:= (mf[k,4]-vc) / (mf[k,4]-mf[k,3])
          else
            md[k]:= 0;
        end;
      end;
    end;
end;

//=====
//=====

```

```

//
// Inferência fuzzy (atuação das regras e defuzzificação), reatores 1 e 2
// Sistema de controle fuzzy
//
//=====
//=====
Procedure Infer(mf_output:Tmf; ru:Tru; n_dprk:Integer; n_dprk1:Integer; n_pr:Integer; n_output:Integer; m_dprk:Tmd ;m_dprk1:Tmd
;m_pr:Tmd ;var crp:Real);
// Procedimento de inferência fuzzy, com a determinação dos graus de pertinências das MFs output e o procedimento de defuzzificação ( centro
de área )
// mf_output - entrada da matriz das membership function output, 0..4, 0..4, 4 MFs com 4 pontos (trapezoidal)
// ru - entrada das regras ( identificação numérica das MFs output, OP1, OP2, OP3 e NA ), 0..4, 4 MFs output
// n_dprk - entrada do número de MFs para a variável dprk
// n_dprk1- entrada do número de MFs para a variável dprk1
// n_pr - entrada do número de MFs para a variável pr
// n_output - entrada do número de MFs para a variável output
// m_dprk - entrada dos graus de pertinências das MFs (valor fuzzy) para a variável dprk
// m_dprk1 - entrada dos graus de pertinências das MFs (valor fuzzy) para a variável dprk1
// m_pr - entrada dos graus de pertinências das MFs (valor fuzzy) para a variável pr
// crp - valor resultante da defuzzificação ( centro da área das MFs output, após os cortes com os m_output, na qual são resultados dos valores
fuzzy de entrada e das regras )
var
k,j,i:Integer; // Contadores
m_output:Array [0..4] of Real; // Graus de pertinências das MFs (valor fuzzy) output, obtido da atuação das regras sobre os graus de pertinências
das MFs de entrada
dmf21,dmf43,dmf41,ar1,mm1,ar2,mm2,ar3,mm3,area,mom:Real;
begin
area:=0;
mom:=0;
// Procedimento de aplicação das regras

```

```

For k:=1 to n_output do m_output[k]:=0; // Zera a matriz
  For k:=1 to n_dprk do
    begin
      For j:=1 to n_dprk1 do
        begin
          For i:=1 to n_pr do
            begin
              m_output[ru[k,j,i]] := Max( m_output[ru[k,j,i]] , Min( Min(m_dprk[k],m_dprk1[j]) , m_pr[i] ) );
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;
// Procedimento de defuzzificação (centro de gravidade da área)
// Valor crisp das MFs output
For k:=1 to n_output do
begin
  If ( m_output[k] > 0 ) then
  begin
    dmf21 := mf_output[k,2] - mf_output[k,1];
    dmf43 := mf_output[k,4] - mf_output[k,3];
    dmf41 := mf_output[k,4] - mf_output[k,1];
    ar1 := 0.5*dmf21*Power(m_output[k],2);
    mm1 := mf_output[k,1] + m_output[k]*dmf21*2/3 - mf_output[1,1];
    ar2 := m_output[k] * (dmf41 - m_output[k]*(dmf43+dmf21));
    mm2 := mf_output[k,1] + dmf21*m_output[k] + ar2/m_output[k]/2 - mf_output[1,1];
    ar3 := 0.5*dmf43*Power(m_output[k],2);
    mm3 := mf_output[k,4] - m_output[k]*dmf43*2/3 - mf_output[1,1];
    area := area + ar1 + ar2 + ar3;
    mom := mom + ar1*mm1 + ar2*mm2 + ar3*mm3;
  end
  else

```

```

end;
  If ( area = 0 ) then crp:=0 else crp:=mom/area+mf_output[1,1];
end;

```

```

//=====
//=====
//
// Desnormalização da fase anaeróbia, reator 1
// Sistema de controle fuzzy
//
//=====
//=====

```

```

Procedure Desnormal_ana_r1(cp_ana:Real;var op1_ana:Integer;var na_ana:Integer);
// Procedimento de desnormalização anaeróbia, com determinação do ponto de operação, a partir do valor crisp defuzzificado
// Pesquisa em qual MF_output_ana_r1 o cp_ana mais aproxima, resultando em OP1 ou NA. Sendo (1) verdadeiro e (0) falso
// Os intervalos numéricos dependem da definição da MF_output_ana_r1
begin
  If ( cp_ana <= 1.00 ) and ( cp_ana > 0.50 ) then na_ana:=1
    else na_ana:=0;
    If ( cp_ana <= 0.50 ) and ( cp_ana >= 0.00 ) then op1_ana:=1
      else op1_ana:=0;
end;

```

```

//=====
//=====
//
// Desnormalização da fase aeróbia, reator 1
// Sistema de controle fuzzy

```

```

//
//=====
//=====
Procedure Desnormal_aer_r1(cp_aer:Real;var op1_aer:Integer;var op2_aer:Integer;var op3_aer:Integer;var na_aer:Integer);
// Procedimento de desnormalização aeróbia, com determinação do ponto de operação, a partir do valor crisp defuzzificado
// Pesquisa em qual MF_output_aer_r1 o cp_aer mais aproxima, resultando em OP1 ou OP2 ou OP3 ou NA. Sendo (1) verdadeiro e (0) falso
// Os intervalos numéricos dependem da definição da MF_output_aer_r1
begin
  If ( cp_aer <= 1.00 ) and ( cp_aer > 0.60 ) then na_aer:=1
  else na_aer:=0;
  If ( cp_aer <= 0.60 ) and ( cp_aer > 0.50 ) then op3_aer:=1
  else op3_aer:=0;
  If ( cp_aer <= 0.50 ) and ( cp_aer > 0.29 ) then op2_aer:=1
  else op2_aer:=0;
  If ( cp_aer <= 0.29 ) and ( cp_aer >= 0.00 ) then op1_aer:=1
  else op1_aer:=0;
end;

```

```

//=====
//=====
//
// Desnormalização da fase anóxica, reator 1
// Sistema de controle fuzzy
//
//=====
//=====

```

```

Procedure Desnormal_anx_r1(cp_anx:Real;var op1_anx:Integer;var na_anx:Integer;var op2_anx:Integer);
// Procedimento de desnormalização anóxica, com determinação do ponto de operação, a partir do valor crisp defuzzificado
// Pesquisa em qual MF_output_anx_r1 o cp_anx mais aproxima, resultando em OP1 ou OP2 ou NA. Sendo (1) verdadeiro e (0) falso

```

```

// Os intervalos numéricos dependem da definição da MF_output_anx_r1
begin
  If ( cp_anx <= 1.00 ) and ( cp_anx > 0.55 ) then op2_anx:=1
  else op2_anx:=0;
  If ( cp_anx <= 0.55 ) and ( cp_anx > 0.34 ) then na_anx:=1
  else na_anx:=0;
  If ( cp_anx <= 0.33 ) and ( cp_anx > 0.00 ) then op1_anx:=1
  else op1_anx:=0;
end;

```

```

//=====
//=====
//
// Desnormalização da fase anaeróbia, reator 2
// Sistema de controle fuzzy
//
//=====
//=====

```

```

Procedure Desnormal_ana_r2(cp_ana:Real;var op1_ana:Integer;var na_ana:Integer);
// Procedimento de desnormalização anaeróbia, com determinação do ponto de operação, a partir do valor crisp defuzzificado
// Pesquisa em qual MF_output_ana_r2 o cp_ana mais aproxima, resultando em OP1 ou NA. Sendo (1) verdadeiro e (0) falso
// Os intervalos numéricos dependem da definição da MF_output_ana_r2
begin
  If ( cp_ana <= 1.00 ) and ( cp_ana > 0.50 ) then na_ana:=1
  else na_ana:=0;
  If ( cp_ana <= 0.50 ) and ( cp_ana >= 0.00 ) then op1_ana:=1
  else op1_ana:=0;
end;

```



```

//=====
//=====
//
// Desnormalização da fase aeróbia, reator 2
// Sistema de controle fuzzy
//
//=====
//=====
Procedure Desnormal_aer_r2(cp_aer:Real;var op1_aer:Integer;var op2_aer:Integer;var op3_aer:Integer;var na_aer:Integer);
// Procedimento de desnormalização aeróbia, com determinação do ponto de operação, a partir do valor crisp defuzzificado
// Pesquisa em qual MF_output_aer_r2 o cp_aer mais aproxima, resultando em OP1 ou OP2 ou OP3 ou NA. Sendo (1) verdadeiro e (0) falso
// Os intervalos numéricos dependem da definição da MF_output_aer_r2
begin
  If ( cp_aer <= 1.00 ) and ( cp_aer > 0.60 ) then na_aer:=1
  else na_aer:=0;
    If ( cp_aer <= 0.60 ) and ( cp_aer > 0.50 ) then op3_aer:=1
    else op3_aer:=0;
      If ( cp_aer <= 0.50 ) and ( cp_aer > 0.29 ) then op2_aer:=1
      else op2_aer:=0;
        If ( cp_aer <= 0.29 ) and ( cp_aer >= 0.00 ) then op1_aer:=1
        else op1_aer:=0;
end;

//=====
//=====
//
// Desnormalização da fase anóxica, reator 2
// Sistema de controle fuzzy
//

```

```

//=====
//=====
Procedure Desnormal_anx_r2(cp_anx:Real;var op1_anx:Integer;var na_anx:Integer;var op2_anx:Integer);
// Procedimento de desnormalização anóxica, com determinação do ponto de operação, a partir do valor crisp defuzzificado
// Pesquisa em qual MF_output_anx_r2 o cp_anx mais aproxima, resultando em OP1 ou OP2 ou NA. Sendo (1) verdadeiro e (0) falso
// Os intervalos numéricos dependem da definição da MF_output_anx_r2
begin
  If ( cp_anx <= 1.00 ) and ( cp_anx > 0.55 ) then op2_anx:=1
  else op2_anx:=0;
  If ( cp_anx <= 0.55 ) and ( cp_anx > 0.34 ) then na_anx:=1
  else na_anx:=0;
  If ( cp_anx <= 0.33 ) and ( cp_anx > 0.00 ) then op1_anx:=1
  else op1_anx:=0;
end;

```

```

//=====
//=====
//
// Arredondamento de um número real
//
//=====
//=====
Procedure Arred(vr_in:Real;dcm:Integer;var vr_out:Real);
// Arred(Valor de entrada, Número de casas decimais, Valor de saída arredondado)
var
svr:String;
begin
svr:=FloatToStrF(vr_in,ffFixed,18,dcm);
vr_out:=StrToFloat(svr);

```

end;

```
//=====
//=====
//
// Rotina de atualização do esquema - Reator 1
//
//=====
//=====
```

```
procedure Esq_rsb1( Evento1:Integer;Eba1:Word;Ebe1:Word;Ebl1:Word;Evsa1:Word;Evsm1:Word;Evsb1:Word;Emis1:Word;Ebs1:Word );
begin
```

```
    FrmPrincipal.Lblevent1.Caption := IntToStr( Evento1 );
```

```
    If (Eba1 = 1) then // Bomba de alimentação - Reator 1
```

```
    begin
```

```
        FrmPrincipal.ImgBa1_liga.Visible:=True;
```

```
        FrmPrincipal.ImgBa1_desl.Visible:=False;
```

```
    end
```

```
        else
```

```
            begin
```

```
                FrmPrincipal.ImgBa1_liga.Visible:=False;
```

```
                FrmPrincipal.ImgBa1_desl.Visible:=True;
```

```
            end;
```

```
    If (Ebe1 = 1) then // Bomba do efluente - Reator 1
```

```
    begin
```

```
        FrmPrincipal.ImgBe1_liga.Visible:=True;
```

```
        FrmPrincipal.ImgBe1_desl.Visible:=False;
```

```
    end
```

```
else
  begin
    FrmPrincipal.ImgBe1_liga.Visible:=False;
    FrmPrincipal.ImgBe1_desl.Visible:=True;
  end;
```

```
If (Ebl1 = 1) then // Bomba de descarte lodo - Reator 1
begin
FrmPrincipal.ImgBl1_liga.Visible:=True;
FrmPrincipal.ImgBl1_desl.Visible:=False;
end
else
  begin
    FrmPrincipal.ImgBl1_liga.Visible:=False;
    FrmPrincipal.ImgBl1_desl.Visible:=True;
  end;
```

```
If (Evsal = 1) then // Válvula solenóide A - Reator 1
begin
FrmPrincipal.ImgVsa1_liga.Visible:=True;
FrmPrincipal.ImgVsa1_desl.Visible:=False;
end
else
  begin
    FrmPrincipal.ImgVsa1_liga.Visible:=False;
    FrmPrincipal.ImgVsa1_desl.Visible:=True;
  end;
```

```
If (Evsm1 = 1) then // Válvula solenóide M - Reator 1
begin
```

```
FrmPrincipal.ImgVsm1_liga.Visible:=True;
FrmPrincipal.ImgVsm1_desl.Visible:=False;
end
else
begin
FrmPrincipal.ImgVsm1_liga.Visible:=False;
FrmPrincipal.ImgVsm1_desl.Visible:=True;
end;
```

```
If (Evsb1 = 1) then // Válvula solenóide B - Reator 1
begin
FrmPrincipal.ImgVsb1_liga.Visible:=True;
FrmPrincipal.ImgVsb1_desl.Visible:=False;
end
else
begin
FrmPrincipal.ImgVsb1_liga.Visible:=False;
FrmPrincipal.ImgVsb1_desl.Visible:=True;
end;
```

```
If (Emis1 = 1) then // Misturador - Reator 1
begin
FrmPrincipal.ImgMis1_liga.Visible:=True;
FrmPrincipal.ImgMis1_desl.Visible:=False;
end
else
begin
FrmPrincipal.ImgMis1_liga.Visible:=False;
FrmPrincipal.ImgMis1_desl.Visible:=True;
end;
```

```

If (Ebs1 = 1) then // Bomba de dosagem da solução - Reator 1
begin
FrmPrincipal.ImgBs1_liga.Visible:=True;
FrmPrincipal.ImgBs1_desl.Visible:=False;
end
else
begin
FrmPrincipal.ImgBs1_liga.Visible:=False;
FrmPrincipal.ImgBs1_desl.Visible:=True;
end;

end;

//=====
//=====
//
// Rotina de atualização do esquema - Reator 2
//
//=====
//=====
procedure Esq_rsb2( Evento2:Integer;Eba2:Word;Ebe2:Word;Ebl2:Word;Evsa2:Word;Evsm2:Word;Evsb2:Word;Emis2:Word;Ebs2:Word );
begin

FrmPrincipal.Lblevent2.Caption := IntToStr( Evento2 );
If (Eba2 = 1) then // Bomba de alimentação - Reator 2
begin
FrmPrincipal.ImgBa2_liga.Visible:=True;
FrmPrincipal.ImgBa2_desl.Visible:=False;

```

```

end
  else
    begin
      FrmPrincipal.ImgBa2_liga.Visible:=False;
      FrmPrincipal.ImgBa2_desl.Visible:=True;
    end;

If (Ebe2 = 1) then // Bomba do efluente - Reator 2
begin
FrmPrincipal.ImgBe2_liga.Visible:=True;
FrmPrincipal.ImgBe2_desl.Visible:=False;
end
  else
    begin
      FrmPrincipal.ImgBe2_liga.Visible:=False;
      FrmPrincipal.ImgBe2_desl.Visible:=True;
    end;

If (Ebl2 = 1) then // Bomba de descarte lodo - Reator 2
begin
FrmPrincipal.ImgBl2_liga.Visible:=True;
FrmPrincipal.ImgBl2_desl.Visible:=False;
end
  else
    begin
      FrmPrincipal.ImgBl2_liga.Visible:=False;
      FrmPrincipal.ImgBl2_desl.Visible:=True;
    end;

If (Evsa2 = 1) then // Válvula solenóide A - Reator 2

```

```

begin
FrmPrincipal.ImgVsa2_liga.Visible:=True;
FrmPrincipal.ImgVsa2_desl.Visible:=False;
end
else
begin
FrmPrincipal.ImgVsa2_liga.Visible:=False;
FrmPrincipal.ImgVsa2_desl.Visible:=True;
end;

If (Evsm2 = 1) then // Válvula solenóide M - Reator 2
begin
FrmPrincipal.ImgVsm2_liga.Visible:=True;
FrmPrincipal.ImgVsm2_desl.Visible:=False;
end
else
begin
FrmPrincipal.ImgVsm2_liga.Visible:=False;
FrmPrincipal.ImgVsm2_desl.Visible:=True;
end;

If (Evsb2 = 1) then // Válvula solenóide B - Reator 2
begin
FrmPrincipal.ImgVsb2_liga.Visible:=True;
FrmPrincipal.ImgVsb2_desl.Visible:=False;
end
else
begin
FrmPrincipal.ImgVsb2_liga.Visible:=False;
FrmPrincipal.ImgVsb2_desl.Visible:=True;

```



```
end;

If (Emis2 = 1) then // Misturador - Reator 2
begin
FrmPrincipal.ImgMis2_liga.Visible:=True;
FrmPrincipal.ImgMis2_desl.Visible:=False;
end
else
begin
FrmPrincipal.ImgMis2_liga.Visible:=False;
FrmPrincipal.ImgMis2_desl.Visible:=True;
end;

If (Ebs2 = 1) then // Bomba de dosagem da solução - Reator 2
begin
FrmPrincipal.ImgBs2_liga.Visible:=True;
FrmPrincipal.ImgBs2_desl.Visible:=False;
end
else
begin
FrmPrincipal.ImgBs2_liga.Visible:=False;
FrmPrincipal.ImgBs2_desl.Visible:=True;
end;

end;

//=====
//=====
//
```

```

// Rotina da geração gráfica - Reator 1
//
//=====
//=====
procedure Graf_rsb1( Gcont_eix1:Integer;Gsdata_tempo:String;Gph1:Real;Gred1:Real;God1:Real;Gtemp1:Real );
begin

    FrmGrafico1.Chart1.BottomAxis.Automatic:=False; // Sensor de pH - Reator 1 - Canal 0
    FrmGrafico1.Chart1.BottomAxis.Minimum:=Cont_eix1-40; // Coloca 40 pontos no gráfico,antes de começar a deslocar a escala
    FrmGrafico1.Chart1.BottomAxis.Maximum:=Cont_eix1; // Distância do último ponto até a margem direita
    FrmGrafico1.Chart1.BottomAxis.Increment:=1;
    FrmGrafico1.Chart1.BottomAxis.Scroll(1,False);
    FrmGrafico1.Series1.AddXY(Cont_eix1, Gph1, Copy(Gsdata_tempo,10,8), clblue); // valor X (inteiro), valor Y (real), rotulo X (string), cor
(string)

    FrmGrafico1.Chart2.BottomAxis.Automatic:=False; // Sensor de REDOX - Reator 1 - Canal 2
    FrmGrafico1.Chart2.BottomAxis.Minimum:=Cont_eix1-40;
    FrmGrafico1.Chart2.BottomAxis.Maximum:=Cont_eix1;
    FrmGrafico1.Chart2.BottomAxis.Increment:=1;
    FrmGrafico1.Chart2.BottomAxis.Scroll(1,False);
    FrmGrafico1.Series2.AddXY(Cont_eix1, Gred1, Copy(Gsdata_tempo,10,8), clblue);

    FrmGrafico1.Chart3.BottomAxis.Automatic:=False; // Sensor de OD - Reator 1 - Canal 4
    FrmGrafico1.Chart3.BottomAxis.Minimum:=Cont_eix1-40;
    FrmGrafico1.Chart3.BottomAxis.Maximum:=Cont_eix1;
    FrmGrafico1.Chart3.BottomAxis.Increment:=1;
    FrmGrafico1.Chart3.BottomAxis.Scroll(1,False);
    FrmGrafico1.Series3.AddXY(Cont_eix1, God1, Copy(Gsdata_tempo,10,8), clblue);

    FrmGrafico1.Chart4.BottomAxis.Automatic:=False; // Sensor de TEMPERATURA - Reator 1 - Canal 6

```

```

FrmGrafico1.Chart4.BottomAxis.Minimum:=Cont_eix1-40;
FrmGrafico1.Chart4.BottomAxis.Maximum:=Cont_eix1;
FrmGrafico1.Chart4.BottomAxis.Increment:=1;
FrmGrafico1.Chart4.BottomAxis.Scroll(1,False);
FrmGrafico1.Series4.AddXY(Cont_eix1, Gtemp1, Copy(Gsdata_tempo,10,8), clblue);
end;

//=====
//=====
//
// Rotina da geração gráfica - Reator 2
//
//=====
//=====
procedure Graf_rsb2( Gcont_eix2:Integer;Gsdata_tempo:String;Gph2:Real;Gred2:Real;God2:Real;Gtemp2:Real );
begin

FrmGrafico2.Chart1.BottomAxis.Automatic:=False; // Sensor de pH - Reator 2 - Canal 1
FrmGrafico2.Chart1.BottomAxis.Minimum:=Cont_eix2-40;
FrmGrafico2.Chart1.BottomAxis.Maximum:=Cont_eix2;
FrmGrafico2.Chart1.BottomAxis.Increment:=1;
FrmGrafico2.Chart1.BottomAxis.Scroll(1,False);
FrmGrafico2.Series1.AddXY(Cont_eix2, Gph2, Copy(Gsdata_tempo,10,8), clblue);

FrmGrafico2.Chart2.BottomAxis.Automatic:=False; // Sensor de REDOX - Reator 2 - Canal 3
FrmGrafico2.Chart2.BottomAxis.Minimum:=Cont_eix2-40;
FrmGrafico2.Chart2.BottomAxis.Maximum:=Cont_eix2;
FrmGrafico2.Chart2.BottomAxis.Increment:=1;
FrmGrafico2.Chart2.BottomAxis.Scroll(1,False);

```

```

FrmGrafico2.Series2.AddXY(Cont_eix2, Gred2, Copy(Gsdata_tempo,10,8), clblue);

FrmGrafico2.Chart3.BottomAxis.Automatic:=False; // Sensor de OD - Reator 2 - Canal 5
FrmGrafico2.Chart3.BottomAxis.Minimum:=Cont_eix2-40;
FrmGrafico2.Chart3.BottomAxis.Maximum:=Cont_eix2;
FrmGrafico2.Chart3.BottomAxis.Increment:=1;
FrmGrafico2.Chart3.BottomAxis.Scroll(1,False);
FrmGrafico2.Series3.AddXY(Cont_eix2, God2, Copy(Gsdata_tempo,10,8), clblue);

FrmGrafico2.Chart4.BottomAxis.Automatic:=False; // Sensor de TEMPERATURA - Reator 2 - Canal 7
FrmGrafico2.Chart4.BottomAxis.Minimum:=Cont_eix2-40;
FrmGrafico2.Chart4.BottomAxis.Maximum:=Cont_eix2;
FrmGrafico2.Chart4.BottomAxis.Increment:=1;
FrmGrafico2.Chart4.BottomAxis.Scroll(1,False);
FrmGrafico2.Series4.AddXY(Cont_eix2, Gtemp2, Copy(Gsdata_tempo,10,8), clblue);

```

end;

```

//=====
//=====
//
// Timer principal para ativar a rotina leituras médias e controlar os relês
//
//=====
//=====
procedure TFrmAutoma.TmrPrincipalTimer(Sender: TObject);
var
  Tmp_acr: TDateTime; // Tempo de conexão acumulado realizado
  Tmp_dec: Array[0..2] of Cardinal; // Tempo para controle da inferência nos reatores 1 e 2

```

```

Sdata_tempo: String; // Data e hora - xx/xx/xx xx:xx:xx,xxx acumulado
Sdata_tempo1: String; // Data e hora - xx/xx/xx xx:xx:xx acumulado
Tmp_duracr: TDateTime; // Hora acumulada realizada, desde o início da conexão
k,i,j: Integer; // Controle de Loop
Sph1,Sph2,Sred1,Sred2,Sod1,Sod2,Stemp1,Stemp2: String; // Leituras médias dos canais - Exibição
Sph1c,Sph2c,Sred1c,Sred2c,Sod1c,Sod2c,Stemp1c,Stemp2c: String; // Leituras médias calibradas dos canais - Exibição
Parc: Array[0..7] of Real; // Leituras médias calibradas dos canais
Setfinal: Word; // Estado final dos relês, em t (resultante do reatores 1 e 2)
//----- Sistema de controle fuzzy - Fase anaeróbia - Reator 1
dphkn_ana_r1,dphk1n_ana_r1,phkn_ana_r1:Real; // Valores normalizados de 0 a 1
m_dphk_ana_r1,m_dphk1_ana_r1,m_phk_ana_r1:Tmd; // Graus de pertinências das MFs - [0..3] of Real
crp_ana_r1:Real; // Resultado da defuzzificação aeróbia - crisp
pop1_ph_man_r1,pna_ph_nan_r1:Integer; // Resultado da desnormalização - (1) Verdadeiro e (0) Falso
//----- Sistema de controle fuzzy - Fase aeróbia - Reator 1
dphkn_aer_r1,dphk1n_aer_r1,phkn_aer_r1:Real; // Valores normalizados de 0 a 1
m_dphk_aer_r1,m_dphk1_aer_r1,m_phk_aer_r1:Tmd; // Graus de pertinências das MFs - [0..3] of Real
crp_aer_r1:Real; // Resultado da defuzzificação aeróbia - crisp
pop1_ph_min_r1,pop2_ph_cte_r1,pop3_ph_max_r1,pna_ph_nar_r1:Integer; // Resultado da desnormalização - (1) Verdadeiro e (0) Falso
//----- Sistema de controle fuzzy - Fase anóxica - Reator 1
dredkn_anx_r1,dredk1n_anx_r1,odkn_anx_r1:Real; // Valores normalizados de 0 a 1
m_dredk_anx_r1,m_dredk1_anx_r1,m_odk_anx_r1:Tmd; // Graus de pertinências das MFs - [0..3] of Real
crp_anx_r1:Real; // Resultado da defuzzificação anóxica - crisp
pop1_red_jxa_r1,pop2_red_jxb_r1,pna_red_nax_r1:Integer; // Resultado da desnormalização - (1) Verdadeiro e (0) Falso
//----- Sistema de controle fuzzy - Fase anaeróbia - Reator 2
dphkn_ana_r2,dphk1n_ana_r2,phkn_ana_r2:Real; // Valores normalizados de 0 a 1
m_dphk_ana_r2,m_dphk1_ana_r2,m_phk_ana_r2:Tmd; // Graus de pertinências das MFs - [0..3] of Real
crp_ana_r2:Real; // Resultado da defuzzificação aeróbia - crisp
pop1_ph_man_r2,pna_ph_nan_r2:Integer; // Resultado da desnormalização - (1) Verdadeiro e (0) Falso
//----- Sistema de controle fuzzy - Fase aeróbia - Reator 2
dphkn_aer_r2,dphk1n_aer_r2,phkn_aer_r2:Real; // Valores normalizados de 0 a 1

```

```

m_dphk_aer_r2,m_dphk1_aer_r2,m_phk_aer_r2:Tmd; // Graus de pertinências das MFs - [0..3] of Real
crp_aer_r2:Real; // Resultado da defuzzificação aeróbia - crisp
pop1_ph_min_r2,pop2_ph_cte_r2,pop3_ph_max_r2,pna_ph_nar_r2:Integer; // Resultado da desnormalização - (1) Verdadeiro e (0) Falso
//----- Sistema de controle fuzzy - Fase anóxica - Reator 2
dredkn_anx_r2,dredk1n_anx_r2,odkn_anx_r2:Real; // Valores normalizados de 0 a 1
m_dredk_anx_r2,m_dredk1_anx_r2,m_odk_anx_r2:Tmd; // Graus de pertinências das MFs - [0..3] of Real
crp_anx_r2:Real; // Resultado da defuzzificação anóxica - crisp
pop1_red_jxa_r2,pop2_red_jxb_r2,pna_red_nax_r2:Integer; // Resultado da desnormalização - (1) Verdadeiro e (0) Falso
//-----

```

begin

```

//-----
//Duração acumulada realizada, em segundos e Data
repeat
  FNextTimerEventTime := FNextTimerEventTime + IntervalDesejadoTimer / ( 24 * 60 * 60 * 1000 );
until ( FNextTimerEventTime > Now );
TmrPrincipal.Interval := Trunc( 24 * 60 * 60 * 1000 * ( FNextTimerEventTime - Now ) );
Tmp_acr:=Now;
Inc( FContGrava );
Tmp_duracr:=Tmp_acr - Tmp_inicon;
FrmAutoma.Lbldur.Caption:=TimeToStr(Tmp_duracr); // Mostra a duração acumulada realizada
Sdata_tempo:=FormatDateTime('dd/mm/yy' 'hh:nn:ss',Tmp_acr); // FormatDateTime('dd/mm/yy' 'hh:nn:ss',zzz',Tmp_acr);
Sdata_tempo1:=FormatDateTime('dd/mm/yy' 'hh:nn:ss',Tmp_acr);

//-----
// Gravação das leituras dos sensores no disco - Reatores 1 e 2
FrmAutoma.Label15.Caption:=IntToStr(FContGrava);
If( FContGrava = Tmp_atudsc ) or (Flg_inicon=1) then // Reconhece o início de uma nova gravação, permitindo intervalos de atualização
maiores que 1 minuto. Pode ser definida via arquivo de configuração

```

```

begin
  FContGrava:=0;

  Inc( FContDec[1] );
  Tmp_dec[1] := FContDec[1] - 1;

  Inc( FContDec[2] );
  Tmp_dec[2] := FContDec[2] - 1;

  FrmAutoma.Label36.Caption:=Sdata_tempo;
  FrmAutoma.Label38.Caption:=IntToStr( Tmp_dec[1] );
  FrmAutoma.Label44.Caption:=IntToStr( Tmp_dec[2] );
  //FrmAutoma.Label39.Caption:=IntToStr( FContDec[1] );
  //FrmAutoma.Label43.Caption:=IntToStr( FContDec[2] );

  For i:=0 to 7 do // Reatores 1 e 2 - Medpar(Número de leituras, Canal, Media das leituras)
  begin
    Medpar(10,i,Par[i]);
  end;

  For i:=0 to 7 do // Reatores 1 e 2 - Correção dos valores medidos pela calibração linear
  begin
    Parc[i]:=a[i]+b[i]*Par[i];
  end;

  // Reatores 1 e 2 - Converte real em alfanumérico
  Str(Par[0]:8:3,Sph1);
  Str(Par[1]:8:3,Sph2);
  Str(Par[2]:8:3,Sred1);
  Str(Par[3]:8:3,Sred2);

```

```
Str(Par[4]:8:3,Sod1);  
Str(Par[5]:8:3,Sod2);  
Str(Par[6]:8:3,Stemp1);  
Str(Par[7]:8:3,Stemp2);
```

```
// Reatores 1 e 2 - Converte real em alfanumérico
```

```
Str(Parc[0]:8:3,Sph1c); // Entrada analógica CH0 Alta - Borneira pino 2 - Fiação verde  
Str(Parc[1]:8:3,Sph2c); // Entrada analógica CH1 Alta - Borneira pino 4 - Fiação verde  
Str(Parc[2]:8:3,Sred1c); // Entrada analógica CH2 Alta - Borneira pino 6 - Fiação amarela  
Str(Parc[3]:8:3,Sred2c); // Entrada analógica CH3 Alta - Borneira pino 8 - Fiação amarela  
Str(Parc[4]:8:3,Sod1c); // Entrada analógica CH4 Alta - Borneira pino 10 - Fiação amarela  
Str(Parc[5]:8:3,Sod2c); // Entrada analógica CH5 Alta - Borneira pino 12 - Fiação amarela  
Str(Parc[6]:8:3,Stemp1c); // Entrada analógica CH6 Alta - Borneira pino 14 - Fiação preta  
Str(Parc[7]:8:3,Stemp2c); // Entrada analógica CH7 Alta - Borneira pino 16 - Fiação preta
```

```
// Reatores 1 e 2 - Mostra os valores médios dos bits e tensões
```

```
FrmAutoma.Lblph1.Caption:=Sph1;  
FrmAutoma.Lblph2.Caption:=Sph2;  
FrmAutoma.Lblred1.Caption:=Sred1;  
FrmAutoma.Lblred2.Caption:=Sred2;  
FrmAutoma.Lblod1.Caption:=Sod1;  
FrmAutoma.Lblod2.Caption:=Sod2;  
FrmAutoma.Lbltemp1.Caption:=Stemp1;  
FrmAutoma.Lbltemp2.Caption:=Stemp2;
```

```
// Reatores 1 e 2 - Mostra os valores médios calibrados
```

```
FrmAutoma.Lblph1c.Caption:=Sph1c;  
FrmPrincipal.Lblph1c.Caption:=Sph1c;  
FrmAutoma.Lblph2c.Caption:=Sph2c;  
FrmPrincipal.Lblph2c.Caption:=Sph2c;
```



```

FrmAutoma.Lblred1c.Caption:=Sred1c;
FrmPrincipal.Lblred1c.Caption:=Sred1c;
FrmAutoma.Lblred2c.Caption:=Sred2c;
FrmPrincipal.Lblred2c.Caption:=Sred2c;
FrmAutoma.Lblod1c.Caption:=Sod1c;
FrmPrincipal.Lblod1c.Caption:=Sod1c;
FrmAutoma.Lblod2c.Caption:=Sod2c;
FrmPrincipal.Lblod2c.Caption:=Sod2c;
FrmAutoma.Lbltemp1c.Caption:=Stemp1c;
FrmPrincipal.Lbltemp1c.Caption:=Stemp1c;
FrmAutoma.Lbltemp2c.Caption:=Stemp2c;
FrmPrincipal.Lbltemp2c.Caption:=Stemp2c;

```

If Sitener[1]='ON_DEF' then // Reator 1 - Na falta de energia, atribui a duração já realizada na duração do ciclo. Este bloco somente é executado no ciclo que faltou energia.

```

begin
  Tmp_durrcics[1]:=StrToInt(Tmp_sdurrcics_def[1]);
  FContCics[1]:=Tmp_durrcics[1]+1;
  Sitener[1]:='ON'; // Controle do ciclo que faltou energia,volta ciclo normal
end
else
begin
  Inc ( FContCics[1] );
  Tmp_durrcics[1]:=FContCics[1]-1;
end;

```

//-----

// Reator 1 - Inferência

If (Flg_prim_dec[1] = 1) then // Reator 1 - Inferência, com a mudança na tabela de planejamento horário (atribuido anteriormente ao vetor temporário Tmp_duractp[1,Evento], na criação do formulário FrmAutoma). A inferência depende da indicação da pesquisa (Tmp,Ana,Aer,Anx).

No início de cada evento, acumula-se 3 valores medidos, para então fazer a primeira inferência, a partir disto, faz-se a inferência a cada valor lido no intervalo (IntervalDesejadoDecis1)

```
begin
  FrmAutoma.Label29.Caption:=Spsq[1,Evento[1]]+'-1º';

  If (Tmp_dec[1] = 0 ) then
  begin
    Ph_brt[1,0]:=StrToFloat(Sph1c);
    Ph_fil[1,0]:=Ph_brt[1,0];
    Arred(Ph_fil[1,0], 2, Ph[1,0]); // Filtro pela área e arredondamento
    Red_brt[1,0]:=StrToFloat(Sred1c);
    Red_fil[1,0]:=Red_brt[1,0];
    Arred(Red_fil[1,0], 2, Red[1,0]); // Filtro pela área e arredondamento
    Od_brt[1,0]:=StrToFloat(Sod1c);
    Od_fil[1,0]:=Od_brt[1,0];
    Arred(Od_fil[1,0], 2, Od[1,0]); // Filtro pela área e arredondamento
    Temp_brt[1,0]:=StrToFloat(Stemp1c);
    Temp_fil[1,0]:=Temp_brt[1,0];
    Arred(Temp_fil[1,0],2,Temp[1,0]); // Filtro pela área e arredondamento
  end;

  If (Tmp_dec[1] = IntervalDesejadoDecis1 ) then
  begin
    Ph_brt[1,1]:=StrToFloat(Sph1c);
    Ph_fil[1,1]:=(Ph_brt[1,0]+Ph_brt[1,1])/2;
    Arred(Ph_fil[1,1], 2, Ph[1,1]); // Filtro pela área e arredondamento
    Red_brt[1,1]:=StrToFloat(Sred1c);
    Red_fil[1,1]:=(Red_brt[1,0]+Red_brt[1,1])/2;
    Arred(Red_fil[1,1], 2, Red[1,1]); // Filtro pela área e arredondamento
    Od_brt[1,1]:=StrToFloat(Sod1c);
```

```

Od_fil[1,1]:=(Od_brt[1,0]+Od_brt[1,1])/2;
Arred(Od_fil[1,1], 2, Od[1,1]); // Filtro pela área e arredondamento
Temp_brt[1,1]:=StrToFloat(Stemp1c);
Temp_fil[1,1]:=(Temp_brt[1,0]+Temp_brt[1,1])/2;
Arred(Temp_fil[1,1], 2, Temp[1,1]); // Filtro pela área e arredondamento
end;

```

```

If (Tmp_dec[1] = 2*IntervalDesejadoDecis1 ) then
begin
Ph_brt[1,2]:=StrToFloat(Sph1c);
Ph_fil[1,2]:=(Ph_brt[1,0]+Ph_brt[1,1]+Ph_brt[1,2])/3;
Arred(Ph_fil[1,2], 2, Ph[1,2]); // Filtro pela área e arredondamento
Red_brt[1,2]:=StrToFloat(Sred1c);
Red_fil[1,2]:=(Red_brt[1,0]+Red_brt[1,1]+Red_brt[1,2])/3;
Arred(Red_fil[1,2], 2, Red[1,2]); // Filtro pela área e arredondamento
Od_brt[1,2]:=StrToFloat(Sod1c);
Od_fil[1,2]:=(Od_brt[1,0]+Od_brt[1,1]+Od_brt[1,2])/3;
Arred(Od_fil[1,2], 2, Od[1,2]); // Filtro pela área e arredondamento
Temp_brt[1,2]:=StrToFloat(Stemp1c);
Temp_fil[1,2]:=(Temp_brt[1,0]+Temp_brt[1,1]+Temp_brt[1,2])/3;
Arred(Temp_fil[1,2], 2, Temp[1,2]); // Filtro pela área e arredondamento
Flg_prim_dec[1]:=0; // Fim da primeira inferência
FContDec[1]:=0; // Zera Contador de duração da inferência

```

```

If ( Spsq[1,Evento[1]] = ' Tmp' ) then // Não pesquisa nenhum ponto
begin
FrmAutoma.Label29.Caption:='Tmp-1º';
//Não muda tabela de planejamento
end;

```

```

If ( Spsq[1,Evento[1]] = ' Ana' ) then // Pesquisa do ponto de máximo, no pH
begin
FrmAutoma.Label29.Caption:='Ana-1º';
Normal_ana_r1(Ph[1,0],Ph[1,1],Ph[1,2],IntervalDesejadoDecis1,dphkn_ana_r1, dphk1n_ana_r1,phkn_ana_r1); //Pesquisa fuzzy da fase
anaeróbia
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Ph[1,0]='+FloatToStr(Ph[1,0]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Ph[1,1]='+FloatToStr(Ph[1,1]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Ph[1,2]='+FloatToStr(Ph[1,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('IntervalDesejadoDecis1='+IntToStr(IntervalDesejadoDecis1));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dphkn_ana_r1='+FloatToStr(dphkn_ana_r1));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dphk1n_ana_r1='+FloatToStr(dphk1n_ana_r1));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('phkn_ana_r1='+FloatToStr(phkn_ana_r1)); }
Fuzzy_mf(mf_dphk_ana_r1,n_dphk_ana_r1,dphkn_ana_r1,m_dphk_ana_r1); // Pesquisa fuzzy da fase anaeróbia
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('n_dphk_ana_r1='+IntToStr(n_dphk_ana_r1));
  For k:=1 to n_dphk_ana_r1 do
  begin
    FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk_ana_r1['+IntToStr(k)+' ,1]='+FloatToStr(mf_dphk_ana_r1[k,1]));
    FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk_ana_r1['+IntToStr(k)+' ,2]='+FloatToStr(mf_dphk_ana_r1[k,2]));
    FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk_ana_r1['+IntToStr(k)+' ,3]='+FloatToStr(mf_dphk_ana_r1[k,3]));
    FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk_ana_r1['+IntToStr(k)+' ,4]='+FloatToStr(mf_dphk_ana_r1[k,4]));
  end;
  FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dphkn_ana_r1='+FloatToStr(dphkn_ana_r1));
  For
    k:=1
    to
    n_dphk_ana_r1
  do
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_dphk_ana_r1['+IntToStr(k)+']='+FloatToStr(m_dphk_ana_r1[k]));}
Fuzzy_mf(mf_dphk1_ana_r1,n_dphk1_ana_r1,dphk1n_ana_r1,m_dphk1_ana_r1); // Pesquisa fuzzy da fase anaeróbia
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('n_dphk1_ana_r1='+IntToStr(n_dphk1_ana_r1));
  For k:=1 to n_dphk1_ana_r1 do
  begin
    FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk1_ana_r1['+IntToStr(k)+' ,1]='+FloatToStr(mf_dphk1_ana_r1[k,1]));
    FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk1_ana_r1['+IntToStr(k)+' ,2]='+FloatToStr(mf_dphk1_ana_r1[k,2]));

```

```

FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk1_ana_r1['+IntToStr(k)+'3]='+FloatToStr(mf_dphk1_ana_r1[k,3]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk1_ana_r1['+IntToStr(k)+'4]='+FloatToStr(mf_dphk1_ana_r1[k,4]));
end;
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dphk1n_ana_r1='+FloatToStr(dphk1n_ana_r1));
For k:=1 to n_dphk1_ana_r1 do
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_dphk1_ana_r1['+IntToStr(k)+']='+FloatToStr(m_dphk1_ana_r1[k]));}
Fuzzy_mf(mf_phk_ana_r1,n_phk_ana_r1,phkn_ana_r1,m_phk_ana_r1); // Pesquisa fuzzy da fase anaeróbia
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('n_phk_ana_r1='+IntToStr(n_phk_ana_r1));
For k:=1 to n_phk_ana_r1 do
begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_phk_ana_r1['+IntToStr(k)+'1]='+FloatToStr(mf_phk_ana_r1[k,1]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_phk_ana_r1['+IntToStr(k)+'2]='+FloatToStr(mf_phk_ana_r1[k,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_phk_ana_r1['+IntToStr(k)+'3]='+FloatToStr(mf_phk_ana_r1[k,3]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_phk_ana_r1['+IntToStr(k)+'4]='+FloatToStr(mf_phk_ana_r1[k,4]));
end;
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('phkn_ana_r1='+FloatToStr(phkn_ana_r1));
For k:=1 to n_phk_ana_r1 do FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_phk_ana_r1['+IntToStr(k)+']='+FloatToStr(m_phk_ana_r1[k])); }
Infer(mf_output_ana_r1,ru_ana_r1,n_dphk_ana_r1,n_dphk1_ana_r1,n_phk_ana_r1,n_output_ana_r1,m_dphk_ana_r1,m_dphk1_ana_r1,m_phk_
ana_r1,crp_ana_r1); // Pesquisa fuzzy da fase anaeróbia
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add(' ');
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('n_output_ana_r1='+IntToStr(n_output_ana_r1));
For k:=1 to n_output_ana_r1 do
begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_output_ana_r1['+IntToStr(k)+'1]='+FloatToStr(mf_output_ana_r1[k,1]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_output_ana_r1['+IntToStr(k)+'2]='+FloatToStr(mf_output_ana_r1[k,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_output_ana_r1['+IntToStr(k)+'3]='+FloatToStr(mf_output_ana_r1[k,3]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_output_ana_r1['+IntToStr(k)+'4]='+FloatToStr(mf_output_ana_r1[k,4]));
end;
For k:=1 to n_dphk_ana_r1 do // Linha
begin

```

```

For j:=1 to n_dphk1_ana_r1 do // Coluna
begin
For i:=1 to n_phk_ana_r1 do // Afastamento
begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('ru_ana_r1['+IntToStr(k)+'+',+IntToStr(j)+'+',+IntToStr(i)+'']=+FloatToStr(ru_ana_r1[k,j,i]));
end;
end;
end;
For k:=1 to n_dphk_ana_r1 do
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_dphk_ana_r1['+IntToStr(k)+'']=+FloatToStr(m_dphk_ana_r1[k]));
For k:=1 to n_dphk1_ana_r1 do
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_dphk1_ana_r1['+IntToStr(k)+'']=+FloatToStr(m_dphk1_ana_r1[k]));
For k:=1 to n_phk_ana_r1 do FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_phk_ana_r1['+IntToStr(k)+'']=+FloatToStr(m_phk_ana_r1[k]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('crp_ana_r1='+FloatToStr(crp_ana_r1)); }
Desnormal_ana_r1(crp_ana_r1,pop1_ph_man_r1,pna_ph_nan_r1); // Pesquisa fuzzy da fase anaeróbia
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add(' ');
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('crp_ana_r1='+FloatToStr(crp_ana_r1));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('1 é o ponto - 0 não é o ponto');
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Pto operação 01 = '+IntToStr(pop1_ph_man_r1));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Pto operação na = '+IntToStr(pna_ph_nan_r1)); }
AssignFile(Arqinfr1,'Rinfer1.TXT'); // Reator 1 - Atualiza arquivo de inferência
Append(Arqinfr1);
Writeln(Arqinfr1,format('%18s%5s%10s%10s%10s%2s%10s%10s%10s',[Sdata_tempo,'Ana',FloatToStr(Ph_brt[1,0]),FloatToStr(Ph_brt[1,1]),FloatToStr(Ph_brt[1,2]),'&',FloatToStr(Ph[1,0]),FloatToStr(Ph[1,1]),FloatToStr(Ph[1,2])]);
Write(Arqinfr1,FloatToStr(dphkn_ana_r1)+' ');
For k:=1 to n_dphk_ana_r1 do Write(Arqinfr1,FloatToStr(m_dphk_ana_r1[k]+' ');
Writeln(Arqinfr1,' ');
Write(Arqinfr1,FloatToStr(dphk1n_ana_r1)+' ');
For k:=1 to n_dphk1_ana_r1 do Write(Arqinfr1,FloatToStr(m_dphk1_ana_r1[k]+' ');
Writeln(Arqinfr1,' ');

```

```

Write(Arqinfr1,FloatToStr(phkn_ana_r1)+' ');
For k:=1 to n_phk_ana_r1 do Write(Arqinfr1,FloatToStr(m_phk_ana_r1[k]+' ');
Writeln(Arqinfr1,' ');
Write(Arqinfr1,FloatToStr(crp_ana_r1)+' ');
Writeln(Arqinfr1,format('%3s%3s',[IntToStr(pop1_ph_man_r1),IntToStr(pna_ph_nan_r1)]));
CloseFile(Arqinfr1);
If ( pop1_ph_man_r1 = 1 ) then
begin
Dec_ph_man[1]:=1; // Guarda o achado do ph_man durante o evento anaeróbio, zero indica que não achou ainda
end;
If ( Dec_ph_man[1] = 1 ) then
begin
Inc( Cnt_adc_ana_r1 );
If ( Cnt_adc_ana_r1 = Adc_ana_r1 ) then // Quantidade de duração adicional, em IntervalDesejadoDecis1, - 1, após a detecção do
último ponto notável na fase anaeróbia
begin
Muda_tab_plan1 ( Tmp_durrcics[1],Evento[1] ); // Retorna Tmp_duracpt[1,evento]
end;
end;
end;

If Spsq[1,Evento[1]] = ' Aer' then // Pesquisa do ponto de mínimo, constante e máximo, no pH
begin
FrmAutoma.Label29.Caption:='Aer-1º';
Normal_aer_r1(Ph[1,0],Ph[1,1],Ph[1,2],IntervalDesejadoDecis1,dphkn_aer_r1, dphk1n_aer_r1,phkn_aer_r1); //Pesquisa fuzzy da fase
aeróbia
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Ph[1,0]='+FloatToStr(Ph[1,0]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Ph[1,1]='+FloatToStr(Ph[1,1]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Ph[1,2]='+FloatToStr(Ph[1,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('IntervalDesejadoDecis1='+IntToStr(IntervalDesejadoDecis1));

```

```

FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dphkn_aer_r1='+FloatToStr(dphkn_aer_r1));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dphk1n_aer_r1='+FloatToStr(dphk1n_aer_r1));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('phkn_aer_r1='+FloatToStr(phkn_aer_r1)); }
Fuzzy_mf(mf_dphk_aer_r1,n_dphk_aer_r1,dphkn_aer_r1,m_dphk_aer_r1); // Pesquisa fuzzy da fase aeróbia
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('n_dphk_aer_r1='+IntToStr(n_dphk_aer_r1));
For k:=1 to n_dphk_aer_r1 do
begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk_aer_r1['+IntToStr(k)+'1]='+FloatToStr(mf_dphk_aer_r1[k,1]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk_aer_r1['+IntToStr(k)+'2]='+FloatToStr(mf_dphk_aer_r1[k,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk_aer_r1['+IntToStr(k)+'3]='+FloatToStr(mf_dphk_aer_r1[k,3]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk_aer_r1['+IntToStr(k)+'4]='+FloatToStr(mf_dphk_aer_r1[k,4]));
end;
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dphkn_aer_r1='+FloatToStr(dphkn_aer_r1));
For k:=1 to n_dphk_aer_r1 do
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_dphk_aer_r1['+IntToStr(k)+']='+FloatToStr(m_dphk_aer_r1[k]));}
Fuzzy_mf(mf_dphk1_aer_r1,n_dphk1_aer_r1,dphk1n_aer_r1,m_dphk1_aer_r1); // Pesquisa fuzzy da fase aeróbia
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('n_dphk1_aer_r1='+IntToStr(n_dphk1_aer_r1));
For k:=1 to n_dphk1_aer_r1 do
begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk1_aer_r1['+IntToStr(k)+'1]='+FloatToStr(mf_dphk1_aer_r1[k,1]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk1_aer_r1['+IntToStr(k)+'2]='+FloatToStr(mf_dphk1_aer_r1[k,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk1_aer_r1['+IntToStr(k)+'3]='+FloatToStr(mf_dphk1_aer_r1[k,3]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk1_aer_r1['+IntToStr(k)+'4]='+FloatToStr(mf_dphk1_aer_r1[k,4]));
end;
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dphk1n_aer_r1='+FloatToStr(dphk1n_aer_r1));
For k:=1 to n_dphk1_aer_r1 do
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_dphk1_aer_r1['+IntToStr(k)+']='+FloatToStr(m_dphk1_aer_r1[k]));}
Fuzzy_mf(mf_phk_aer_r1,n_phk_aer_r1,phkn_aer_r1,m_phk_aer_r1); // Pesquisa fuzzy da fase aeróbia
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('n_phk_aer_r1='+IntToStr(n_phk_aer_r1));
For k:=1 to n_phk_aer_r1 do

```



```

begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_phk_aer_r1['+IntToStr(k)+';1]='+FloatToStr(mf_phk_aer_r1[k,1]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_phk_aer_r1['+IntToStr(k)+';2]='+FloatToStr(mf_phk_aer_r1[k,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_phk_aer_r1['+IntToStr(k)+';3]='+FloatToStr(mf_phk_aer_r1[k,3]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_phk_aer_r1['+IntToStr(k)+';4]='+FloatToStr(mf_phk_aer_r1[k,4]));
end;
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('phkn_aer_r1='+FloatToStr(phkn_aer_r1));
For k:=1 to n_phk_aer_r1 do FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_phk_aer_r1['+IntToStr(k)+']='+FloatToStr(m_phk_aer_r1[k])); }
Infer(mf_output_aer_r1,ru_aer_r1,n_dphk_aer_r1,n_dphk1_aer_r1,n_phk_aer_r1,n_output_aer_r1,m_dphk_aer_r1,m_dphk1_aer_r1,m_phk_aer_r1,crp_aer_r1); // Pesquisa fuzzy da fase aeróbia
{FrmAutoma.ListBox1.Items.Add(' ');
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('n_output_aer_r1='+IntToStr(n_output_aer_r1));
For k:=1 to n_output_aer_r1 do
begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_output_aer_r1['+IntToStr(k)+';1]='+FloatToStr(mf_output_aer_r1[k,1]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_output_aer_r1['+IntToStr(k)+';2]='+FloatToStr(mf_output_aer_r1[k,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_output_aer_r1['+IntToStr(k)+';3]='+FloatToStr(mf_output_aer_r1[k,3]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_output_aer_r1['+IntToStr(k)+';4]='+FloatToStr(mf_output_aer_r1[k,4]));
end;
For k:=1 to n_dphk_aer_r1 do // Linha
begin
For j:=1 to n_dphk1_aer_r1 do // Coluna
begin
For i:=1 to n_phk_aer_r1 do // Afastamento
begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('ru_aer_r1['+IntToStr(k)+';'+IntToStr(j)+';'+IntToStr(i)+']='+FloatToStr(ru_aer_r1[k,j,i]));
end;
end;
end;
end;

```

```

        For k:=1 to n_dphk_aer_r1 do
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_dphk_aer_r1['+IntToStr(k)+']='+FloatToStr(m_dphk_aer_r1[k]));
        For k:=1 to n_dphk1_aer_r1 do
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_dphk1_aer_r1['+IntToStr(k)+']='+FloatToStr(m_dphk1_aer_r1[k]));
            For k:=1 to n_phk_aer_r1 do FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_phk_aer_r1['+IntToStr(k)+']='+FloatToStr(m_phk_aer_r1[k]));
            FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('crp_aer_r1='+FloatToStr(crp_aer_r1)); }
            Desnormal_aer_r1(crp_aer_r1,pop1_ph_min_r1,pop2_ph_cte_r1,pop3_ph_max_r1,pna_ph_nar_r1); // Pesquisa fuzzy da fase aeróbia
            FrmAutoma.ListBox1.Items.Add(' ');
            FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('crp_aer_r1='+FloatToStr(crp_aer_r1));
            FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('1 é o ponto - 0 não é o ponto');
            FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Pto operação 01 = '+IntToStr(pop1_ph_min_r1));
            FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Pto operação 02 = '+IntToStr(pop2_ph_cte_r1));
            FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Pto operação 03 = '+IntToStr(pop3_ph_max_r1));
            FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Pto operação na = '+IntToStr(pna_ph_nar_r1)); }
            AssignFile(Arqinfr1,'Rinfer1.TXT'); // Reator 1 - Atualiza arquivo de inferência
            Append(Arqinfr1);
            Writeln(Arqinfr1,format('%18s%5s%10s%10s%10s%2s%10s%10s%10s',[Sdata_tempo,'Aer',FloatToStr(Ph_brt[1,0]),FloatToStr(Ph_brt[1,1]),Fl
oatToStr(Ph_brt[1,2]),'&',FloatToStr(Ph[1,0]),FloatToStr(Ph[1,1]),FloatToStr(Ph[1,2])]);
            Write(Arqinfr1,FloatToStr(dphkn_aer_r1)+' ');
            For k:=1 to n_dphk_aer_r1 do Write(Arqinfr1,FloatToStr(m_dphk_aer_r1[k])+' ');
            Writeln(Arqinfr1, ' ');
            Write(Arqinfr1,FloatToStr(dphk1n_aer_r1)+' ');
            For k:=1 to n_dphk1_aer_r1 do Write(Arqinfr1,FloatToStr(m_dphk1_aer_r1[k])+' ');
            Writeln(Arqinfr1, ' ');
            Write(Arqinfr1,FloatToStr(phkn_aer_r1)+' ');
            For k:=1 to n_phk_aer_r1 do Write(Arqinfr1,FloatToStr(m_phk_aer_r1[k])+' ');
            Writeln(Arqinfr1, ' ');
            Write(Arqinfr1,FloatToStr(crp_aer_r1)+' ');
            Writeln(Arqinfr1,format('%3s%3s%3s%3s',[IntToStr(pop1_ph_min_r1),IntToStr(pop2_ph_cte_r1),IntToStr(pop3_ph_max_r1),IntToStr(pna_ph
_nar_r1)]));

```

```

CloseFile(Arqinfr1);
If ( pop1_ph_min_r1 = 1 ) then // Pesquisa no ph, o ponto de mínimo
begin
Dec_ph_min[1]:=1; // Guarda o achado do ph_min durante o evento aeróbio, zero indica que não achou ainda
end;
If ( Dec_ph_min[1] = 1 ) then
begin
If ( pop2_ph_cte_r1 = 1 ) then // Pesquisa no ph, o ponto constante detectado após o ponto de mínimo
begin
Dec_ph_cte[1]:=1; // Guarda o achado do ph_constante durante o evento aeróbio, zero indica que não achou ainda
end;
If ( Dec_ph_cte[1] = 1 ) then
begin
If ( pop3_ph_max_r1 = 1 ) then // Pesquisa no ph o ponto máximo, detectado após o ponto zero (constante)
begin
Dec_ph_max[1]:=1; // Guarda o achado do ph_max durante o evento aeróbio, zero indica que não achou ainda
end;
If ( Dec_ph_max[1] = 1 ) then
begin
Inc( Cnt_adc_aer_r1 );
If ( Cnt_adc_aer_r1 = Adc_aer_r1 ) then
begin
Muda_tab_plan1 ( Tmp_durrcics[1],Evento[1] ); // Retorna Tmp_duract[1,evento]
end;
end;
end;
end;
end;
end;

If Spsq[1,Evento[1]] = ' Anx' then // Pesquisa dos pontos de inflexões A e B, no redox

```

```

begin
FrmAutoma.Label29.Caption:='Anx-1º';
Normal_anx_r1(Red[1,0],Red[1,1],Red[1,2],Od[1,2],IntervalDesejadoDecis1,dredkn_anx_r1,   dredk1n_anx_r1,odkn_anx_r1); //
Pesquisa fuzzy da fase anóxica
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Red[1,0]='+FloatToStr(Red[1,0]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Red[1,1]='+FloatToStr(Red[1,1]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Red[1,2]='+FloatToStr(Red[1,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Od[1,2]='+FloatToStr(Od[1,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('IntervalDesejadoDecis1='+IntToStr(IntervalDesejadoDecis1));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dredkn_anx_r1='+FloatToStr(dredkn_anx_r1));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dredk1n_anx_r1='+FloatToStr(dredk1n_anx_r1));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('odkn_anx_r1='+FloatToStr(odkn_anx_r1)); }
Fuzzy_mf(mf_dredk_anx_r1,n_dredk_anx_r1,dredkn_anx_r1,m_dredk_anx_r1); // Pesquisa fuzzy da fase anóxica
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('n_dredk_anx_r1='+IntToStr(n_dredk_anx_r1));
For k:=1 to n_dredk_anx_r1 do
begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dredk_anx_r1['+IntToStr(k)+'1]='+FloatToStr(mf_dredk_anx_r1[k,1]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dredk_anx_r1['+IntToStr(k)+'2]='+FloatToStr(mf_dredk_anx_r1[k,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dredk_anx_r1['+IntToStr(k)+'3]='+FloatToStr(mf_dredk_anx_r1[k,3]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dredk_anx_r1['+IntToStr(k)+'4]='+FloatToStr(mf_dredk_anx_r1[k,4]));
end;
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dredkn_anx_r1='+FloatToStr(dredkn_anx_r1));
For           k:=1           to           n_dredk_anx_r1           do
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_dredk_anx_r1['+IntToStr(k)+']='+FloatToStr(m_dredk_anx_r1[k])); }
Fuzzy_mf(mf_dredk1_anx_r1,n_dredk1_anx_r1,dredk1n_anx_r1,m_dredk1_anx_r1); // Pesquisa fuzzy da fase anóxica
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('n_dredk1_anx_r1='+IntToStr(n_dredk1_anx_r1));
For k:=1 to n_dredk1_anx_r1 do
begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dredk1_anx_r1['+IntToStr(k)+'1]='+FloatToStr(mf_dredk1_anx_r1[k,1]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dredk1_anx_r1['+IntToStr(k)+'2]='+FloatToStr(mf_dredk1_anx_r1[k,2]));

```

```

FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dredk1_anx_r1['+IntToStr(k)+'3]='+FloatToStr(mf_dredk1_anx_r1[k,3]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dredk1_anx_r1['+IntToStr(k)+'4]='+FloatToStr(mf_dredk1_anx_r1[k,4]));
end;
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dredk1n_anx_r1='+FloatToStr(dredk1n_anx_r1));
For k:=1 to n_dredk1_anx_r1 do
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_dredk1_anx_r1['+IntToStr(k)+']='+FloatToStr(m_dredk1_anx_r1[k])); }
Fuzzy_mf(mf_odk_anx_r1,n_odk_anx_r1,odkn_anx_r1,m_odk_anx_r1); // Pesquisa fuzzy da fase anóxica
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('n_odk_anx_r1='+IntToStr(n_odk_anx_r1));
For k:=1 to n_odk_anx_r1 do
begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_odk_anx_r1['+IntToStr(k)+'1]='+FloatToStr(mf_odk_anx_r1[k,1]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_odk_anx_r1['+IntToStr(k)+'2]='+FloatToStr(mf_odk_anx_r1[k,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_odk_anx_r1['+IntToStr(k)+'3]='+FloatToStr(mf_odk_anx_r1[k,3]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_odk_anx_r1['+IntToStr(k)+'4]='+FloatToStr(mf_odk_anx_r1[k,4]));
end;
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('odkn_anx_r1='+FloatToStr(odkn_anx_r1));
For k:=1 to n_odk_anx_r1 do FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_odk_anx_r1['+IntToStr(k)+']='+FloatToStr(m_odk_anx_r1[k])); }
Infer(mf_output_anx_r1,ru_anx_r1,n_dredk_anx_r1,n_dredk1_anx_r1,n_odk_anx_r1,n_output_anx_r1,m_dredk_anx_r1,m_dredk1_anx_r1,m_o
dk_anx_r1,crp_anx_r1); // Pesquisa fuzzy da fase anóxica
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add(' ');
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('n_output_anx_r1='+IntToStr(n_output_anx_r1));
For k:=1 to n_output_anx_r1 do
begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_output_anx_r1['+IntToStr(k)+'1]='+FloatToStr(mf_output_anx_r1[k,1]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_output_anx_r1['+IntToStr(k)+'2]='+FloatToStr(mf_output_anx_r1[k,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_output_anx_r1['+IntToStr(k)+'3]='+FloatToStr(mf_output_anx_r1[k,3]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_output_anx_r1['+IntToStr(k)+'4]='+FloatToStr(mf_output_anx_r1[k,4]));
end;
For k:=1 to n_dredk_anx_r1 do // Linha
begin

```

```

For j:=1 to n_dredk1_anx_r1 do // Coluna
begin
For i:=1 to n_odk_anx_r1 do // Afastamento
begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('ru_anx_r1['+IntToStr(k)+'+'+IntToStr(j)+'+'+IntToStr(i)+'=''+FloatToStr(ru_anx_r1[k,j,i]));
end;
end;
end;
For k:=1 to n_dredk_anx_r1 do
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_dredk_anx_r1['+IntToStr(k)+'=''+FloatToStr(m_dredk_anx_r1[k]));
For k:=1 to n_dredk1_anx_r1 do
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_dredk1_anx_r1['+IntToStr(k)+'=''+FloatToStr(m_dredk1_anx_r1[k]));
For k:=1 to n_odk_anx_r1 do FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_odk_anx_r1['+IntToStr(k)+'=''+FloatToStr(m_odk_anx_r1[k]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('crp_anx_r1=''+FloatToStr(crp_anx_r1)); }
Desnormal_anx_r1(crp_anx_r1,pop1_red_jxa_r1,pna_red_nax_r1,pop2_red_jxb_r1); // Pesquisa fuzzy da fase anóxica
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add(' ');
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('crp_anx_r1=''+FloatToStr(crp_anx_r1));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('1 é o ponto - 0 não é o ponto');
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Pto operação 01 = '+IntToStr(pop1_red_jxa_r1));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Pto operação 02 = '+IntToStr(pop2_red_jxb_r1));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Pto operação na = '+IntToStr(pna_red_nax_r1)); }
AssignFile(Arqinfr1,'Rinfer1.TXT'); // Reator 1 - Atualiza arquivo de inferência
Append(Arqinfr1);
WriteLn(Arqinfr1,format('%18s%5s%10s%10s%10s%10s%2s%10s%10s%10s%10s',[Sdata_tempo,'Anx',FloatToStr(Red_brt[1,0]),FloatToStr(Red_brt[1,1]),FloatToStr(Red_brt[1,2]),FloatToStr(Od_brt[1,2]),'&',FloatToStr(Red[1,0]),FloatToStr(Red[1,1]),FloatToStr(Red[1,2]),FloatToStr(Od[1,2]))));
Write(Arqinfr1,FloatToStr(dredkn_anx_r1)+' ');
For k:=1 to n_dredk_anx_r1 do Write(Arqinfr1,FloatToStr(m_dredk_anx_r1[k])+' ');
WriteLn(Arqinfr1,' ');
Write(Arqinfr1,FloatToStr(dredk1n_anx_r1)+' ');

```

```

For k:=1 to n_dredk1_anx_r1 do Write(Arqinfr1,FloatToStr(m_dredk1_anx_r1[k])+' ');
Writeln(Arqinfr1,' ');
Write(Arqinfr1,FloatToStr(odkn_anx_r1)+' ');
For k:=1 to n_odk_anx_r1 do Write(Arqinfr1,FloatToStr(m_odk_anx_r1[k])+' ');
Writeln(Arqinfr1,' ');
Write(Arqinfr1,FloatToStr(crp_anx_r1)+' ');
Writeln(Arqinfr1,format('%3s%3s%3s',[IntToStr(pop1_red_jxa_r1),IntToStr(pna_red_nax_r1),IntToStr(pop2_red_jxb_r1)]));
CloseFile(Arqinfr1);
If ( pop1_red_jxa_r1 = 1 ) then
begin
Dec_red_jxa[1]:=1; // Guarda o achado do red_jxa (primeiro ponto) durante o evento anóxico, zero indica que não achou ainda
end;
If ( Dec_red_jxa[1] = 1 ) then
begin
If ( pop2_red_jxb_r1 = 1 ) then
begin
Dec_red_jxb[1]:=1; // Guarda o achado do red_jxb (segundo ponto) durante o evento anóxico, zero indica que não achou ainda
end;
If ( Dec_red_jxb[1] = 1 ) then
begin
Inc( Cnt_adc_anx_r1 );
If ( Cnt_adc_anx_r1 = Adc_anx_r1 ) then
begin
Muda_tab_plan1 ( Tmp_durrcics[1],Evento[1] ); // Retorna Tmp_duracpt[1,evento]
end;
end;
end;
end;
end;

```

```
FrmAutoma.Label57.Caption:=IntToStr(pop1_ph_man_r1)+' '+IntToStr(pop1_ph_min_r1)+' '+IntToStr(pop2_ph_cte_r1)+' '+IntToStr(pop3_ph_max_r1)+' '+IntToStr(pop1_red_jxa_r1)+' '+IntToStr(pop2_red_jxb_r1);
```

```
end;
```

```
end
```

```
else // Somente entra após a primeira inferência (já lido os 3 tempos iniciais )
```

```
  If ( Flg_prim_dec[1] = 0 ) and ( Tmp_dec[1] = (IntervalDesejadoDecis1 - 1) ) then
```

```
  begin
```

```
  Ph_brt[1,0]:=Ph_brt[1,1];
```

```
  Ph_brt[1,1]:=Ph_brt[1,2];
```

```
  Ph_brt[1,2]:=StrToFloat(Sph1c);
```

```
  Ph[1,0]:=Ph[1,1];
```

```
  Ph[1,1]:=Ph[1,2];
```

```
  Ph_fil[1,2]:=(Ph_brt[1,0]+Ph_brt[1,1]+Ph_brt[1,2])/3;
```

```
  Arred(Ph_fil[1,2], 2, Ph[1,2]); // Filtro pela área e arredondamento
```

```
  Red_brt[1,0]:=Red_brt[1,1];
```

```
  Red_brt[1,1]:=Red_brt[1,2];
```

```
  Red_brt[1,2]:=StrToFloat(Sred1c);
```

```
  Red[1,0]:=Red[1,1];
```

```
  Red[1,1]:=Red[1,2];
```

```
  Red_fil[1,2]:=(Red_brt[1,0]+Red_brt[1,1]+Red_brt[1,2])/3;
```

```
  Arred(Red_fil[1,2], 2, Red[1,2]); // Filtro pela área e arredondamento
```

```
  Od_brt[1,0]:=Od_brt[1,1];
```

```
  Od_brt[1,1]:=Od_brt[1,2];
```



```
Od_brt[1,2]:=StrToFloat(Sod1c);  
  
Od[1,0]:=Od[1,1];  
Od[1,1]:=Od[1,2];  
Od_fil[1,2]:=(Od_brt[1,0]+Od_brt[1,1]+Od_brt[1,2])/3;  
Arred(Od_fil[1,2], 2, Od[1,2]); // Filtro pela área e arredondamento
```

```
Temp_brt[1,0]:=Temp_brt[1,1];  
Temp_brt[1,1]:=Temp_brt[1,2];  
Temp_brt[1,2]:=StrToFloat(Stemp1c);
```

```
Temp[1,0]:=Temp[1,1];  
Temp[1,1]:=Temp[1,2];  
Temp_fil[1,2]:=(Temp_brt[1,0]+Temp_brt[1,1]+Temp_brt[1,2])/3;  
Arred(Temp_fil[1,2], 2, Temp[1,2]); // Filtro pela área e arredondamento  
FContDec[1]:=0; // Zera Contador de duração da inferência
```

```
If ( Spsq[1,Evento[1]] = ' Tmp' ) then // Não pesquisa nenhum ponto  
begin  
FrmAutoma.Label29.Caption:='Tmp';  
//Não muda tabela de planejamento  
end;
```

```
If ( Spsq[1,Evento[1]] = ' Ana' ) then // Pesquisa do ponto de máximo, no pH  
begin
```

```
FrmAutoma.Label29.Caption:='Ana';  
Normal_ana_r1(Ph[1,0],Ph[1,1],Ph[1,2],IntervalDesejadoDecis1,dphkn_ana_r1, dphk1n_ana_r1,phkn_ana_r1); //Pesquisa fuzzy da fase
```

anaeróbia

```
Fuzzy_mf(mf_dphk_ana_r1,n_dphk_ana_r1,dphkn_ana_r1,m_dphk_ana_r1); // Pesquisa fuzzy da fase anaeróbia  
Fuzzy_mf(mf_dphk1_ana_r1,n_dphk1_ana_r1,dphk1n_ana_r1,m_dphk1_ana_r1); // Pesquisa fuzzy da fase anaeróbia
```

```

Fuzzy_mf(mf_phk_ana_r1,n_phk_ana_r1,phkn_ana_r1,m_phk_ana_r1); // Pesquisa fuzzy da fase anaeróbia
Infer(mf_output_ana_r1,ru_ana_r1,n_dphk_ana_r1,n_dphk1_ana_r1,n_phk_ana_r1,n_output_ana_r1,m_dphk_ana_r1,m_dphk1_ana_r1,m_phk_
ana_r1,crp_ana_r1); // Pesquisa fuzzy da fase anaeróbia
Desnormal_ana_r1(crp_ana_r1,pop1_ph_man_r1,pna_ph_nan_r1); // Pesquisa fuzzy da fase anaeróbia
AssignFile(Arqinfr1,'Rinfer1.TXT'); // Reator 1 - Atualiza arquivo de inferência
Append(Arqinfr1);
Writeln(Arqinfr1,format('%18s%5s%10s%10s%10s%2s%10s%10s%10s',[Sdata_tempo,'Ana',FloatToStr(Ph_brt[1,0]),FloatToStr(Ph_brt[1,1]),Fl
oatToStr(Ph_brt[1,2]),'&',FloatToStr(Ph[1,0]),FloatToStr(Ph[1,1]),FloatToStr(Ph[1,2])]);
Write(Arqinfr1,FloatToStr(dphkn_ana_r1)+' ');
For k:=1 to n_dphk_ana_r1 do Write(Arqinfr1,FloatToStr(m_dphk_ana_r1[k])+' ');
Writeln(Arqinfr1, ' ');
Write(Arqinfr1,FloatToStr(dphk1n_ana_r1)+' ');
For k:=1 to n_dphk1_ana_r1 do Write(Arqinfr1,FloatToStr(m_dphk1_ana_r1[k])+' ');
Writeln(Arqinfr1, ' ');
Write(Arqinfr1,FloatToStr(phkn_ana_r1)+' ');
For k:=1 to n_phk_ana_r1 do Write(Arqinfr1,FloatToStr(m_phk_ana_r1[k])+' ');
Writeln(Arqinfr1, ' ');
Write(Arqinfr1,FloatToStr(crp_ana_r1)+' ');
Writeln(Arqinfr1,format('%3s%3s',[IntToStr(pop1_ph_man_r1),IntToStr(pna_ph_nan_r1)]));
CloseFile(Arqinfr1);
If ( pop1_ph_man_r1 = 1 ) then
begin
Dec_ph_man[1]:=1; // Guarda o achado do ph_man durante o evento anaeróbio, zero indica que não achou ainda
end;
If ( Dec_ph_man[1] = 1 ) then
begin
Inc( Cnt_adc_ana_r1 );
If ( Cnt_adc_ana_r1 = Adc_ana_r1 ) then // Quantidade de duração adicional, em IntervalDesejadoDecis1, - 1, após a detecção do
último ponto notável na fase anaeróbia
begin

```

```

        Muda_tab_plan1 ( Tmp_durrcics[1],Evento[1] ); // Retorna Tmp_duractp[1,evento]
    end;
end;
end;

If Spsq[1,Evento[1]] = ' Aer' then // Pesquisa do ponto de mínimo, constante e máximo, no pH
begin
FrmAutoma.Label29.Caption:='Aer';
Normal_aer_r1(Ph[1,0],Ph[1,1],Ph[1,2],IntervalDesejadoDecis1,dphkn_aer_r1, dphk1n_aer_r1,phkn_aer_r1); //Pesquisa fuzzy da fase
aeróbia
Fuzzy_mf(mf_dphk_aer_r1,n_dphk_aer_r1,dphkn_aer_r1,m_dphk_aer_r1); // Pesquisa fuzzy da fase aeróbia
Fuzzy_mf(mf_dphk1_aer_r1,n_dphk1_aer_r1,dphk1n_aer_r1,m_dphk1_aer_r1); // Pesquisa fuzzy da fase aeróbia
Fuzzy_mf(mf_phk_aer_r1,n_phk_aer_r1,phkn_aer_r1,m_phk_aer_r1); // Pesquisa fuzzy da fase aeróbia
Infer(mf_output_aer_r1,ru_aer_r1,n_dphk_aer_r1,n_dphk1_aer_r1,n_phk_aer_r1,n_output_aer_r1,m_dphk_aer_r1,m_dphk1_aer_r1,m_phk_aer_r1,crp_aer_r1); // Pesquisa fuzzy da fase aeróbia
Desnormal_aer_r1(crp_aer_r1,pop1_ph_min_r1,pop2_ph_cte_r1,pop3_ph_max_r1,pna_ph_nar_r1); // Pesquisa fuzzy da fase aeróbia
AssignFile(Arqinfr1,'Rinfer1.TXT'); // Reator 1 - Atualiza arquivo de inferência
Append(Arqinfr1);
Writeln(Arqinfr1,format('%18s%5s%10s%10s%10s%2s%10s%10s%10s',[Sdata_tempo,'Aer',FloatToStr(Ph_brt[1,0]),FloatToStr(Ph_brt[1,1]),FloatToStr(Ph_brt[1,2]),'&',FloatToStr(Ph[1,0]),FloatToStr(Ph[1,1]),FloatToStr(Ph[1,2])]);
Write(Arqinfr1,FloatToStr(dphkn_aer_r1)+' ');
For k:=1 to n_dphk_aer_r1 do Write(Arqinfr1,FloatToStr(m_dphk_aer_r1[k])+' ');
Writeln(Arqinfr1,' ');
Write(Arqinfr1,FloatToStr(dphk1n_aer_r1)+' ');
For k:=1 to n_dphk1_aer_r1 do Write(Arqinfr1,FloatToStr(m_dphk1_aer_r1[k])+' ');
Writeln(Arqinfr1,' ');
Write(Arqinfr1,FloatToStr(phkn_aer_r1)+' ');
For k:=1 to n_phk_aer_r1 do Write(Arqinfr1,FloatToStr(m_phk_aer_r1[k])+' ');
Writeln(Arqinfr1,' ');
Write(Arqinfr1,FloatToStr(crp_aer_r1)+' ');

```

```

Writeln(Arqinfr1,format('%3s%3s%3s%3s',[IntToStr(pop1_ph_min_r1),IntToStr(pop2_ph_cte_r1),IntToStr(pop3_ph_max_r1),IntToStr(pna_ph
_nar_r1)]));
CloseFile(Arqinfr1);
If ( pop1_ph_min_r1 = 1 ) then // Pesquisa no ph, o ponto de mínimo
begin
Dec_ph_min[1]:=1; // Guarda o achado do ph_min durante o evento aeróbio, zero indica que não achou ainda
end;
If ( Dec_ph_min[1] = 1 ) then
begin
If ( pop2_ph_cte_r1 = 1 ) then // Pesquisa no ph, o ponto constante detectado após o ponto de mínimo
begin
Dec_ph_cte[1]:=1; // Guarda o achado do ph_constante durante o evento aeróbio, zero indica que não achou ainda
end;
If ( Dec_ph_cte[1] = 1 ) then
begin
If ( pop3_ph_max_r1 = 1 ) then // Pesquisa no ph o ponto máximo, detectado após o ponto zero (constante)
begin
Dec_ph_max[1]:=1; // Guarda o achado do ph_max durante o evento aeróbio, zero indica que não achou ainda
end;
If ( Dec_ph_max[1] = 1 ) then
begin
Inc( Cnt_adc_aer_r1 );
If ( Cnt_adc_aer_r1 = Adc_aer_r1 ) then
begin
Muda_tab_plan1 ( Tmp_durrcics[1],Evento[1] ); // Retorna Tmp_duracpt[1,evento]
end;
end;
end;
end;
end;
end;
end;

```

```

If Spsq[1,Evento[1]] = 'Anx' then // Pesquisa dos pontos de inflexões A e B, no redox
begin
FrmAutoma.Label29.Caption:='Anx';
Normal_anx_r1(Red[1,0],Red[1,1],Red[1,2],Od[1,2],IntervalDesejadoDecis1,dredkn_anx_r1,          dredk1n_anx_r1,odkn_anx_r1);
//Pesquisa fuzzy da fase anóxica
Fuzzy_mf(mf_dredk_anx_r1,n_dredk_anx_r1,dredkn_anx_r1,m_dredk_anx_r1); // Pesquisa fuzzy da fase anóxica
Fuzzy_mf(mf_dredk1_anx_r1,n_dredk1_anx_r1,dredk1n_anx_r1,m_dredk1_anx_r1); // Pesquisa fuzzy da fase anóxica
Fuzzy_mf(mf_odk_anx_r1,n_odk_anx_r1,odkn_anx_r1,m_odk_anx_r1); // Pesquisa fuzzy da fase anóxica
Infer(mf_output_anx_r1,ru_anx_r1,n_dredk_anx_r1,n_dredk1_anx_r1,n_odk_anx_r1,n_output_anx_r1,m_dredk_anx_r1,m_dredk1_anx_r1,m_o
dk_anx_r1,crp_anx_r1); // Pesquisa fuzzy da fase anóxica
Desnormal_anx_r1(crp_anx_r1,pop1_red_jxa_r1,pna_red_nax_r1,pop2_red_jxb_r1); // Pesquisa fuzzy da fase anóxica
AssignFile(Arqinfr1,'Rinfer1.TXT'); // Reator 1 - Atualiza arquivo de inferência
Append(Arqinfr1);
Writeln(Arqinfr1,format('%18s%5s%10s%10s%10s%10s%2s%10s%10s%10s%10s',[Sdata_tempo,'Anx',FloatToStr(Red_brt[1,0]),FloatToStr(R
ed_brt[1,1]),FloatToStr(Red_brt[1,2]),FloatToStr(Od_brt[1,2]),'&',FloatToStr(Red[1,0]),FloatToStr(Red[1,1]),FloatToStr(Red[1,2]),FloatToStr(
Od[1,2]))));
Write(Arqinfr1,FloatToStr(dredkn_anx_r1)+' ');
For k:=1 to n_dredk_anx_r1 do Write(Arqinfr1,FloatToStr(m_dredk_anx_r1[k])+' ');
Writeln(Arqinfr1,' ');
Write(Arqinfr1,FloatToStr(dredk1n_anx_r1)+' ');
For k:=1 to n_dredk1_anx_r1 do Write(Arqinfr1,FloatToStr(m_dredk1_anx_r1[k])+' ');
Writeln(Arqinfr1,' ');
Write(Arqinfr1,FloatToStr(odkn_anx_r1)+' ');
For k:=1 to n_odk_anx_r1 do Write(Arqinfr1,FloatToStr(m_odk_anx_r1[k])+' ');
Writeln(Arqinfr1,' ');
Write(Arqinfr1,FloatToStr(crp_anx_r1)+' ');
Writeln(Arqinfr1,format('%3s%3s%3s',[IntToStr(pop1_red_jxa_r1),IntToStr(pna_red_nax_r1),IntToStr(pop2_red_jxb_r1)]));
CloseFile(Arqinfr1);
If ( pop1_red_jxa_r1 = 1 ) then

```

```

begin
Dec_red_jxa[1]:=1; // Guarda o achado do red_jxa (primeiro ponto) durante o evento anóxico, zero indica que não achou ainda
end;
If ( Dec_red_jxa[1] = 1 ) then
begin
If ( pop2_red_jxb_r1 = 1 ) then
begin
Dec_red_jxb[1]:=1; // Guarda o achado do red_jxb (segundo ponto) durante o evento anóxico, zero indica que não achou ainda
end;
If ( Dec_red_jxb[1] = 1 ) then
begin
Inc( Cnt_adc_anx_r1 );
If ( Cnt_adc_anx_r1 = Adc_anx_r1 ) then
begin
Muda_tab_plan1 ( Tmp_durrcics[1],Evento[1] ); // Retorna Tmp_duract[1,evento]
end;
end;
end;
end;

FrmAutoma.Label57.Caption:=IntToStr(pop1_ph_man_r1)+' '+IntToStr(pop1_ph_min_r1)+' '+IntToStr(pop2_ph_cte_r1)+'
'+IntToStr(pop3_ph_max_r1)+' '+IntToStr(pop1_red_jxa_r1)+' '+IntToStr(pop2_red_jxb_r1);

end;
//-----

For i:=1 to Noev[1] do // Reator 1 - Define o evento do ciclo que ocorre no momento. Compara a duração realizada com a prevista
begin
If (Tmp_durrcics[1] >= Tmp_duract[1,i-1]) and (Tmp_durrcics[1] <= (Tmp_duract[1,i])) then
Evento[1]:=i;

```

```

end;

If (Evento[1] <> Evento_ant[1]) then // Reator 1 - Reconhece a mudança de evento e grava a marca no arquivo de sensores
begin
Evento_ant[1]:=Evento[1];
Flg_prim_dec[1]:=1;// Início da primeira inferência após a mudança de evento
FContDec[1]:=1; // Inicializa contador de duração da inferência
Dec_ph_man[1]:=0; // Guarda o achado do ph_man durante o evento anaeróbio, (0) indica que não achou ainda, e (1) indica que achou
Cnt_adc_ana_r1:=0; // Contador para adicionar uma duração após a detecção do ponto ph_man, durante o evento anaeróbio
Dec_ph_min[1]:=0; // Guarda o achado do ph_min durante o evento aeróbio, (0) indica que não achou ainda, e (1) indica que achou
Dec_ph_cte[1]:=0; // Guarda o achado do ph_cte durante o evento aeróbio, (0) indica que não achou ainda, e (1) indica que achou
Dec_ph_max[1]:=0; // Guarda o achado do ph_max durante o evento aeróbio, (0) indica que não achou ainda, e (1) indica que achou
Cnt_adc_aer_r1:=0; // Contador para adicionar uma duração após a detecção do ponto ph_max, durante o evento aeróbio
Dec_red_jxa[1]:=0; // Guarda o achado do red_jxa (primeiro ponto) durante o evento anóxico, (0) indica que não achou ainda, e (1) indica
que achou
Dec_red_jxb[1]:=0; // Guarda o achado do red_jxb (segundo ponto) durante o evento anóxico, (0) indica que não achou ainda, e (1) indica
que achou
Cnt_adc_anx_r1:=0; // Contador para adicionar uma duração após a detecção do ponto red_jxb, durante o evento anóxico
FrmAutoma.Label29.Caption:=Spsq[1,Evento[1]]+'-1º';
FrmAutoma.Label38.Caption:=' 0';
FrmAutoma.Label40.Caption:=Sdata_tempo; // Mudança do evento atual
AssignFile(Arqreat1,'Reator1.TXT');
Append(Arqreat1);
WriteLn( Arqreat1,format('%19s%12s%12s%12s%12s',[Sdata_tempo,' ',' ',' '])+ ' Início evento '+IntToStr(Evento[1])+' - Nº Cic Acum '+
IntToStr(Nciclo[1])+' - durrcics '+ IntToStr(Tmp_durrcics[1]) );
CloseFile(Arqreat1);
end;

FrmAutoma.Label12.Caption:=IntToStr( Tmp_durrcics[1] ); // Reator 1 - Visualização
FrmAutoma.Label39.Caption:=IntToStr( Tmp_duracpt[1,Noev[1]] );

```

```
FrmAutoma.Label14.Caption:=IntToStr(Evento[1]);
```

```
If Sitener[2]='ON_DEF' then // Reator 2 - Na falta de energia, acrescenta a duração já realizada na duração do ciclo. Este bloco somente é executado no ciclo que faltou energia.
```

```
begin
```

```
  Tmp_durrcics[2]:=StrToInt(Tmp_sdurrcics_def[2]);
```

```
  FContCics[2]:=Tmp_durrcics[2]+1;
```

```
  Sitener[2]:='ON'; // Controle do ciclo que faltou energia, volta ciclo normal
```

```
end
```

```
  Else
```

```
  begin
```

```
    Inc ( FContCics[2] );
```

```
    Tmp_durrcics[2]:=FContCics[2]-1;
```

```
  end;
```

```
//-----
```

```
// Reator 2 - Inferência
```

```
If ( Flg_prim_dec[2] = 1 ) then // Reator 2 - Inferência, com a mudança na tabela de planejamento horário (atribuído anteriormente ao vetor temporário Tmp_duracpt[2,Evento], na criação do formulário FrmAutoma). A inferência depende da indicação da pesquisa (Tmp,Ana,Aer,Anx). No início de cada evento, acumula-se 3 valores medidos, para então fazer a primeira inferência, a partir disto, faz-se a inferência a cada valor lido no intervalo (IntervalDesejadoDecis2)
```

```
begin
```

```
  FrmAutoma.Label42.Caption:=Spsq[2,Evento[2]]+'-1º';
```

```
  If (Tmp_dec[2] = 0 ) then
```

```
  begin
```

```
    Ph_brt[2,0]:=StrToFloat(Sph2c);
```

```
    Ph_fil[2,0]:=Ph_brt[2,0];
```

```
    Arred(Ph_fil[2,0], 2, Ph[2,0]); // Filtro pela área e arredondamento
```

```
    Red_brt[2,0]:=StrToFloat(Sred2c);
```



```

Red_fil[2,0]:=Red_brt[2,0];
Arred(Red_fil[2,0], 2, Red[2,0]); // Filtro pela área e arredondamento
Od_brt[2,0]:=StrToFloat(Sod2c);
Od_fil[2,0]:=Od_brt[2,0];
Arred(Od_fil[2,0], 2, Od[2,0]); // Filtro pela área e arredondamento
Temp_brt[2,0]:=StrToFloat(Stemp2c);
Temp_fil[2,0]:=Temp_brt[2,0];
Arred(Temp_fil[2,0],2,Temp[2,0]); // Filtro pela área e arredondamento
end;

```

```

If (Tmp_dec[2] = IntervalDesejadoDecis2 ) then
begin
Ph_brt[2,1]:=StrToFloat(Sph2c);
Ph_fil[2,1]:=(Ph_brt[2,0]+Ph_brt[2,1])/2;
Arred(Ph_fil[2,1], 2, Ph[2,1]); // Filtro pela área e arredondamento
Red_brt[2,1]:=StrToFloat(Sred2c);
Red_fil[2,1]:=(Red_brt[2,0]+Red_brt[2,1])/2;
Arred(Red_fil[2,1], 2, Red[2,1]); // Filtro pela área e arredondamento
Od_brt[2,1]:=StrToFloat(Sod2c);
Od_fil[2,1]:=(Od_brt[2,0]+Od_brt[2,1])/2;
Arred(Od_fil[2,1], 2, Od[2,1]); // Filtro pela área e arredondamento
Temp_brt[2,1]:=StrToFloat(Stemp2c);
Temp_fil[2,1]:=(Temp_brt[2,0]+Temp_brt[2,1])/2;
Arred(Temp_fil[2,1], 2, Temp[2,1]); // Filtro pela área e arredondamento
end;

```

```

If (Tmp_dec[2] = 2*IntervalDesejadoDecis2 ) then
begin
Ph_brt[2,2]:=StrToFloat(Sph2c);
Ph_fil[2,2]:=(Ph_brt[2,0]+Ph_brt[2,1]+Ph_brt[2,2])/3;

```

```

Arred(Ph_fil[2,2], 2, Ph[2,2]); // Filtro pela área e arredondamento
Red_brt[2,2]:=StrToFloat(Sred2c);
Red_fil[2,2]:=(Red_brt[2,0]+Red_brt[2,1]+Red_brt[2,2])/3;
Arred(Red_fil[2,2], 2, Red[2,2]); // Filtro pela área e arredondamento
Od_brt[2,2]:=StrToFloat(Sod2c);
Od_fil[2,2]:=(Od_brt[2,0]+Od_brt[2,1]+Od_brt[2,2])/3;
Arred(Od_fil[2,2], 2, Od[2,2]); // Filtro pela área e arredondamento
Temp_brt[2,2]:=StrToFloat(Stemp2c);
Temp_fil[2,2]:=(Temp_brt[2,0]+Temp_brt[2,1]+Temp_brt[2,2])/3;
Arred(Temp_fil[2,2], 2, Temp[2,2]); // Filtro pela área e arredondamento
Flg_prim_dec[2]:=0; // Fim da primeira inferência
FContDec[2]:=0; // Zera Contador de duração da inferência

```

```

If ( Spsq[2,Evento[2]] = ' Tmp' ) then // Não pesquisa nenhum ponto
begin
FrmAutoma.Label42.Caption:='Tmp-1º';
//Não muda tabela de planejamento
end;

```

```

If ( Spsq[2,Evento[2]] = ' Ana' ) then // Pesquisa do ponto de máximo, no pH
begin

```

```

FrmAutoma.Label42.Caption:='Ana-1º';

```

```

Normal_ana_r2(Ph[2,0],Ph[2,1],Ph[2,2],IntervalDesejadoDecis2,dphkn_ana_r2, dphk1n_ana_r2,phkn_ana_r2); //Pesquisa fuzzy da fase
anaeróbia

```

```

FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Ph[2,0]='+FloatToStr(Ph[2,0]));

```

```

FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Ph[2,1]='+FloatToStr(Ph[2,1]));

```

```

FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Ph[2,2]='+FloatToStr(Ph[2,2]));

```

```

FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('IntervalDesejadoDecis2='+IntToStr(IntervalDesejadoDecis2));

```

```

FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dphkn_ana_r2='+FloatToStr(dphkn_ana_r2));

```

```

FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dphk1n_ana_r2='+FloatToStr(dphk1n_ana_r2));

```

```

FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('phkn_ana_r2='+FloatToStr(phkn_ana_r2)); }
Fuzzy_mf(mf_dphk_ana_r2,n_dphk_ana_r2,dphkn_ana_r2,m_dphk_ana_r2); // Pesquisa fuzzy da fase anaeróbia
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('n_dphk_ana_r2='+IntToStr(n_dphk_ana_r2));
For k:=1 to n_dphk_ana_r2 do
begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk_ana_r2['+IntToStr(k)+'1]='+FloatToStr(mf_dphk_ana_r2[k,1]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk_ana_r2['+IntToStr(k)+'2]='+FloatToStr(mf_dphk_ana_r2[k,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk_ana_r2['+IntToStr(k)+'3]='+FloatToStr(mf_dphk_ana_r2[k,3]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk_ana_r2['+IntToStr(k)+'4]='+FloatToStr(mf_dphk_ana_r2[k,4]));
end;
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dphkn_ana_r2='+FloatToStr(dphkn_ana_r2));
For k:=1 to n_dphk_ana_r2 do
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_dphk_ana_r2['+IntToStr(k)+']='+FloatToStr(m_dphk_ana_r2[k])); }
Fuzzy_mf(mf_dphk1_ana_r2,n_dphk1_ana_r2,dphk1n_ana_r2,m_dphk1_ana_r2); // Pesquisa fuzzy da fase anaeróbia
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('n_dphk1_ana_r2='+IntToStr(n_dphk1_ana_r2));
For k:=1 to n_dphk1_ana_r2 do
begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk1_ana_r2['+IntToStr(k)+'1]='+FloatToStr(mf_dphk1_ana_r2[k,1]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk1_ana_r2['+IntToStr(k)+'2]='+FloatToStr(mf_dphk1_ana_r2[k,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk1_ana_r2['+IntToStr(k)+'3]='+FloatToStr(mf_dphk1_ana_r2[k,3]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk1_ana_r2['+IntToStr(k)+'4]='+FloatToStr(mf_dphk1_ana_r2[k,4]));
end;
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dphk1n_ana_r2='+FloatToStr(dphk1n_ana_r2));
For k:=1 to n_dphk1_ana_r2 do
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_dphk1_ana_r2['+IntToStr(k)+']='+FloatToStr(m_dphk1_ana_r2[k])); }
Fuzzy_mf(mf_phk_ana_r2,n_phk_ana_r2,phkn_ana_r2,m_phk_ana_r2); // Pesquisa fuzzy da fase anaeróbia
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('n_phk_ana_r2='+IntToStr(n_phk_ana_r2));
For k:=1 to n_phk_ana_r2 do
begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_phk_ana_r2['+IntToStr(k)+'1]='+FloatToStr(mf_phk_ana_r2[k,1]));

```

```

FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_phk_ana_r2['+IntToStr(k)+'2]='+FloatToStr(mf_phk_ana_r2[k,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_phk_ana_r2['+IntToStr(k)+'3]='+FloatToStr(mf_phk_ana_r2[k,3]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_phk_ana_r2['+IntToStr(k)+'4]='+FloatToStr(mf_phk_ana_r2[k,4]));
end;
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('phkn_ana_r2='+FloatToStr(phkn_ana_r2));
For k:=1 to n_phk_ana_r2 do FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_phk_ana_r2['+IntToStr(k)+']='+FloatToStr(m_phk_ana_r2[k])); }
Infer(mf_output_ana_r2,ru_ana_r2,n_dphk_ana_r2,n_dphk1_ana_r2,n_phk_ana_r2,n_output_ana_r2,m_dphk_ana_r2,m_dphk1_ana_r2,m_phk_
ana_r2,crp_ana_r2); // Pesquisa fuzzy da fase anaeróbia
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add(' ');
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('n_output_ana_r2='+IntToStr(n_output_ana_r2));
For k:=1 to n_output_ana_r2 do
begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_output_ana_r2['+IntToStr(k)+'1]='+FloatToStr(mf_output_ana_r2[k,1]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_output_ana_r2['+IntToStr(k)+'2]='+FloatToStr(mf_output_ana_r2[k,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_output_ana_r2['+IntToStr(k)+'3]='+FloatToStr(mf_output_ana_r2[k,3]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_output_ana_r2['+IntToStr(k)+'4]='+FloatToStr(mf_output_ana_r2[k,4]));
end;
For k:=1 to n_dphk_ana_r2 do // Linha
begin
For j:=1 to n_dphk1_ana_r2 do // Coluna
begin
For i:=1 to n_phk_ana_r2 do // Afastamento
begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('ru_ana_r2['+IntToStr(k)+''+IntToStr(j)+''+IntToStr(i)+']='+FloatToStr(ru_ana_r2[k,j,i]));
end;
end;
end;
For
k:=1
to
n_dphk_ana_r2
do
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_dphk_ana_r2['+IntToStr(k)+']='+FloatToStr(m_dphk_ana_r2[k]));

```

```

For k:=1 to n_dphk1_ana_r2 do
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_dphk1_ana_r2['+IntToStr(k)+']='+FloatToStr(m_dphk1_ana_r2[k]));
For k:=1 to n_phk_ana_r2 do FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_phk_ana_r2['+IntToStr(k)+']='+FloatToStr(m_phk_ana_r2[k]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('crp_ana_r2='+FloatToStr(crp_ana_r2)); }
Desnormal_ana_r2(crp_ana_r2,pop1_ph_man_r2,pna_ph_nan_r2); // Pesquisa fuzzy da fase anaeróbia
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add(' ');
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('crp_ana_r2='+FloatToStr(crp_ana_r2));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('1 é o ponto - 0 não é o ponto');
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Pto operação 01 = '+IntToStr(pop1_ph_man_r2));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Pto operação na = '+IntToStr(pna_ph_nan_r2)); }
AssignFile(Arqinfr2,'Rinfer2.TXT'); // Reator 2 - Atualiza arquivo de inferência
Append(Arqinfr2);
Writeln(Arqinfr2,format('%18s%5s%10s%10s%10s%2s%10s%10s%10s',[Sdata_tempo,'Ana',FloatToStr(Ph_brt[2,0]),FloatToStr(Ph_brt[2,1]),Fl
oatToStr(Ph_brt[2,2]),'&',FloatToStr(Ph[2,0]),FloatToStr(Ph[2,1]),FloatToStr(Ph[2,2])]);
Write(Arqinfr2,FloatToStr(dphkn_ana_r2)+' ');
For k:=1 to n_dphk_ana_r2 do Write(Arqinfr2,FloatToStr(m_dphk_ana_r2[k])+' ');
Writeln(Arqinfr2,' ');
Write(Arqinfr2,FloatToStr(dphk1n_ana_r2)+' ');
For k:=1 to n_dphk1_ana_r2 do Write(Arqinfr2,FloatToStr(m_dphk1_ana_r2[k])+' ');
Writeln(Arqinfr2,' ');
Write(Arqinfr2,FloatToStr(phkn_ana_r2)+' ');
For k:=1 to n_phk_ana_r2 do Write(Arqinfr2,FloatToStr(m_phk_ana_r2[k])+' ');
Writeln(Arqinfr2,' ');
Write(Arqinfr2,FloatToStr(crp_ana_r2)+' ');
Writeln(Arqinfr2,format('%3s%3s',[IntToStr(pop1_ph_man_r2),IntToStr(pna_ph_nan_r2)]));
CloseFile(Arqinfr2);
If ( pop1_ph_man_r2 = 1 ) then
begin
Dec_ph_man[2]:=1; // Guarda o achado do ph_man durante o evento anaeróbio, zero indica que não achou ainda
end;

```

```

    If ( Dec_ph_man[2] = 1 ) then
    begin
    Inc( Cnt_adc_ana_r2 );
    If ( Cnt_adc_ana_r2 = Adc_ana_r2 ) then // Quantidade de duração adicional,em IntervalDesejadoDecis2, - 1, após a detecção do
último ponto notável na fase anaeróbia
        begin
        Muda_tab_plan2 ( Tmp_durrcics[2],Evento[2] ); // Retorna Tmp_duract[2,evento]
        end;
    end;
end;

If Spsq[2,Evento[2]] = ' Aer' then // Pesquisa do ponto de mínimo, constante e máximo, no pH
begin
FrmAutoma.Label42.Caption:='Aer-1º';
Normal_aer_r2(Ph[2,0],Ph[2,1],Ph[2,2],IntervalDesejadoDecis2,dphkn_aer_r2, dphk1n_aer_r2,phkn_aer_r2); //Pesquisa fuzzy da fase
aeróbia
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Ph[2,0]='+FloatToStr(Ph[2,0]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Ph[2,1]='+FloatToStr(Ph[2,1]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Ph[2,2]='+FloatToStr(Ph[2,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('IntervalDesejadoDecis2='+IntToStr(IntervalDesejadoDecis2));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dphkn_aer_r2='+FloatToStr(dphkn_aer_r2));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dphk1n_aer_r2='+FloatToStr(dphk1n_aer_r2));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('phkn_aer_r2='+FloatToStr(phkn_aer_r2)); }
Fuzzy_mf(mf_dphk_aer_r2,n_dphk_aer_r2,dphkn_aer_r2,m_dphk_aer_r2); // Pesquisa fuzzy da fase aeróbia
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('n_dphk_aer_r2='+IntToStr(n_dphk_aer_r2));
For k:=1 to n_dphk_aer_r2 do
begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk_aer_r2['+IntToStr(k)+' ,1]='+FloatToStr(mf_dphk_aer_r2[k,1]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk_aer_r2['+IntToStr(k)+' ,2]='+FloatToStr(mf_dphk_aer_r2[k,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk_aer_r2['+IntToStr(k)+' ,3]='+FloatToStr(mf_dphk_aer_r2[k,3]));

```

```

FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk_aer_r2['+IntToStr(k)+'4]='+FloatToStr(mf_dphk_aer_r2[k,4]));
end;
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dphkn_aer_r2='+FloatToStr(dphkn_aer_r2));
For k:=1 to n_dphk_aer_r2 do FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_dphk_aer_r2['+IntToStr(k)+']='+FloatToStr(m_dphk_aer_r2[k]));
}

Fuzzy_mf(mf_dphk1_aer_r2,n_dphk1_aer_r2,dphk1n_aer_r2,m_dphk1_aer_r2); // Pesquisa fuzzy da fase aeróbia
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('n_dphk1_aer_r2='+IntToStr(n_dphk1_aer_r2));
For k:=1 to n_dphk1_aer_r2 do

begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk1_aer_r2['+IntToStr(k)+'1]='+FloatToStr(mf_dphk1_aer_r2[k,1]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk1_aer_r2['+IntToStr(k)+'2]='+FloatToStr(mf_dphk1_aer_r2[k,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk1_aer_r2['+IntToStr(k)+'3]='+FloatToStr(mf_dphk1_aer_r2[k,3]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dphk1_aer_r2['+IntToStr(k)+'4]='+FloatToStr(mf_dphk1_aer_r2[k,4]));
end;
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dphk1n_aer_r2='+FloatToStr(dphk1n_aer_r2));
For k:=1 to n_dphk1_aer_r2 do
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_dphk1_aer_r2['+IntToStr(k)+']='+FloatToStr(m_dphk1_aer_r2[k])); }
Fuzzy_mf(mf_phk_aer_r2,n_phk_aer_r2,phkn_aer_r2,m_phk_aer_r2); // Pesquisa fuzzy da fase aeróbia
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('n_phk_aer_r2='+IntToStr(n_phk_aer_r2));
For k:=1 to n_phk_aer_r2 do
begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_phk_aer_r2['+IntToStr(k)+'1]='+FloatToStr(mf_phk_aer_r2[k,1]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_phk_aer_r2['+IntToStr(k)+'2]='+FloatToStr(mf_phk_aer_r2[k,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_phk_aer_r2['+IntToStr(k)+'3]='+FloatToStr(mf_phk_aer_r2[k,3]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_phk_aer_r2['+IntToStr(k)+'4]='+FloatToStr(mf_phk_aer_r2[k,4]));
end;
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('phkn_aer_r2='+FloatToStr(phkn_aer_r2));
For k:=1 to n_phk_aer_r2 do FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_phk_aer_r2['+IntToStr(k)+']='+FloatToStr(m_phk_aer_r2[k])); }

```

```

Infer(mf_output_aer_r2,ru_aer_r2,n_dphk_aer_r2,n_dphk1_aer_r2,n_phk_aer_r2,n_output_aer_r2,m_dphk_aer_r2,m_dphk1_aer_r2,m_phk_aer_r2,crp_aer_r2); // Pesquisa fuzzy da fase aeróbia
    FrmAutoma.ListBox1.Items.Add(' ');
    FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('n_output_aer_r2='+IntToStr(n_output_aer_r2));
    For k:=1 to n_output_aer_r2 do
    begin
    FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_output_aer_r2['+IntToStr(k)+'',1]='+FloatToStr(mf_output_aer_r2[k,1]));
    FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_output_aer_r2['+IntToStr(k)+'',2]='+FloatToStr(mf_output_aer_r2[k,2]));
    FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_output_aer_r2['+IntToStr(k)+'',3]='+FloatToStr(mf_output_aer_r2[k,3]));
    FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_output_aer_r2['+IntToStr(k)+'',4]='+FloatToStr(mf_output_aer_r2[k,4]));
    end;
    For k:=1 to n_dphk_aer_r2 do // Linha
    begin
    For j:=1 to n_dphk1_aer_r2 do // Coluna
    begin
    For i:=1 to n_phk_aer_r2 do // Afastamento
    begin
    FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('ru_aer_r2['+IntToStr(k)+'','+IntToStr(j)+'','+IntToStr(i)+'']='+FloatToStr(ru_aer_r2[k,j,i]));
    end;
    end;
    end;
    For
        k:=1
        to
        n_dphk_aer_r2
    do
    FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_dphk_aer_r2['+IntToStr(k)+'']='+FloatToStr(m_dphk_aer_r2[k]);
    For
        k:=1
        to
        n_dphk1_aer_r2
    do
    FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_dphk1_aer_r2['+IntToStr(k)+'']='+FloatToStr(m_dphk1_aer_r2[k]);
    For k:=1 to n_phk_aer_r2 do FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_phk_aer_r2['+IntToStr(k)+'']='+FloatToStr(m_phk_aer_r2[k]);
    FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('crp_aer_r2='+FloatToStr(crp_aer_r2)); }
    Desnormal_aer_r2(crp_aer_r2,pop1_ph_min_r2,pop2_ph_cte_r2,pop3_ph_max_r2,pna_ph_nar_r2); // Pesquisa fuzzy da fase aeróbia
    FrmAutoma.ListBox1.Items.Add(' ');
    FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('crp_aer_r2='+FloatToStr(crp_aer_r2));

```



```

FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('1 é o ponto - 0 não é o ponto');
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Pto operação 01 = '+IntToStr(pop1_ph_min_r2));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Pto operação 02 = '+IntToStr(pop2_ph_cte_r2));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Pto operação 03 = '+IntToStr(pop3_ph_max_r2));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Pto operação na = '+IntToStr(pna_ph_nar_r2)); }
AssignFile(Arqinfr2,'Rinfer2.TXT'); // Reator 2 - Atualiza arquivo de inferência
Append(Arqinfr2);
Writeln(Arqinfr2,format('%18s%5s%10s%10s%10s%2s%10s%10s%10s',[Sdata_tempo,'Aer',FloatToStr(Ph_brt[2,0]),FloatToStr(Ph_brt[2,1]),Fl
oatToStr(Ph_brt[2,2]),'&',FloatToStr(Ph[2,0]),FloatToStr(Ph[2,1]),FloatToStr(Ph[2,2])]);
Write(Arqinfr2,FloatToStr(dphkn_aer_r2)+' ');
For k:=1 to n_dphk_aer_r2 do Write(Arqinfr2,FloatToStr(m_dphk_aer_r2[k])+' ');
Writeln(Arqinfr2, ' ');
Write(Arqinfr2,FloatToStr(dphk1n_aer_r2)+' ');
For k:=1 to n_dphk1_aer_r2 do Write(Arqinfr2,FloatToStr(m_dphk1_aer_r2[k])+' ');
Writeln(Arqinfr2, ' ');
Write(Arqinfr2,FloatToStr(phkn_aer_r2)+' ');
For k:=1 to n_phk_aer_r2 do Write(Arqinfr2,FloatToStr(m_phk_aer_r2[k])+' ');
Writeln(Arqinfr2, ' ');
Write(Arqinfr2,FloatToStr(crp_aer_r2)+' ');
Writeln(Arqinfr2,format('%3s%3s%3s%3s',[IntToStr(pop1_ph_min_r2),IntToStr(pop2_ph_cte_r2),IntToStr(pop3_ph_max_r2),IntToStr(pna_ph
_nar_r2)]));
CloseFile(Arqinfr2);
If ( pop1_ph_min_r2 = 1 ) then // Pesquisa no ph, o ponto de mínimo
begin
Dec_ph_min[2]:=1; // Guarda o achado do ph_min durante o evento aeróbio, zero indica que não achou ainda
end;
If ( Dec_ph_min[2] = 1 ) then
begin
If ( pop2_ph_cte_r2 = 1 ) then // Pesquisa no ph, o ponto constante detectado após o ponto de mínimo
begin

```

```

Dec_ph_cte[2]:=1; // Guarda o achado do ph_constante durante o evento aeróbio, zero indica que não achou ainda
end;
  If ( Dec_ph_cte[2] = 1 ) then
  begin
    If ( pop3_ph_max_r2 = 1 ) then // Pesquisa no ph o ponto máximo, detectado após o ponto zero (constante)
    begin
      Dec_ph_max[2]:=1; // Guarda o achado do ph_max durante o evento aeróbio, zero indica que não achou ainda
      end;
      If ( Dec_ph_max[2] = 1 ) then
      begin
        Inc( Cnt_adc_aer_r2 );
        If ( Cnt_adc_aer_r2 = Adc_aer_r2 ) then
        begin
          Muda_tab_plan2 ( Tmp_durrcics[2],Evento[2] ); // Retorna Tmp_duracpt[2,evento]
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;
end;

```

```

If Spsq[2,Evento[2]] = ' Anx' then // Pesquisa dos pontos de inflexões A e B, no redox
begin
  FrmAutoma.Label42.Caption:='Anx-1º';
  Normal_anx_r2(Red[2,0],Red[2,1],Red[2,2],Od[2,2],IntervalDesejadoDecis2,dredkn_anx_r2,   dredk1n_anx_r2,odkn_anx_r2); //
Pesquisa fuzzy da fase anóxica
  FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Red[2,0]='+FloatToStr(Red[2,0]));
  FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Red[2,1]='+FloatToStr(Red[2,1]));
  FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Red[2,2]='+FloatToStr(Red[2,2]));
  FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Od[2,2]='+FloatToStr(Od[2,2]));

```

```

FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('IntervalDesejadoDecis2='+IntToStr(IntervalDesejadoDecis2));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dredkn_anx_r2='+FloatToStr(dredkn_anx_r2));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dredk1n_anx_r2='+FloatToStr(dredk1n_anx_r2));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('odkn_anx_r2='+FloatToStr(odkn_anx_r2)); }
Fuzzy_mf(mf_dredk_anx_r2,n_dredk_anx_r2,dredkn_anx_r2,m_dredk_anx_r2); // Pesquisa fuzzy da fase anóxica
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('n_dredk_anx_r2='+IntToStr(n_dredk_anx_r2));
For k:=1 to n_dredk_anx_r2 do
begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dredk_anx_r2['+IntToStr(k)+'1]='+FloatToStr(mf_dredk_anx_r2[k,1]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dredk_anx_r2['+IntToStr(k)+'2]='+FloatToStr(mf_dredk_anx_r2[k,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dredk_anx_r2['+IntToStr(k)+'3]='+FloatToStr(mf_dredk_anx_r2[k,3]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dredk_anx_r2['+IntToStr(k)+'4]='+FloatToStr(mf_dredk_anx_r2[k,4]));
end;
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dredkn_anx_r2='+FloatToStr(dredkn_anx_r2));
For k:=1 to n_dredk_anx_r2 do
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_dredk_anx_r2['+IntToStr(k)+']='+FloatToStr(m_dredk_anx_r2[k])); }
Fuzzy_mf(mf_dredk1_anx_r2,n_dredk1_anx_r2,dredk1n_anx_r2,m_dredk1_anx_r2); // Pesquisa fuzzy da fase anóxica
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('n_dredk1_anx_r2='+IntToStr(n_dredk1_anx_r2));
For k:=1 to n_dredk1_anx_r2 do
begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dredk1_anx_r2['+IntToStr(k)+'1]='+FloatToStr(mf_dredk1_anx_r2[k,1]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dredk1_anx_r2['+IntToStr(k)+'2]='+FloatToStr(mf_dredk1_anx_r2[k,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dredk1_anx_r2['+IntToStr(k)+'3]='+FloatToStr(mf_dredk1_anx_r2[k,3]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_dredk1_anx_r2['+IntToStr(k)+'4]='+FloatToStr(mf_dredk1_anx_r2[k,4]));
end;
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('dredk1n_anx_r2='+FloatToStr(dredk1n_anx_r2));
For k:=1 to n_dredk1_anx_r2 do
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_dredk1_anx_r2['+IntToStr(k)+']='+FloatToStr(m_dredk1_anx_r2[k])); }
Fuzzy_mf(mf_odk_anx_r2,n_odk_anx_r2,odkn_anx_r2,m_odk_anx_r2); // Pesquisa fuzzy da fase anóxica
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('n_odk_anx_r2='+IntToStr(n_odk_anx_r2));

```

```

For k:=1 to n_odk_anx_r2 do
begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_odk_anx_r2['+IntToStr(k)+' ,1]='+FloatToStr(mf_odk_anx_r2[k,1]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_odk_anx_r2['+IntToStr(k)+' ,2]='+FloatToStr(mf_odk_anx_r2[k,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_odk_anx_r2['+IntToStr(k)+' ,3]='+FloatToStr(mf_odk_anx_r2[k,3]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_odk_anx_r2['+IntToStr(k)+' ,4]='+FloatToStr(mf_odk_anx_r2[k,4]));
end;
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('odkn_anx_r2='+FloatToStr(odkn_anx_r2));
For k:=1 to n_odk_anx_r2 do FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_odk_anx_r2['+IntToStr(k)+']='+FloatToStr(m_odk_anx_r2[k])); }
Infer(mf_output_anx_r2,ru_anx_r2,n_dredk_anx_r2,n_dredk1_anx_r2,n_odk_anx_r2,n_output_anx_r2,m_dredk_anx_r2,m_dredk1_anx_r2,m_o
dk_anx_r2,crp_anx_r2); // Pesquisa fuzzy da fase anóxica
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add(' ');
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('n_output_anx_r2='+IntToStr(n_output_anx_r2));
For k:=1 to n_output_anx_r2 do
begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_output_anx_r2['+IntToStr(k)+' ,1]='+FloatToStr(mf_output_anx_r2[k,1]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_output_anx_r2['+IntToStr(k)+' ,2]='+FloatToStr(mf_output_anx_r2[k,2]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_output_anx_r2['+IntToStr(k)+' ,3]='+FloatToStr(mf_output_anx_r2[k,3]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('mf_output_anx_r2['+IntToStr(k)+' ,4]='+FloatToStr(mf_output_anx_r2[k,4]));
end;
For k:=1 to n_dredk_anx_r2 do // Linha
begin
For j:=1 to n_dredk1_anx_r2 do // Coluna
begin
For i:=1 to n_odk_anx_r2 do // Afastamento
begin
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('ru_anx_r2['+IntToStr(k)+' ,'+IntToStr(j)+' ,'+IntToStr(i)+']='+FloatToStr(ru_anx_r2[k,j,i]));
end;
end;
end;
end;

```

```

For k:=1 to n_dredk_anx_r2 do
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_dredk_anx_r2[+IntToStr(k)+]='+FloatToStr(m_dredk_anx_r2[k]));
For k:=1 to n_dredk1_anx_r2 do
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_dredk1_anx_r2[+IntToStr(k)+]='+FloatToStr(m_dredk1_anx_r2[k]));
For k:=1 to n_odk_anx_r2 do FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('m_odk_anx_r2[+IntToStr(k)+]='+FloatToStr(m_odk_anx_r2[k]));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('crp_anx_r2='+FloatToStr(crp_anx_r2)); }
Desnormal_anx_r2(crp_anx_r2,pop1_red_jxa_r2,pna_red_nax_r2,pop2_red_jxb_r2); // Pesquisa fuzzy da fase anóxica
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add(' ');
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('crp_anx_r2='+FloatToStr(crp_anx_r2));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('1 é o ponto - 0 não é o ponto');
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Pto operação 01 = '+IntToStr(pop1_red_jxa_r2));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Pto operação 02 = '+IntToStr(pop2_red_jxb_r2));
FrmAutoma.ListBox1.Items.Add('Pto operação na = '+IntToStr(pna_red_nax_r2)); }
AssignFile(Arqinfr2,'Rinfer2.TXT'); // Reator 2 - Atualiza arquivo de inferência
Append(Arqinfr2);
Writeln(Arqinfr2,format('%18s%5s%10s%10s%10s%10s%2s%10s%10s%10s%10s',[Sdata_tempo,'Anx',FloatToStr(Red_brt[2,0]),FloatToStr(Red_brt[2,1]),FloatToStr(Red_brt[2,2]),FloatToStr(Od_brt[2,2]),'& ',FloatToStr(Red[2,0]),FloatToStr(Red[2,1]),FloatToStr(Red[2,2]),FloatToStr(Od[2,2])]);
Write(Arqinfr2,FloatToStr(dredkn_anx_r2)+' ');
For k:=1 to n_dredk_anx_r2 do Write(Arqinfr2,FloatToStr(m_dredk_anx_r2[k])+ ' ');
Writeln(Arqinfr2, ' ');
Write(Arqinfr2,FloatToStr(dredk1n_anx_r2)+' ');
For k:=1 to n_dredk1_anx_r2 do Write(Arqinfr2,FloatToStr(m_dredk1_anx_r2[k])+ ' ');
Writeln(Arqinfr2, ' ');
Write(Arqinfr2,FloatToStr(odkn_anx_r2)+' ');
For k:=1 to n_odk_anx_r2 do Write(Arqinfr2,FloatToStr(m_odk_anx_r2[k])+ ' ');
Writeln(Arqinfr2, ' ');
Write(Arqinfr2,FloatToStr(crp_anx_r2)+' ');
Writeln(Arqinfr2,format('%3s%3s%3s',[IntToStr(pop1_red_jxa_r2),IntToStr(pna_red_nax_r2),IntToStr(pop2_red_jxb_r2)]));
CloseFile(Arqinfr2);

```

```

If ( pop1_red_jxa_r2 = 1 ) then
begin
Dec_red_jxa[2]:=1; // Guarda o achado do red_jxa (primeiro ponto) durante o evento anóxico, zero indica que não achou ainda
end;
If ( Dec_red_jxa[2] = 1 ) then
begin
If ( pop2_red_jxb_r2 = 1 ) then
begin
Dec_red_jxb[2]:=1; // Guarda o achado do red_jxb (segundo ponto) durante o evento anóxico, zero indica que não achou ainda
end;
If ( Dec_red_jxb[2] = 1 ) then
begin
Inc( Cnt_adc_anx_r2 );
If ( Cnt_adc_anx_r2 = Adc_anx_r2 ) then
begin
Muda_tab_plan2 ( Tmp_durrcics[2],Evento[2] ); // Retorna Tmp_duracpt[2,evento]
end;
end;
end;
end;
end;

```

```

FrmAutoma.Label28.Caption:=IntToStr(pop1_ph_man_r2)+' '+' '+IntToStr(pop1_ph_min_r2)+' '+'IntToStr(pop2_ph_cte_r2)+'
'+IntToStr(pop3_ph_max_r2)+' '+'IntToStr(pop1_red_jxa_r2)+' '+'IntToStr(pop2_red_jxb_r2);

```

```

end;

```

```

end

```

```

else // Somente entra após a primeira inferência (já lido os 3 tempos iniciais )

```

```

If ( Flg_prim_dec[2] = 0 ) and ( Tmp_dec[2] = (IntervalDesejadoDecis2 - 1) ) then
begin
Ph_brt[2,0]:=Ph_brt[2,1];
Ph_brt[2,1]:=Ph_brt[2,2];
Ph_brt[2,2]:=StrToFloat(Sph2c);

Ph[2,0]:=Ph[2,1];
Ph[2,1]:=Ph[2,2];
Ph_fil[2,2]:=(Ph_brt[2,0]+Ph_brt[2,1]+Ph_brt[2,2])/3;
Arred(Ph_fil[2,2], 2, Ph[2,2]); // Filtro pela área e arredondamento
Red_brt[2,0]:=Red_brt[2,1];
Red_brt[2,1]:=Red_brt[2,2];
Red_brt[2,2]:=StrToFloat(Sred2c);

Red[2,0]:=Red[2,1];
Red[2,1]:=Red[2,2];
Red_fil[2,2]:=(Red_brt[2,0]+Red_brt[2,1]+Red_brt[2,2])/3;
Arred(Red_fil[2,2], 2, Red[2,2]); // Filtro pela área e arredondamento

Od_brt[2,0]:=Od_brt[2,1];
Od_brt[2,1]:=Od_brt[2,2];
Od_brt[2,2]:=StrToFloat(Sod2c);

Od[2,0]:=Od[2,1];
Od[2,1]:=Od[2,2];
Od_fil[2,2]:=(Od_brt[2,0]+Od_brt[2,1]+Od_brt[2,2])/3;
Arred(Od_fil[2,2], 2, Od[2,2]); // Filtro pela área e arredondamento

Temp_brt[2,0]:=Temp_brt[2,1];
Temp_brt[2,1]:=Temp_brt[2,2];

```

```

Temp_brt[2,2]:=StrToFloat(Stemp2c);

Temp[2,0]:=Temp[2,1];
Temp[2,1]:=Temp[2,2];
Temp_fil[2,2]:=(Temp_brt[2,0]+Temp_brt[2,1]+Temp_brt[2,2])/3;
Arred(Temp_fil[2,2], 2, Temp[2,2]); // Filtro pela área e arredondamento
FContDec[2]:=0; // Zera Contador de duração da inferência

If ( Spsq[2,Evento[2]] = ' Tmp' ) then // Não pesquisa nenhum ponto
begin
FrmAutoma.Label42.Caption:='Tmp';
end;

If ( Spsq[2,Evento[2]] = ' Ana' ) then // Pesquisa do ponto de máximo, no pH
begin
FrmAutoma.Label42.Caption:='Ana';
Normal_ana_r2(Ph[2,0],Ph[2,1],Ph[2,2],IntervalDesejadoDecis2,dphkn_ana_r2, dphk1n_ana_r2,phkn_ana_r2); //Pesquisa fuzzy da fase
anaeróbia
Fuzzy_mf(mf_dphk_ana_r2,n_dphk_ana_r2,dphkn_ana_r2,m_dphk_ana_r2); // Pesquisa fuzzy da fase anaeróbia
Fuzzy_mf(mf_dphk1_ana_r2,n_dphk1_ana_r2,dphk1n_ana_r2,m_dphk1_ana_r2); // Pesquisa fuzzy da fase anaeróbia
Fuzzy_mf(mf_phk_ana_r2,n_phk_ana_r2,phkn_ana_r2,m_phk_ana_r2); // Pesquisa fuzzy da fase anaeróbia
Infer(mf_output_ana_r2,ru_ana_r2,n_dphk_ana_r2,n_dphk1_ana_r2,n_phk_ana_r2,n_output_ana_r2,m_dphk_ana_r2,m_dphk1_ana_r2,m_phk_
ana_r2,crp_ana_r2); // Pesquisa fuzzy da fase anaeróbia
Desnormal_ana_r2(crp_ana_r2,pop1_ph_man_r2,pna_ph_nan_r2); // Pesquisa fuzzy da fase anaeróbia
AssignFile(Arqinfr2,'Rinfer2.TXT'); // Reator 2 - Atualiza arquivo de inferência
Append(Arqinfr2);
WriteLn(Arqinfr2,format('%18s%5s%10s%10s%10s%2s%10s%10s%10s',[Sdata_tempo,'Ana',FloatToStr(Ph_brt[2,0]),FloatToStr(Ph_brt[2,1]),Fl
oatToStr(Ph_brt[2,2]),'&',FloatToStr(Ph[2,0]),FloatToStr(Ph[2,1]),FloatToStr(Ph[2,2])]);
Write(Arqinfr2,FloatToStr(dphkn_ana_r2)+' ');
For k:=1 to n_dphk_ana_r2 do Write(Arqinfr2,FloatToStr(m_dphk_ana_r2[k])+' ');

```



```

Writeln(Arqinfr2, ' ');
Write(Arqinfr2, FloatToStr(dphk1n_ana_r2)+ ' ');
For k:=1 to n_dphk1_ana_r2 do Write(Arqinfr2, FloatToStr(m_dphk1_ana_r2[k])+ ' ');
Writeln(Arqinfr2, ' ');
Write(Arqinfr2, FloatToStr(phkn_ana_r2)+ ' ');
For k:=1 to n_phk_ana_r2 do Write(Arqinfr2, FloatToStr(m_phk_ana_r2[k])+ ' ');
Writeln(Arqinfr2, ' ');
Write(Arqinfr2, FloatToStr(crp_ana_r2)+ ' ');
Writeln(Arqinfr2, format('%3s%3s', [IntToStr(pop1_ph_man_r2), IntToStr(pna_ph_nan_r2)]));
CloseFile(Arqinfr2);
If ( pop1_ph_man_r2 = 1 ) then
begin
Dec_ph_man[2]:=1; // Guarda o achado do ph_man durante o evento anaeróbio, zero indica que não achou ainda
end;
If ( Dec_ph_man[2] = 1 ) then
begin
Inc( Cnt_adc_ana_r2 );
If ( Cnt_adc_ana_r2 = Adc_ana_r2 ) then // Quantidade de duração adicional, em IntervalDesejadoDecis2, - 1, após a detecção do
último ponto notável na fase anaeróbia
begin
Muda_tab_plan2 ( Tmp_durrcics[2], Evento[2] ); // Retorna Tmp_duracpt[2, evento]
end;
end;
end;

If Spsq[2, Evento[2]] = ' Aer' then // Pesquisa do ponto de mínimo, constante e máximo, no pH
begin
FrmAutoma.Label42.Caption:='Aer';
Normal_aer_r2(Ph[2,0], Ph[2,1], Ph[2,2], IntervalDesejadoDecis2, dphkn_aer_r2, dphk1n_aer_r2, phkn_aer_r2); // Pesquisa fuzzy da fase
aeróbia

```

```

Fuzzy_mf(mf_dphk_aer_r2,n_dphk_aer_r2,dphkn_aer_r2,m_dphk_aer_r2); // Pesquisa fuzzy da fase aeróbia
Fuzzy_mf(mf_dphk1_aer_r2,n_dphk1_aer_r2,dphk1n_aer_r2,m_dphk1_aer_r2); // Pesquisa fuzzy da fase aeróbia
Fuzzy_mf(mf_phk_aer_r2,n_phk_aer_r2,phkn_aer_r2,m_phk_aer_r2); // Pesquisa fuzzy da fase aeróbia
Infer(mf_output_aer_r2,ru_aer_r2,n_dphk_aer_r2,n_dphk1_aer_r2,n_phk_aer_r2,n_output_aer_r2,m_dphk_aer_r2,m_dphk1_aer_r2,m_phk_aer_r2,crp_aer_r2); // Pesquisa fuzzy da fase aeróbia
Desnormal_aer_r2(crp_aer_r2,pop1_ph_min_r2,pop2_ph_cte_r2,pop3_ph_max_r2,pna_ph_nar_r2); // Pesquisa fuzzy da fase aeróbia
AssignFile(Arqinfr2,'Rinfer2.TXT'); // Reator 2 - Atualiza arquivo de inferência
Append(Arqinfr2);
Writeln(Arqinfr2,format('%18s%5s%10s%10s%10s%2s%10s%10s%10s',[Sdata_tempo,'Aer',FloatToStr(Ph_brt[2,0]),FloatToStr(Ph_brt[2,1]),FloatToStr(Ph_brt[2,2]),'& ',FloatToStr(Ph[2,0]),FloatToStr(Ph[2,1]),FloatToStr(Ph[2,2])]);
Write(Arqinfr2,FloatToStr(dphkn_aer_r2)+' ');
For k:=1 to n_dphk_aer_r2 do Write(Arqinfr2,FloatToStr(m_dphk_aer_r2[k])+' ');
Writeln(Arqinfr2,' ');
Write(Arqinfr2,FloatToStr(dphk1n_aer_r2)+' ');
For k:=1 to n_dphk1_aer_r2 do Write(Arqinfr2,FloatToStr(m_dphk1_aer_r2[k])+' ');
Writeln(Arqinfr2,' ');
Write(Arqinfr2,FloatToStr(phkn_aer_r2)+' ');
For k:=1 to n_phk_aer_r2 do Write(Arqinfr2,FloatToStr(m_phk_aer_r2[k])+' ');
Writeln(Arqinfr2,' ');
Write(Arqinfr2,FloatToStr(crp_aer_r2)+' ');
Writeln(Arqinfr2,format('%3s%3s%3s%3s',[IntToStr(pop1_ph_min_r2),IntToStr(pop2_ph_cte_r2),IntToStr(pop3_ph_max_r2),IntToStr(pna_ph_nar_r2)]));
CloseFile(Arqinfr2);
If ( pop1_ph_min_r2 = 1 ) then // Pesquisa no ph, o ponto de mínimo
begin
Dec_ph_min[2]:=1; // Guarda o achado do ph_min durante o evento aeróbio, zero indica que não achou ainda
end;
If ( Dec_ph_min[2] = 1 ) then
begin
If ( pop2_ph_cte_r2 = 1 ) then // Pesquisa no ph, o ponto constante detectado após o ponto de mínimo

```

```

begin
Dec_ph_cte[2]:=1; // Guarda o achado do ph_constante durante o evento aeróbio, zero indica que não achou ainda
end;
If ( Dec_ph_cte[2] = 1 ) then
begin
If ( pop3_ph_max_r2 = 1 ) then // Pesquisa no ph o ponto máximo, detectado após o ponto zero (constante)
begin
Dec_ph_max[2]:=1; // Guarda o achado do ph_max durante o evento aeróbio, zero indica que não achou ainda
end;
If ( Dec_ph_max[2] = 1 ) then
begin
Inc( Cnt_adc_aer_r2 );
If ( Cnt_adc_aer_r2 = Adc_aer_r2 ) then
begin
Muda_tab_plan2 ( Tmp_durrcics[2],Evento[2] ); // Retorna Tmp_duracpt[2,evento]
end;
end;
end;
end;
end;

If Spsq[2,Evento[2]] = 'Anx' then // Pesquisa dos pontos de inflexões A e B, no redox
begin
FrmAutoma.Label42.Caption:='Anx';
Normal_anx_r2(Red[2,0],Red[2,1],Red[2,2],Od[2,2],IntervalDesejadoDecis2,dredkn_anx_r2, dredk1n_anx_r2,odkn_anx_r2); //
Pesquisa fuzzy da fase anóxica
Fuzzy_mf(mf_dredk_anx_r2,n_dredk_anx_r2,dredkn_anx_r2,m_dredk_anx_r2); // Pesquisa fuzzy da fase anóxica
Fuzzy_mf(mf_dredk1_anx_r2,n_dredk1_anx_r2,dredk1n_anx_r2,m_dredk1_anx_r2); // Pesquisa fuzzy da fase anóxica
Fuzzy_mf(mf_odk_anx_r2,n_odk_anx_r2,odkn_anx_r2,m_odk_anx_r2); // Pesquisa fuzzy da fase anóxica

```

```

Infer(mf_output_anx_r2,ru_anx_r2,n_dredk_anx_r2,n_dredk1_anx_r2,n_odk_anx_r2,n_output_anx_r2,m_dredk_anx_r2,m_dredk1_anx_r2,m_
dk_anx_r2,crp_anx_r2); // Pesquisa fuzzy da fase anóxica
    Desnormal_anx_r2(crp_anx_r2,pop1_red_jxa_r2,pna_red_nax_r2,pop2_red_jxb_r2); // Pesquisa fuzzy da fase anóxica
    AssignFile(Arqinfr2,'Rinfer2.TXT'); // Reator 2 - Atualiza arquivo de inferência
    Append(Arqinfr2);
Writeln(Arqinfr2,format('%18s%5s%10s%10s%10s%10s%2s%10s%10s%10s%10s',[Sdata_tempo,'Anx',FloatToStr(Red_brt[2,0]),FloatToStr(R
ed_brt[2,1]),FloatToStr(Red_brt[2,2]),FloatToStr(Od_brt[2,2]),'&',FloatToStr(Red[2,0]),FloatToStr(Red[2,1]),FloatToStr(Red[2,2]),FloatToStr(
Od[2,2]))));
    Write(Arqinfr2,FloatToStr(dredkn_anx_r2)+' ');
    For k:=1 to n_dredk_anx_r2 do Write(Arqinfr2,FloatToStr(m_dredk_anx_r2[k])+' ');
    Writeln(Arqinfr2, ' ');
    Write(Arqinfr2,FloatToStr(dredk1n_anx_r2)+' ');
    For k:=1 to n_dredk1_anx_r2 do Write(Arqinfr2,FloatToStr(m_dredk1_anx_r2[k])+' ');
    Writeln(Arqinfr2, ' ');
    Write(Arqinfr2,FloatToStr(odkn_anx_r2)+' ');
    For k:=1 to n_odk_anx_r2 do Write(Arqinfr2,FloatToStr(m_odk_anx_r2[k])+' ');
    Writeln(Arqinfr2, ' ');
    Write(Arqinfr2,FloatToStr(crp_anx_r2)+' ');
Writeln(Arqinfr2,format('%3s%3s%3s',[IntToStr(pop1_red_jxa_r2),IntToStr(pna_red_nax_r2),IntToStr(pop2_red_jxb_r2)]));
CloseFile(Arqinfr2);
If ( pop1_red_jxa_r2 = 1 ) then
begin
Dec_red_jxa[2]:=1; // Guarda o achado do red_jxa (primeiro ponto) durante o evento anóxico, zero indica que não achou ainda
end;
If ( Dec_red_jxa[2] = 1 ) then
begin
If ( pop2_red_jxb_r2 = 1 ) then
begin
Dec_red_jxb[2]:=1; // Guarda o achado do red_jxb (segundo ponto) durante o evento anóxico, zero indica que não achou ainda
end;
end;
end;

```

```

    If ( Dec_red_jxb[2] = 1 ) then
    begin
    Inc( Cnt_adc_anx_r2 );
    If ( Cnt_adc_anx_r2 = Adc_anx_r2 ) then
    begin
    Muda_tab_plan2 ( Tmp_durrcics[2],Evento[2] ); // Retorna Tmp_duracpt[2,evento]
    end;
    end;
end;
end;

```

```

    FrmAutoma.Label28.Caption:=IntToStr(pop1_ph_man_r2)+' '+' '+'IntToStr(pop1_ph_min_r2)+' '+'IntToStr(pop2_ph_cte_r2)+'
'+IntToStr(pop3_ph_max_r2)+' '+'IntToStr(pop1_red_jxa_r2)+' '+'IntToStr(pop2_red_jxb_r2);

```

```

end;

```

```

For i:=1 to Noev[2] do // Reator 2 - Define o evento do ciclo que ocorre no momento. Compara a duração realizada com a prevista.
begin
If (Tmp_durrcics[2] >= Tmp_duracpt[2,i-1]) and (Tmp_durrcics[2] <= (Tmp_duracpt[2,i])) then
Evento[2]:=i;
end;

```

```

If (Evento[2] <> Evento_ant[2]) then // Reator 2 - Reconhece a mudança de evento e grava a marca no arquivo de sensores
begin
Evento_ant[2]:=Evento[2];
Flg_prim_dec[2]:=1; // Início da primeira inferência após a mudança de evento
FContDec[2]:=1; // Inicializa contador de duração da inferência
Dec_ph_man[2]:=0; // Guarda o achado do ph_man durante o evento anaeróbio, (0) indica que não achou ainda, e (1) indica que achou
Cnt_adc_ana_r2:=0; // Contador para adicionar uma duração após a detecção do ponto ph_man, durante o evento anaeróbio
Dec_ph_min[2]:=0; // Guarda o achado do ph_min durante o evento aeróbio, (0) indica que não achou ainda, e (1) indica que achou

```

```

Dec_ph_cte[2]:=0; // Guarda o achado do ph_cte durante o evento aeróbio, (0) indica que não achou ainda, e (1) indica que achou
Dec_ph_max[2]:=0; // Guarda o achado do ph_max durante o evento aeróbio, (0) indica que não achou ainda, e (1) indica que achou
Cnt_adc_aer_r2:=0; // Contador para adicionar uma duração após a detecção do ponto ph_max, durante o evento aeróbio
Dec_red_jxa[2]:=0; // Guarda o achado do red_jxa (primeiro ponto) durante o evento anóxico, (0) indica que não achou ainda, e (1) indica
que achou
Dec_red_jxb[2]:=0; // Guarda o achado do red_jxb (segundo ponto) durante o evento anóxico, (0) indica que não achou ainda, e (1) indica
que achou
Cnt_adc_anx_r2:=0; // Contador para adicionar uma duração após a detecção do ponto red_jxb, durante o evento anóxico
FrmAutoma.Label42.Caption:=Spsq[2,Evento[2]]+'-1º';
FrmAutoma.Label44.Caption:=' 0';
FrmAutoma.Label45.Caption:=Sdata_tempo; // Mudança do evento atual
AssignFile(Arqreat2,'Reator2.TXT');
Append(Arqreat2);
Writeln( Arqreat2,format('%19s%12s%12s%12s%12s',[Sdata_tempo,' ',' ',' '])+ ' Início evento '+IntToStr(Evento[2])+' - Nº Cic Acum
'+IntToStr(Nciclo[2])+' - durrcics '+ IntToStr(Tmp_durrcics[2]) );
CloseFile(Arqreat2);
end;

FrmAutoma.Label17.Caption:=IntToStr( Tmp_durrcics[2] ); // Reator 2 - Visualização
FrmAutoma.Label43.Caption:=IntToStr( Tmp_duracpt[2,Noev[2]] );
FrmAutoma.Label18.Caption:=IntToStr(Evento[2]);

AssignFile(Arqreat1,'Reator1.TXT'); // Reator 1 - Atualiza o arquivo de sensores
Append(Arqreat1);
Writeln(Arqreat1,format('%19s%12s%12s%12s%12s%3s%3s%3s%3s%3s%3s',[Sdata_tempo,Sph1c,Sred1c,Sod1c,Stemp1c,IntToStr(pop1_ph_
man_r1),IntToStr(pop1_ph_min_r1),IntToStr(pop2_ph_cte_r1),IntToStr(pop3_ph_max_r1),IntToStr(pop1_red_jxa_r1),IntToStr(pop2_red_jxb_r
1)]));
CloseFile(Arqreat1);

AssignFile(Arqreat2,'Reator2.TXT'); // Reator 2 - Atualiza o arquivo de sensores

```

```

Append(Arqreat2);
WriteLn(Arqreat2,format('%19s%12s%12s%12s%12s%3s%3s%3s%3s%3s%3s',[Sdata_tempo,Sph2c,Sred2c,Sod2c,Stemp2c,IntToStr(pop1_ph_
man_r2),IntToStr(pop1_ph_min_r2),IntToStr(pop2_ph_cte_r2),IntToStr(pop3_ph_max_r2),IntToStr(pop1_red_jxa_r2),IntToStr(pop2_red_jxb_r
2)]));
CloseFile(Arqreat2);

AssignFile(Arqstcic,'Statcic.TXT'); // Reatores 1 e 2 - Escreve o arquivo de Status do ciclo (Statcic.TXT)
Rewrite(Arqstcic);
WriteLn(Arqstcic,format('%18s',[Sdata_tempo1]));
WriteLn(Arqstcic,format('%6s%6s%6s',[IntToStr(Tmp_durrcics[1]),IntToStr(Nciclo[1]),IntToStr(Evento[1])]);
WriteLn(Arqstcic,format('%6s%6s',[IntToStr(Dec_ph_man[1]),IntToStr(Cnt_adc_ana_r1)]));
WriteLn(Arqstcic,format('%6s%6s%6s%6s',[IntToStr(Dec_ph_min[1]),IntToStr(Dec_ph_cte[1]),IntToStr(Dec_ph_max[1]),IntToStr(Cnt_adc_aer
_r1)]));
WriteLn(Arqstcic,format('%6s%6s%6s%6s',[IntToStr(Dec_red_jxa[1]),IntToStr(Dec_red_jxb[1]),IntToStr(Cnt_adc_anx_r1)]));
  For i:=0 to Noev[1] do
  begin
    WriteLn(Arqstcic,format('%6s',[IntToStr(Tmp_duracpt[1,i])]);
  end;
WriteLn(Arqstcic,format('%6s%6s%6s',[IntToStr(Tmp_durrcics[2]),IntToStr(Nciclo[2]),IntToStr(Evento[2])]);
WriteLn(Arqstcic,format('%6s%6s',[IntToStr(Dec_ph_man[2]),IntToStr(Cnt_adc_ana_r2)]));
WriteLn(Arqstcic,format('%6s%6s%6s%6s',[IntToStr(Dec_ph_min[2]),IntToStr(Dec_ph_cte[2]),IntToStr(Dec_ph_max[2]),IntToStr(Cnt_adc_aer
_r2)]));
WriteLn(Arqstcic,format('%6s%6s%6s%6s',[IntToStr(Dec_red_jxa[2]),IntToStr(Dec_red_jxb[2]),IntToStr(Cnt_adc_anx_r2)]));
  For i:=0 to Noev[2] do
  begin
    WriteLn(Arqstcic,format('%6s',[IntToStr(Tmp_duracpt[2,i])]);
  end;
CloseFile(Arqstcic);

FrmAutoma.Label26.Caption:=IntToStr( Tmp_durrcics[1] ); // Reatores 1 e 2 - Visualização

```

```

FrmAutoma.Label27.Caption:=IntToStr( Tmp_durrcics[2] );
FrmAutoma.Label31.Caption:=IntToStr( Nciclo[1] );
FrmAutoma.Label32.Caption:=IntToStr( Nciclo[2] );
FrmAutoma.Label48.Caption:=IntToStr(Dec_ph_man[1]);
FrmAutoma.Label49.Caption:=IntToStr(Dec_ph_man[2]);
FrmAutoma.Label51.Caption:=IntToStr(Dec_ph_min[1])+ ' '+IntToStr(Dec_ph_cte[1])+ ' '+IntToStr(Dec_ph_max[1]);
FrmAutoma.Label52.Caption:=IntToStr(Dec_ph_min[2])+ ' '+IntToStr(Dec_ph_cte[2])+ ' '+IntToStr(Dec_ph_max[2]);
FrmAutoma.Label54.Caption:=IntToStr(Dec_red_jxa[1])+ ' '+IntToStr(Dec_red_jxb[1]);
FrmAutoma.Label55.Caption:=IntToStr(Dec_red_jxa[2])+ ' '+IntToStr(Dec_red_jxb[2]);

```

```

If ( Tmp_durrcics[1] >= (Tmp_duracpt[1,Noev[1]]-1) ) then // Reator 1 - Reconhece o inicio de um novo ciclo
begin
FContCics[1]:=0; // Inicia um novo ciclo, zera contador
Nciclo[1]:=Nciclo[1]+1;
  Tmp_duracpt[1,0] := 0; // Reinicializa a variável de planejamento de tempo temporária, no início de um novo ciclo
  For i:=1 to Noev[1] do
  begin
    Tmp_duracpt[1,i] := Tmp_duracps[1,i];
  end;
end;

```

```

If ( Tmp_durrcics[2] >= (Tmp_duracpt[2,Noev[2]]-1) ) then // Reator 2 - Reconhece o inicio de um novo ciclo
Begin
FContCics[2]:=0; // Inicia um novo ciclo, zera contador
Nciclo[2]:=Nciclo[2]+1;
  Tmp_duracpt[2,0] := 0; // Reinicializa a variável de planejamento de tempo temporária, no início de um novo ciclo
  For i:=1 to Noev[2] do
  begin
    Tmp_duracpt[2,i] := Tmp_duracps[2,i];
  end;
end;

```



```

end;

Setfinal:= Seteve[1,Evento[1]] + Seteve[2,Evento[2]]; // Reatores 1 e 2 - Atualização dos relês e do esquema, caso haja modificação de
evento
  If (Setfinal <> Setant) then
    begin
      DIO_OutputWord(Wbase,Setfinal); // Ajusta relês simultaneamente nos reatores 1 e 2
      Esq_rsb1(Evento[1],Ba[1,Evento[1]],Be[1,Evento[1]],Bl[1,Evento[1]],Vsa[1,Evento[1]],Vsm[1,Evento[1]],Vsb[1,Evento[1]],Mis[1,Evento[1]],
      Bs[1,Evento[1]] ); // Reator 1 - Atualização do Esquema
      Esq_rsb2(Evento[2],Ba[2,Evento[2]],Be[2,Evento[2]],Bl[2,Evento[2]],Vsa[2,Evento[2]],Vsm[2,Evento[2]],Vsb[2,Evento[2]],Mis[2,Evento[2]],
      Bs[2,Evento[2]] ); // Reator 2 - Atualização do Esquema
    end;
  Setant:=Setfinal;

FcontGraf1:=FcontGraf1+1; // Reator 1 - Geração das séries gráficas
  If (FcontGraf1 = IntervalDesejadoDecis1) or (Flg_inicon = 1) then // Atualizada com o intervalo de decisão 1
    begin
      FcontGraf1:=0;
      Cont_eix1:= Cont_eix1+1;
      Graf_rsb1(Cont_eix1,Sdata_tempo1,Parc[0],Parc[2],Parc[4],Parc[6]);
    end;

FcontGraf2:=FcontGraf2+1; // Reator 2 - Geração das séries gráficas
  If (FcontGraf2 = IntervalDesejadoDecis2) or (Flg_inicon = 1) then // Atualizada com o intervalo de decisão 2
    begin
      FcontGraf2:=0;
      Flg_inicon:=0;
      Cont_eix2:= Cont_eix2+1;
      Graf_rsb2(Cont_eix2,Sdata_tempo1,Parc[1],Parc[3],Parc[5],Parc[7]);
    end;

```

end;
end;

end.

B.11) Código fonte UnGraf1.pas

```
unit UnGraf1;
interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  TeEngine, Series, ExtCtrls, TeeProcs, Chart;

type
  TFrmGrafico1 = class(TForm)
    Chart1: TChart;
    Series1: TLineSeries;
    Chart2: TChart;
    Chart3: TChart;
    Chart4: TChart;
    Series2: TLineSeries;
    Series3: TLineSeries;
    Series4: TLineSeries;
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  FrmGrafico1: TFrmGrafico1;
```

implementation

```
{ $R *.DFM }
```

```
procedure TFrmGrafico1.FormCreate(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
Series1.Clear;
```

```
Series2.Clear;
```

```
Series3.Clear;
```

```
Series4.Clear;
```

```
end;
```

```
end.
```

B.12) Código fonte UnGraf2.pas

```
unit UnGraf2;
interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  TeEngine, Series, ExtCtrls, TeeProcs, Chart;

type
  TFrmGrafico2 = class(TForm)
    Chart1: TChart;
    Series1: TLineSeries;
    Chart2: TChart;
    Series2: TLineSeries;
    Chart3: TChart;
    Series3: TLineSeries;
    Chart4: TChart;
    Series4: TLineSeries;
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  FrmGrafico2: TFrmGrafico2;
```

implementation

```
{ $R *.DFM }
```

```
procedure TFrmGrafico2.FormCreate(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
Series1.Clear;
```

```
Series2.Clear;
```

```
Series3.Clear;
```

```
Series4.Clear;
```

```
end;
```

```
end.
```

B.13) Código fonte UnManual.pas

```
unit UnManual;
interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Buttons, ExtCtrls, DIO;
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
type
  TFrmManual = class(TForm)
    GroupBox1: TGroupBox;
    GroupBox2: TGroupBox;
    BitBtn1: TBitBtn;
    TmrManual: TTimer;
    CkbBa1: TCheckBox;
    CkbBe1: TCheckBox;
    CkbBl1: TCheckBox;
    CkbVsa1: TCheckBox;
    CkbVsm1: TCheckBox;
    CkbVsb1: TCheckBox;
    CkbMis1: TCheckBox;
    CkbBa2: TCheckBox;
    CkbBe2: TCheckBox;
    CkbBl2: TCheckBox;
    CkbVsa2: TCheckBox;
    CkbVsm2: TCheckBox;
    CkbVsb2: TCheckBox;
    CkbMis2: TCheckBox;
```

```

CkbBs1: TCheckBox;
CkbBs2: TCheckBox;
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure TmrManualTimer(Sender: TObject);
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  FrmManual: TFrmManual;

implementation

{$R *.DFM}

uses
  UnPrincipal, UnAutoma;

procedure TFrmManual.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  //=====
  //Desativa modo automático e posiciona no modo de desligamento anormal
  //Caso queira iniciar do evento em que parou, basta DESLIGAR e LIGAR a cpu.
  //Caso queira iniciar no começo do ciclo FECHÉ o FrmPrincipal e inicialize a cpu
  //=====
  With FrmAutoma do

```



```
FrmAutoma.TmrPrincipal.Enabled:=False;  
DIO_OutputWord(wBase,0); //Desativa todos os relês
```

```
//=====
```

```
// Ativa TmrManual
```

```
    TmrManual.Enabled:=True;  
end;
```

```
procedure TFrmManual.TmrManualTimer(Sender: TObject);  
var  
Stba1,Stbe1,Stbl1,Stvsa1,Stvsm1,Stvsb1,Stmis1,Stbs1:Word;  
Stba2,Stbe2,Stbl2,Stvsa2,Stvsm2,Stvsb2,Stmis2,Stbs2:Word;  
Stfin:Word;
```

```
begin  
Stba1:=0;  
Stbe1:=0;  
Stbl1:=0;  
Stvsa1:=0;  
Stvsm1:=0;  
Stvsb1:=0;  
Stmis1:=0;  
Stbs1:=0;  
Stba2:=0;  
Stbe2:=0;  
Stbl2:=0;  
Stvsa2:=0;  
Stvsm2:=0;
```

```

Stvsb2:=0;
Stmis2:=0;
Stbs2:=0;
// Comando RSB 1
If CkbBa1.Checked=True then Stba1:=1;
If CkbBe1.Checked=True then Stbe1:=2;
If CkbBl1.Checked=True then Stbl1:=4;
If CkbVsa1.Checked=True then Stvsa1:=8;
If CkbVsm1.Checked=True then Stvsm1:=16;
If CkbVsb1.Checked=True then Stvsb1:=32;
If CkbMis1.Checked=True then Stmis1:=64;
If CkbBs1.Checked=True then Stbs1:=128;
// Comando RSB 2
If CkbBa2.Checked=True then Stba2:=256;
If CkbBe2.Checked=True then Stbe2:=512;
If CkbBl2.Checked=True then Stbl2:=1024;
If CkbVsa2.Checked=True then Stvsa2:=2048;
If CkbVsm2.Checked=True then Stvsm2:=4096;
If CkbVsb2.Checked=True then Stvsb2:=8192;
If CkbMis2.Checked=True then Stmis2:=16384;
If CkbBs2.Checked=True then Stbs2:=32768;
// Comando RSB 1 e 2
Stfin:=Stba1+Stbe1+Stbl1+Stvsa1+Stvsm1+Stvsb1+Stmis1+Stbs1+Stba2+Stbe2+Stbl2+Stvsa2
+Stvsm2+Stvsb2+Stmis2+Stbs2;
DIO_OutputWord(Wbase,Stfin); //Ajusta relês simultaneamente nos reat. 1 e 2
end;

```

```

procedure TFrmManual.BitBtn1Click(Sender: TObject);
begin

```

```
TmrManual.Enabled:=False;  
DIO_OutputWord(Wbase,0); //Desativa todos os relês  
end;  
  
end.
```

B.14) Código fonte UnSobre.pas

```
unit UnSobre;
interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Buttons, ExtCtrls;

type
  TFrmSobre = class(TForm)
    BitBtn1: TBitBtn;
    Image1: TImage;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    Label1: TLabel;
    Label6: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Label8: TLabel;
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  FrmSobre: TFrmSobre;
```

implementation

{ $\$R$ *.DFM}

end.

C - Cálculo dos parâmetros de performance - nitrificação e desnitrificação

As taxas de nitrificação e desnitrificação foram calculadas tendo por base o balanço de massa do nitrogênio.

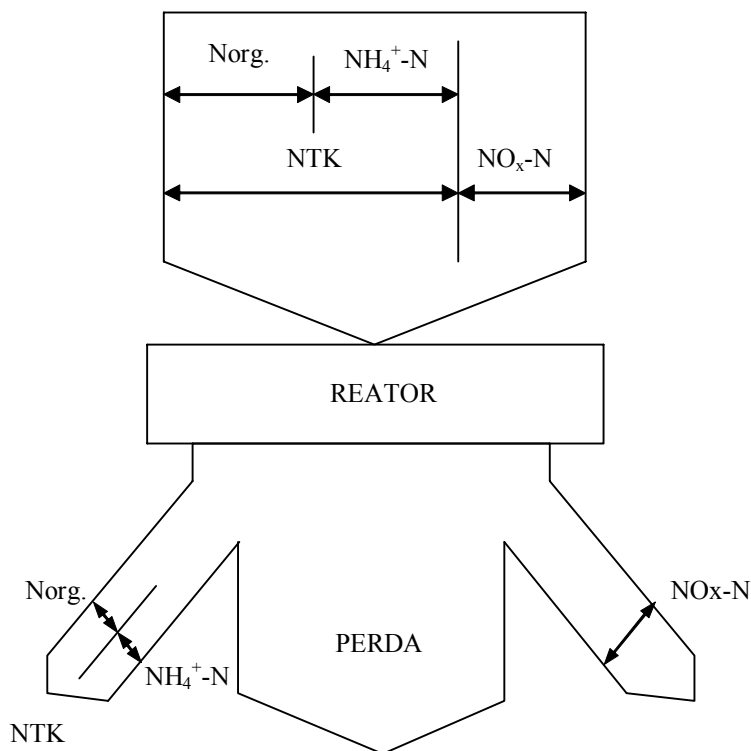


Figura 9.12 - Balanço de massa do nitrogênio.

(Fonte: OLESKIEWICK & BERQUIST, 1988, modificada)

A eficiência da nitrificação, “N” expressa em %, foi calculada em termos de concentração de NTK total e nitrogênio orgânico, sendo mostrada na expressão 9.1:

$$N = \frac{(NTK_a - NTK_e)}{(NTK_a - Norg_e)} \times 100 \quad (9.1)$$

Onde: os índices “a” e “e” referem-se ao afluente e ao efluente, respectivamente.

A taxa específica da nitrificação, “K_N” expressa em g N/kg SSVLM.dia, foi calculada sobre a base diária em função da massa do NTK total afluente, NTK total efluente e do SSVLM, sendo mostrada na expressão 9.2:

$$K_N = \frac{(NTK_a - NTK_e)_{\text{massa}}}{(SSVLM)_{\text{massa}} \times \text{dia}} \times 100 \quad (9.2)$$

De qualquer forma, essa taxa deverá ser vista por meio do período de aeração, e não por dia, considerando que a nitrificação somente ocorre durante o período de aeração.

A taxa máxima de nitrificação foi determinada no estudo do perfil temporal dos dados. Essa taxa foi calculada como a maior declividade da concentração do nitrogênio oxidado, com o passar do tempo, durante o período de aeração, em mg NO_x-N/L.h. A correspondente taxa específica máxima de nitrificação foi calculada pela divisão da taxa máxima de nitrificação, pela concentração média de SSVLM para o período, sendo expressa em g NO_x-N/kg SSVLM.dia como se essa taxa prevalecesse 24 horas por dia.

A eficiência da desnitrificação, “DN” expressa em %, é mostrada na expressão 9.3.

$$DN = \frac{(NTK_a - NTK_e) - [NO_x - N_e] + [NO_x - N_a]}{(NTK_a - NTK_e) + [NO_x - N_a]} \times 100 \quad (9.3)$$

A taxa específica da desnitrificação, “K_{DN}” expressa em g N/kg SSVLM.dia, é mostrada na expressão 9.4:

$$K_{DN} = \frac{(NTK_a - NTK_e)_{\text{massa}} - [NO_x - N_e]_{\text{massa}} + [NO_x - N_a]_{\text{massa}}}{(SSVLM)_{\text{massa}} \times \text{dia}} \times 100 \quad (9.4)$$

No caso do estudo da desnitrificação, a taxa máxima de desnitrificação foi determinada da mesma forma que a taxa de nitrificação, porém a declividade foi medida no período anóxico.

D - Perfis temporais do pH, ORP e OD

Os gráficos, a seguir, mostram a evolução do pH, ORP e OD nos ciclos 14, 28 e 42. Os pontos notáveis apresentados, referem-se: Ponto “A” – início do processo de nitrificação; Ponto “B” – final do processo de nitrificação (“vale” da amônia); Ponto “C” – início do processo de desnitrificação; Ponto “D” – final do processo de desnitrificação (“joelho” do nitrato); e Ponto “E” – atuação do controle difuso, na reação anóxica. Os índices “p”, “r” e “o” referem-se às sondas do pH, ORP e OD, respectivamente.

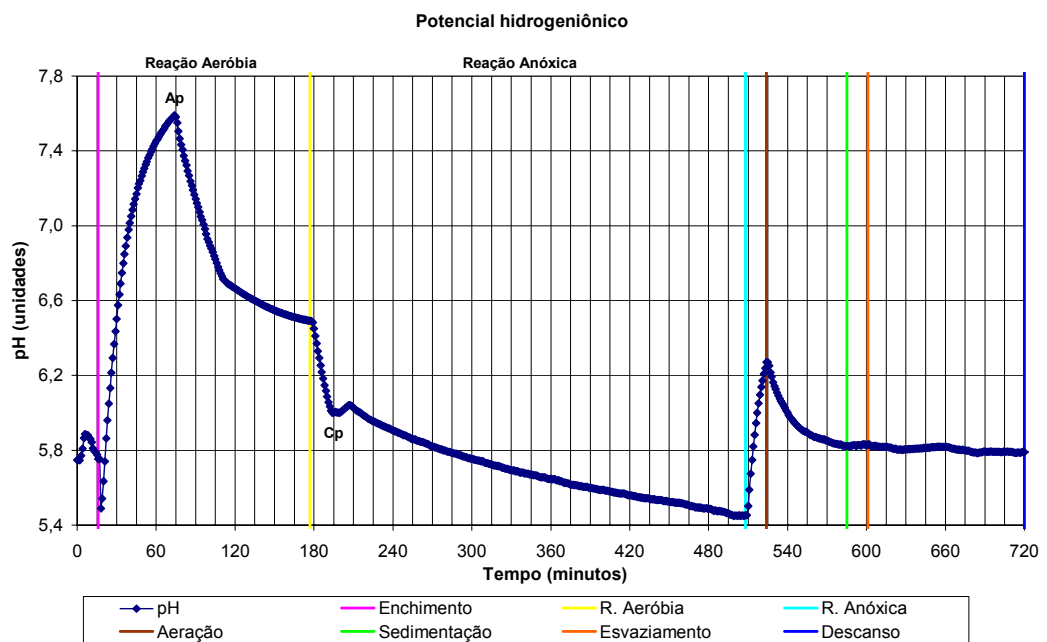


Figura 9.13 – Perfil temporal do pH, ciclo 14.

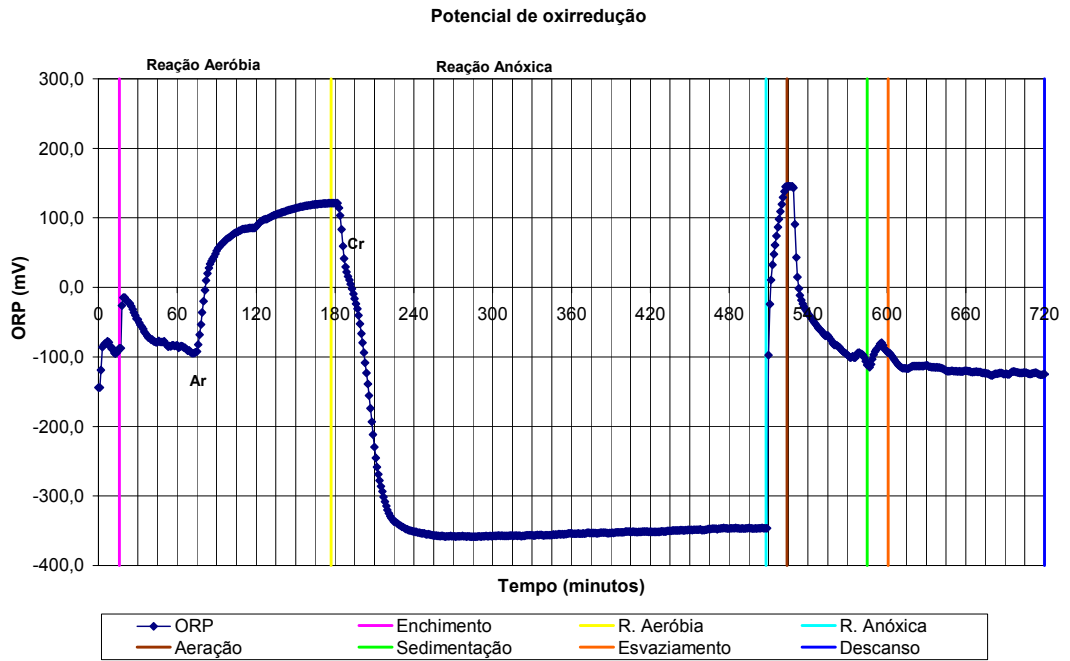


Figura 9.14 – Perfil temporal do ORP, ciclo 14.

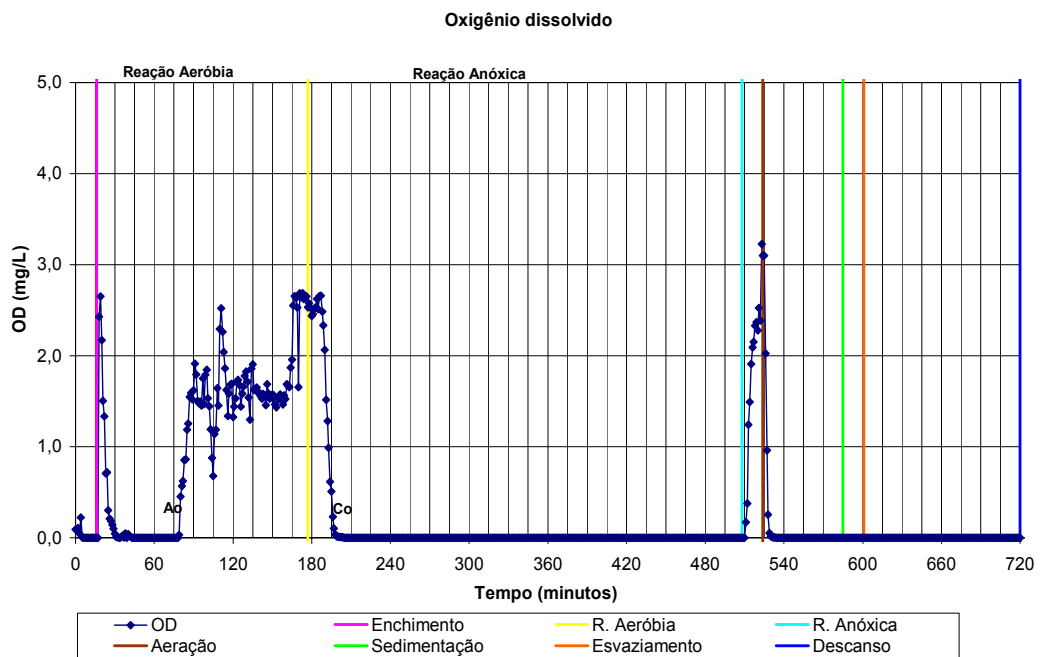


Figura 9.15 – Perfil temporal do OD, ciclo 14.

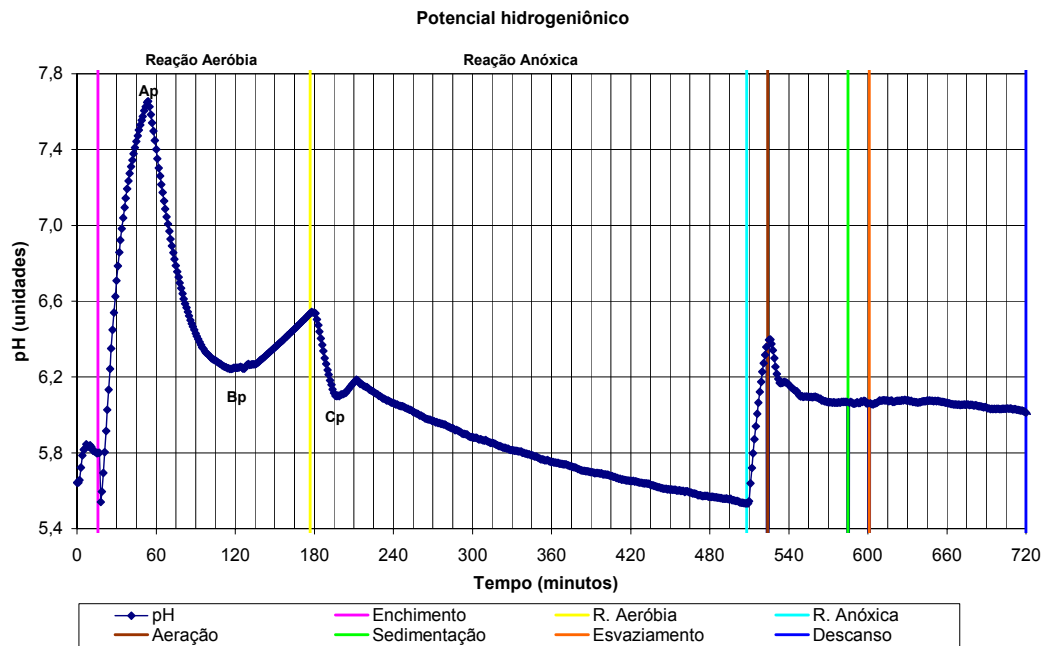


Figura 9.16 – Perfil temporal do pH, ciclo 28.

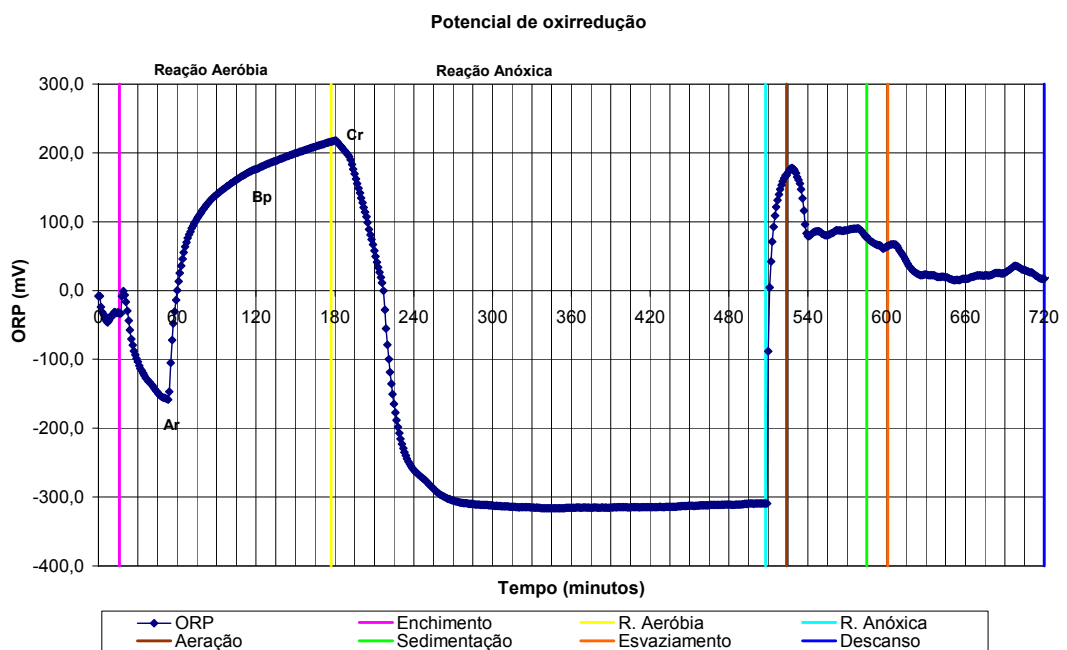


Figura 9.17 – Perfil temporal do ORP, ciclo 28.

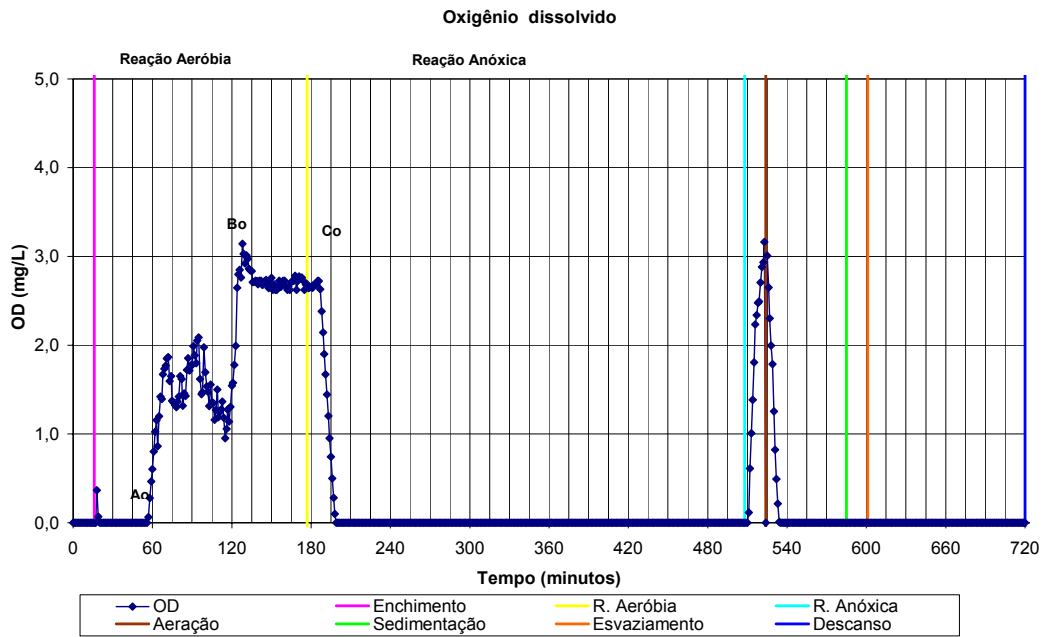


Figura 9.18 – Perfil temporal do OD, ciclo 28.

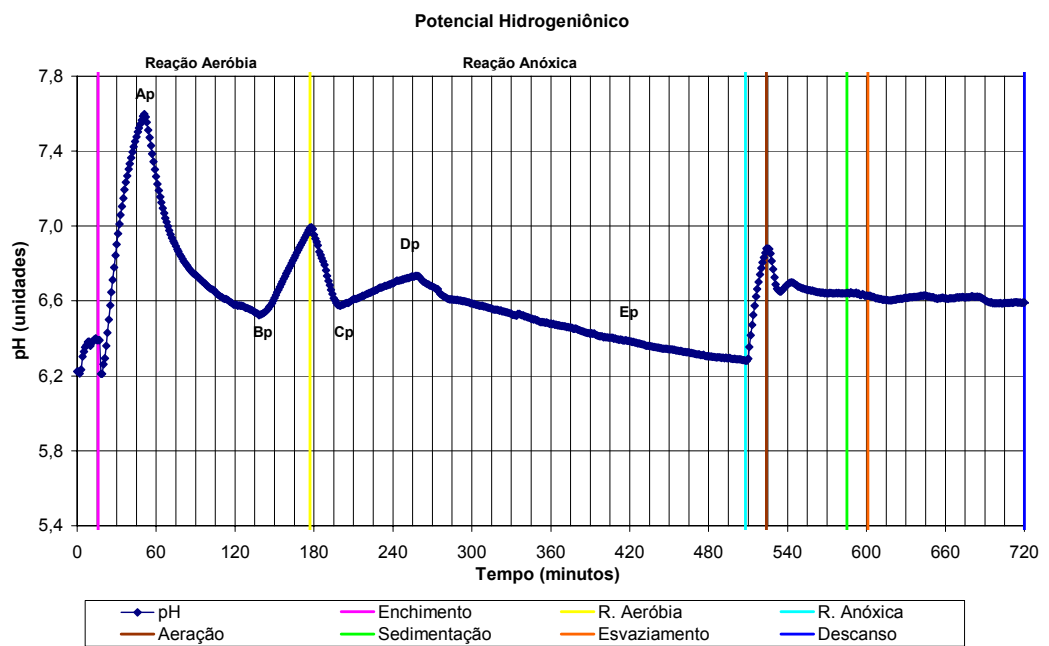


Figura 9.19 – Perfil temporal do pH, ciclo 42.

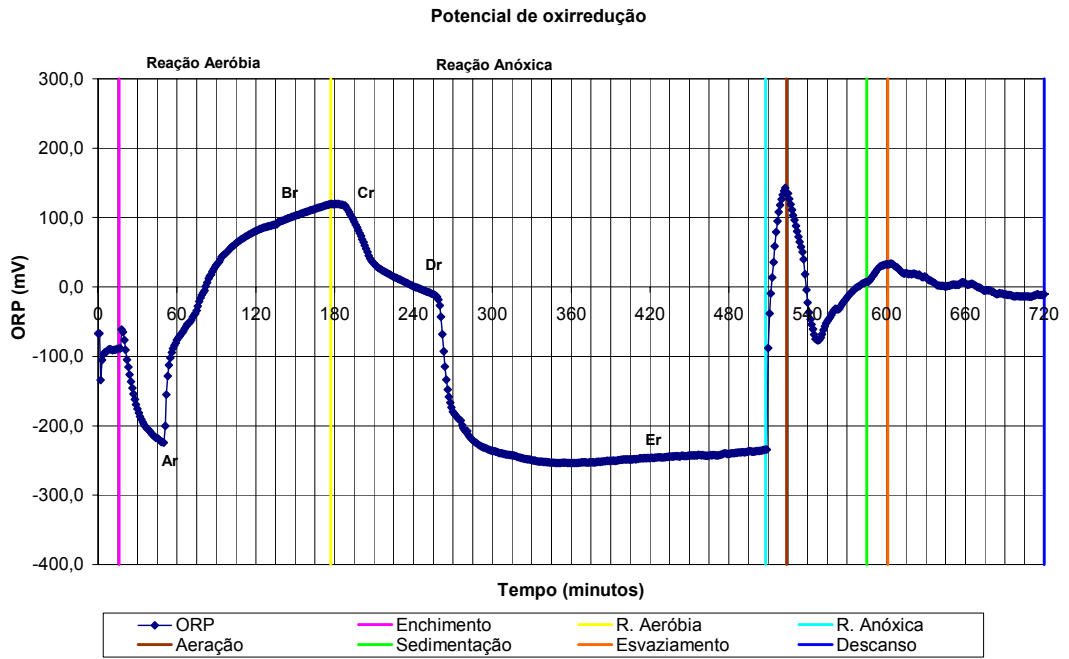


Figura 9.20 – Perfil temporal do ORP, ciclo 42.

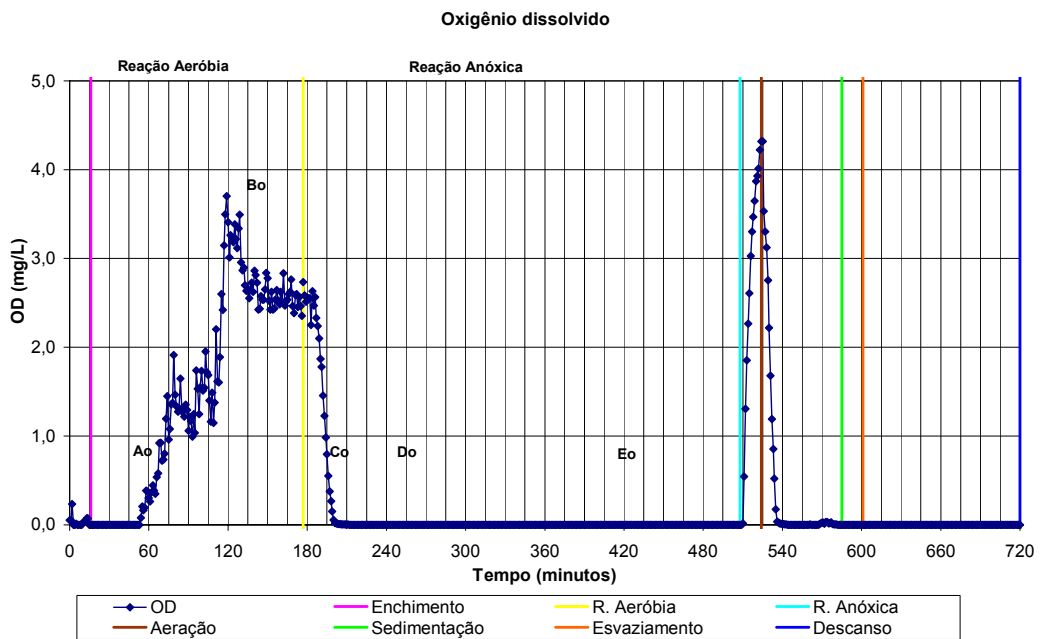


Figura 9.21 – Perfil temporal do OD, ciclo 42.