

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais-  
PPGE3M

**MONITORAMENTO DE TEMPERATURA DO MOTOR DE AEROGERADORES DE  
PEQUENO PORTE UTILIZANDO POWER LINE COMMUNICATION - PLC**

**MAGALÍ DA ROSA**

**DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE**

**PORTO ALEGRE  
2012**

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais-  
PPGE3M

**MONITORAMENTO DE TEMPERATURA DO MOTOR DE AEROGERADORES DE  
PEQUENO PORTE UTILIZANDO POWER LINE COMMUNICATION - PLC**

**Magalí da Rosa**

Trabalho realizado no Departamento de Metalurgia da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre

Área de Concentração: Processos de Fabricação

Porto Alegre  
2012

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração Processos de Fabricação e aprovada em sua forma final, pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador: Prof. Dr. – Ing. Lírio Schaeffer

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Juarez Bento da Silva – Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Dr. Roderval Marcelino - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Dr. Vilson Gruber - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Dr. Telmo. Roberto Strohaecker

Coordenador do PPGE3M

Dedico este trabalho

Ao meu esposo, Diego Fenali Warmling e aos meus pais Vilson e Zuleima, companheiros, sensatos e trabalhadores.

A todos que me incentivaram e foram direta ou indiretamente responsáveis pelo sucesso de mais uma fase.

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, por me dar forças e não me deixar desistir, e diga-se de passagem, não foram poucas as vezes que me ocorreram tais idéias.

Ao Professor Dr. Lírio Schaeffer, pela oportunidade que me foi dada, e ao meu revisor Philipe Pauletti, pela sua paciência, por ter lido cada palavra aqui escrita e sugerido os caminhos a serem seguidos para a conclusão deste.

A minha família, que sempre proveu carinho e ajuda em momentos cruciais de minha vida e ao meu esposo, Diego Fenali Warmling, pela compreensão e pelo incentivo diário durante mais esta etapa, e que com sua insistência me ajudou a chegar até aqui.

Ao Professor Dr. Vilson Gruber pelo apoio e incentivo sempre.

Ao Professor Dr. Roderval Marcelino e sua equipe do Rexlab, pela paciência e disponibilidade para sanar diversas dúvidas.

A todos os colegas de trabalho da Faculdade SATC, professores que contribuíram com seus conhecimentos e que fizeram parte desta jornada.

A todos os “Professores e colegas do PPGE3M”, com os quais pude trocar idéias, pelos ensinamentos, e de quem recebi sugestões e experiência.

Aos meus alunos que me ensinam e desafiam todos os dias, e que acabam sendo motivo de minha obsessão por aprendizado.

“É muito melhor arriscar coisas grandiosas, alcançar triunfo e glória, mesmo expondo-se às derrotas, do que formar fila com os pobres de espírito, que nem gozam muito, nem sofrem muito, porque vivem nesta penumbra cinzenta, que não conhecem vitória nem derrota”.

Franklin Roosevelt

## RESUMO

Os sistemas de controle e supervisão têm se revelado expressivamente importantes nos sistemas de produção. Garantir o funcionamento com qualidade dos processos industriais exige um controle permanente, sendo necessário manter constantes algumas variáveis. Um dos fatores que se destacam na utilização de monitoramento remoto é a possibilidade de centralizar o controle de um determinado processo em locais distintos, muitas vezes distantes do ponto de origem do problema, podendo ser acessado pelo responsável pelo processo e/ou muitas vezes resolvido pelo mesmo, sem a necessidade de locomover-se até o local do problema. Esse trabalho visou estudar e desenvolver um sistema utilizando a tecnologia de comunicação via rede elétrica e aquisição de dados, aplicado ao monitoramento e supervisão de temperatura do rotor de um aerogerador de pequeno porte por meio de um protótipo de simulação. O mesmo deu-se por meio de pesquisas e estudo de caso realizado em Laboratórios da Faculdade SATC, com a criação de um modelo de interface e aquisição de dados utilizando a rede elétrica para a transmissão e recepção de dados por intermédio da tecnologia PLC, como solução para o monitoramento remoto de uma variável definida como temperatura, simulando a temperatura do motor em um aerogerador de pequeno porte. Após a execução do protótipo, foram realizados testes comparativos entre a tecnologia PLC e a rede LAN em dois ambientes distintos: residencial e industrial. A análise do comportamento da rede LAN foi realizada através de um software de análise de redes, onde foram estabelecidos alguns parâmetros que representassem o desempenho da rede ao enviar e receber dados do sistema de monitoramento. Os resultados obtidos evidenciam as performances das tecnologias utilizadas como meios de transmissão, assim como apresentam um paralelo entre as mesmas. Os dados obtidos por este estudo mostram resultados satisfatórios da tecnologia PLC em relação à rede LAN, confirmando a possibilidade do uso desta tecnologia em sistemas de monitoramento remoto, permitindo assim um aumento na confiabilidade e comodidade operacional.

Palavras-chave: Aerogeradores. PLC. Monitoração Remota. Redes LAN. Energia Elétrica

## **ABSTRACT**

The control system and supervision have been revealed very important in product systems. To guarantee the function with quality, industrial process requires a permanent control being necessary keeping stable some variables. One important factor to point using remote monitoring is the possibility to centralize the control of one process in distinct place, many times far away from the problem original point. It can be accessed by responsible person for the process or many times solved by him without the necessity to be present where the problem started. This research studied and developed a monitoring system and supervision, using communication technology via electrical grid and data acquisition system. It was done by means of research and studies cases at SATC laboratory with data acquisition interface creation, using electric power distribution to transmit and receive the data by PLC technology as a solution to remote monitoring of a definite variable as temperature, simulating the temperature of a small wind power motor. After the prototype execution, comparative tests were done between PLC technology and LAN network in two different environments: residential and industrial. The network behavior analysis was performed using a network analysis software, where were established some parameters that represent the performance of the network to send and receive data from the monitoring system. The data acquired in this research shows satisfactory results using PLC technology in relation to LAN network, confirming the possibility of use this technology in remote monitoring system allowing a reliability increase in operational convenience.

Key word: Wind power, PLC, Remote monitoring.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desde o início da exploração da energia eólica ao surto da Califórnia.....	22
Figura 2 - Princípios das forças aerodinâmicas resultantes da pá de uma turbina.....	25
Figura 3 - Seção da pá de um rotor de uma turbina eólica de sustentação .....	26
Figura 4 - Diferentes tipos de turbinas verticais. ....	27
Figura 5 - Monte Guzzini fazenda eólica na Sardinia - ITALIA .....	27
Figura 6 - Principais componentes de um aerogerador .....	28
Figura 7 - Motor de Indução Trifásico .....	29
Figura 8 - Estator (1); Rotor (2) .....	29
Figura 9 - Rotor.....	30
Figura 10 - Diagrama funcional de um sistema de aquisição de dados .....	32
Figura 11 - Separação das portadoras na frequência e no tempo .....	37
Figura 12 - Topologia PLC In-Home .....	38
Figura 13 - Topologia PLC acesso última milha .....	39
Figura 14 - Topologia PLC acesso WAN .....	40
Figura 15 - Modelo Experimento .....	46
Figura 16 - Sensor NTC .....	47
Figura 17 - Placa de aquisição de dados.....	48
Figura 18 - Conector ICSP .....	49
Figura 19 - Gravador PIC WEB.....	50
Figura 20 - Conexão com a placa de aquisição de dados.....	51
Figura 21 - Importando o programa para gravação – tela 1 .....	51
Figura 22 - Seleção do programa a ser gravado.....	52
Figura 23 - Importação do programa .....	52
Figura 24 - Gravação concluída .....	53
Figura 25 - Carregando a página HTML.....	54
Figura 26 - Upload com sucesso.....	55
Figura 27 - Tela Principal .....	55
Figura 28 - Tela Potenciometro.....	56
Figura 29 - Tela sensor de temperatura e set point.....	56
Figura 30 - Protótipo simulação aerogerador .....	57
Figura 31 - Protótipo simulação aerogerador em funcionamento .....	59
Figura 32 - Leds de sinalização .....	60
Figura 33 - Parte elétrica/eletrônica do protótipo.....	57
Figura 34 - Equipamentos PLC.....	60
Figura 35 - Equipamento Microchip.....	61
Figura 36 - Testes Residência .....	63
Figura 37 - Planta baixa da instalação residencial.....	64
Figura 38 - Torno CNC .....	64
Figura 39 - Centro de Usinagem/Fresadora .....	65
Figura 40 - Robô .....	65
Figura 41 - Instalação industrial .....	66
Figura 42 - Residência e suas cargas .....	67
Figura 43 - Parâmetro PING, rede PLC com carga.....	69
Figura 44 - Parâmetro PING, rede PLC sem carga .....	69
Figura 45 - Parâmetro PING, rede LAN.....	70
Figura 46 - Parâmetro HTTP, rede PLC com carga .....	70
Figura 47 - Parâmetro HTTP, rede PLC sem carga.....	71
Figura 48 - Parâmetro HTTP, rede LAN .....	71
Figura 49 - HTTP página completa, PLC com carga .....	72
Figura 50 - HTTP página completa, PLC sem carga .....	72

Figura 51 - Parâmetro HTTP página completa, rede LAN.....	73
Figura 52 - Parâmetro SNMP, rede PLC com e sem carga.....	74
Figura 53 - Parâmetro SNMP, rede LAN.....	74
Figura 54 - Parâmetro Jitter de Ping, PLC com carga .....	75
Figura 55 - Parâmetro Jitter de Ping, PLC sem carga .....	75
Figura 56 - Parâmetro Jitter de ping, rede LAN.....	76
Figura 57- Parâmetro PING, rede PLC sem carga .....	82
Figura 58 - Parâmetro PING, rede PLC com carga.....	82
Figura 59 - Parâmetro PING, rede LAN.....	82
Figura 60 - Parâmetro HTTP, rede PLC sem carga.....	82
Figura 61 - Parâmetro HTTP, rede PLC com carga .....	82
Figura 62 - Parâmetro HTTP, rede LAN .....	83
Figura 63 - HTTP página completa, PLC sem carga .....	83
Figura 64 - HTTP página completa, PLC com carga .....	84
Figura 65 - Parâmetro HTTP página completa, rede LAN.....	84
Figura 66 - Jitter de PING, Rede PLC sem carga .....	85
Figura 67 - Jitter de PING, Rede PLC com carga .....	85
Figura 68 - Parâmetro HTTP página completa, rede LAN.....	86

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2 - Pinagem Conector ICSP .....	49
Tabela 3 - Resultados parâmetro PING .....	76
Tabela 4 - Resultados parâmetro HTTP .....	77
Tabela 5 - Resultados Parâmetro HTTP página completa .....	78
Tabela 6 - Resultados Parâmetro Jitter de PING .....	80
Tabela 7 - Resultados Parâmetro PING .....	86
Tabela 8 - Resultados Parâmetro HTTP .....	87
Tabela 9 - Resultados Parâmetro HTTP página completa .....	88
Tabela 10 - Resultados Parâmetro Jitter de PING .....	89

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resultado do ensaio: parâmetro PING .....	77
Gráfico 2 - Resultado do ensaio: parâmetro HTTP .....	78
Gráfico 3 - Resultado do ensaio: parâmetro HTTP página completa .....	79
Gráfico 4 - Resultado do ensaio: parâmetro Jitter de PING .....	80
Gráfico 5 - Resultado do ensaio: parâmetro PING .....	87
Gráfico 6 - Resultado do ensaio: parâmetro HTTP .....	88
Gráfico 7 - Resultado do ensaio: parâmetro HTTP página completa .....	89
Gráfico 8 - Resultado do ensaio: parâmetro Jitter de PING .....	90

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Antes de Cristo
AEG	<i>Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft</i>
AEPP	Aerogeradores de Pequeno Porte
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ARP	<i>Address Resolution Protocol</i>
BT	Baixa Tensão
BTU	<i>British Thermal Unit</i> ou (Unidade Térmica Britânica)
C.A	Corrente Alternada
CNC	Controle Numérico Computadorizado
DHCP	<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>
EPI	Energia Projetos e Investimentos Ltda
EUA	Estados Unidos da América
FAPERGS	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul
FDM	<i>Frequency Division Multiplex</i>
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
GDER	Grupo de Desenvolvimento em Energias Renováveis
GND	Ground
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GSM	<i>Global System for Mobile</i>
HTML	<i>Hypertext Markup Language</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
ICMP	<i>Internet Control Message Protocol</i>
ICP	<i>Internet Control Protocol</i>
ICSP	<i>In Circuit Serial Programming</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>

LAN	<i>Local Area Network</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> ou (Display de Cristal Líquido)
LED	<i>Light Emitting Diode</i> ou (Diodo Emissor de Luz)
MODEM	Modulação e Demodulação
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplex</i>
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
OPERA	<i>Open PLC European Research Alliance</i>
OPLAT	Ondas Portadoras em Linhas de Alta Tensão
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
QEE	Qualidade da Energia Elétrica
PC	Computador Pessoal
PLC	<i>Power Line Communication</i>
PTC	<i>Positive Temperature Coefficient</i>
RTD	<i>Resistance Temperature Detector</i>
SATC	Sociedade Assistência aos Trabalhadores do Carvão
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SLIP	<i>Serial Line Internet Protocol</i>
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>
TEEH	Turbina eólica de eixo horizontal
TEEV	Turbina eólica de eixo vertical
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	17
1.1 MOTIVAÇÃO .....	18
1.2 OBJETIVOS .....	19
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	20
2 REVISÃO DA LITERATURA .....	22
2.1 ENERGIA EÓLICA .....	22
2.2 AEROGERADORES .....	24
2.2.1 TIPOS DE TURBINAS EÓLICAS .....	24
2.2.2 TURBINAS DE ARRASTE .....	25
2.2.3 TURBINAS DE SUSTENTAÇÃO .....	25
2.3 ORIENTAÇÃO DO EIXO DE TURBINAS EÓLICAS .....	26
2.4 COMPONENTES DE UM AEROGERADOR .....	28
2.5 MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO .....	28
2.5.1 PRINCIPAIS COMPONENTES DO MOTOR DE INDUÇÃO .....	29
A) ESTATOR .....	30
B) BOBINAS .....	30
C) ROTOR .....	30
2.5.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO MOTOR DE INDUÇÃO .....	31
2.6 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS .....	31
2.6.1 SENSORES .....	32
2.6.1.1 SENSORES DE TEMPERATURA .....	33
A) TERMISTORES .....	33
B) TERMOPARES .....	33
C) TERMORRESISTÊNCIA .....	34
D) SENSORES ELETRÔNICOS .....	34
E) CIRCUITOS INTEGRADOS .....	34
2.7 SISTEMA DE TRANSMISSÃO E RECEPÇÃO UTILIZANDO A TECNOLOGIA PLC .....	35
2.7.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO .....	36
A) ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEX (OFDM) .....	36
2.7.2 TOPOLOGIAS E APLICAÇÕES .....	37
A) PLC INDOOR .....	38
C) TOPOLOGIA PLC PARA ACESSO WAN .....	39
2.7.3 ESTADO DA ARTE .....	40
2.8 SISTEMA DE TRANSMISSÃO E RECEPÇÃO UTILIZANDO A REDE LAN .....	42
2.9 QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA .....	43
3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL .....	44
3.1 OBJETO DO ESTUDO .....	44
3.2 DESENVOLVIMENTO .....	45
3.3 MONTAGEM EXPERIMENTAL .....	46
3.3.1 ELEMENTOS SENSORES .....	46
3.3.2 PLACA DE AQUISIÇÃO DE DADOS .....	47
3.3.2.1 PROGRAMAÇÃO DA PIC-WEB .....	48
3.3.2.2 INTERNET EMBARCADA .....	53
3.3.3 CIRCUITO ELETRÔNICO DE INTERFACE .....	57
3.3.4 EQUIPAMENTOS PLC .....	60
3.3.5 SOFTWARE PARA ANÁLISE DE REDES .....	61
3.4 CENÁRIOS SISTEMAS PLC EM REDES <i>INDOOR</i> .....	62
3.4.1 CENÁRIO RESIDENCIAL .....	63
3.4.2 CENÁRIO INDUSTRIAL .....	64
3.4.2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS .....	65

3.5 ENSAIOS REALIZADOS NO CENÁRIO RESIDENCIAL.....	66
3.5.1 PING.....	68
3.5.2 HTTP .....	70
3.5.3 HTTP PÁGINA WEB COMPLETA.....	71
3.5.4 SNMP DISPONÍVEL.....	73
3.5.5 JITTER DE PING.....	75
3.6 ANÁLISES DOS RESULTADOS DO CENÁRIO RESIDENCIAL.....	76
3.6.1 PING.....	76
3.6.2 HTTP .....	77
3.6.3 HTTP PÁGINA COMPLETA .....	78
3.6.4 SNMP DISPONÍVEL.....	79
3.6.5 JITTER DE PING.....	80
3.7 ENSAIOS REALIZADOS NO CENÁRIO INDUSTRIAL .....	81
3.7.1 PING.....	82
3.7.2 HTTP .....	82
3.7.3 HTTP PÁGINA WEB COMPLETA.....	83
3.7.4 JITTER DE PING.....	84
3.8 ANÁLISES DOS RESULTADOS DO CENÁRIO INDUSTRIAL .....	86
3.8.1 PING.....	86
3.8.2 HTTP .....	87
3.8.3 HTTP PÁGINA COMPLETA .....	88
3.8.4 JITTER DE PING.....	89
4 CONCLUSÃO .....	91
5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	93
REFERÊNCIAS .....	94

## 1 INTRODUÇÃO

Os processos de fabricação atuais necessitam cada vez mais de monitoramento, pois resultam em redução de custos e do tempo de resposta, assim como garantem uma maior confiabilidade nos resultados alcançados. Este monitoramento visa fornecer agilidade e flexibilidade ao planejamento da produção ao longo de toda a cadeia de suprimentos, possibilitando respostas rápidas a alterações e atrasos em diferentes pontos da cadeia. A análise das informações obtidas torna possível diagnosticar problemas durante um processo e corrigi-los de modo fácil e rápido, otimizando a produção e diminuindo o tempo de máquina parada. (BENAISSA et.al., 2004)

Atualmente, devido à globalização das empresas e de seus produtos, tem surgido uma elevada competição no mercado mundial entre as organizações. Procura-se uma maior otimização do gerenciamento planejado da linha de produção, máquinas mais eficientes e processos de fabricação bem estruturados. As indústrias, independente do porte, têm apresentado uma grande necessidade de informações confiáveis sobre os procedimentos da produção. Tal grau de especificação exige a inserção de sistemas de monitoramento e de controle dos processos. (CAPELLI, 2007).

No entanto, com a crescente necessidade de fontes de energia renováveis, aumentou e muito a pesquisa em várias áreas da produção energética. Esta forma de desenvolvimento sustentável destaca-se por baixos impactos ambientais e uma fonte inesgotável de energia proveniente dos ventos. (BALARINE, 2009).

Todo sistema produtivo precisa contar com a possibilidade de controle das suas condições operacionais. Inúmeras vezes os controles são locais e basicamente resultam em tirar um equipamento de funcionamento caso seus parâmetros não estejam corretos. Desta forma, é desejável a existência de um sistema de monitoramento das condições operacionais do sistema, permitindo a leitura por parte de uma equipe ou centro de controle.

Partindo da idéia de controle de processos, surge como opção o monitoramento remoto, ou seja, realizado a distância, que permite uma avaliação contínua do processo, além de prover uma redução nos custos operacionais, uma vez que dispensa a disposição de uma equipe de manutenção para cada sistema em funcionamento.

Em se tratando do monitoramento de aerogeradores, os mesmos encontram-se na maioria das vezes, distante de qualquer ponto de controle, surgindo então à necessidade de um sistema de monitoramento remoto. Ainda pode-se observar que o monitoramento à distância implica na redução de custos. Para tanto o questionamento girou em torno de que tecnologia poderia ser usada para substituir os cabos ou outros meios antes usados para prover a comunicação entre aerogeradores e central de controle.

## 1.1 MOTIVAÇÃO

Em 2005, teve início uma cooperação entre o Centro de Tecnologia da UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul e a empresa EPI – Energia, Projetos e Investimentos Ltda., parte do grupo empresarial alemão *eab technology group*, com um projeto de pesquisa que tinha como objetivo o desenvolvimento de um aerogerador de pequeno porte especialmente para o mercado brasileiro, projeto este apoiado pela FAPERGS. Em 2006, por intermédio das pesquisas de Oliver Lutz, aluno de mestrado pelo PPGEM vinculado ao LdTM situado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, continuaram os trabalhos na linha dos aerogeradores de pequeno porte.

Em 2007, foram desenvolvidos trabalhos sobre monitoramento de parâmetros do aerogerador, embasados nas pesquisas dos alunos de mestrado pelo PPGEM e vinculados ao LdTM, Vilson Gruber, que disserta sobre sistema de monitoramento remoto baseado em rede de celular GSM/GPRS para gerenciamento de desgaste de pastilha de freio e vibração da torre em aerogeradores e o também aluno de mestrado vinculado ao mesmo PPGEM, Roderval Marcelino, que por sua vez descreve sobre aquisição de dados e monitoramento remoto aplicado a indústria metal-mecânica: aerogeradores.

A presente dissertação é baseada nos trabalhos já desenvolvidos pelos autores anteriormente referenciados e conduzidos pela autora em atendimento ao projeto de pesquisa e desenvolvimento, no qual esteve envolvida a partir de 2010, quando ingressou no curso de mestrado na UFRGS.

Este trabalho de mestrado também está associado aos estudos e projetos do *Grupo de Desenvolvimento em Energias Renováveis – GDER*, grupo pertencente ao Laboratório de Transformação Mecânica, o qual busca através de novas técnicas de fabricação o desenvolvimento de componentes para novas fontes de energia, neste caso, o monitoramento remoto da variável temperatura utilizando uma tecnologia de comunicação de dados via rede elétrica, para posterior aplicação em motores de pequenos aerogeradores.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

O principal objetivo do trabalho é estudar e desenvolver um sistema utilizando a tecnologia de comunicação PLC e aquisição de dados, aplicado ao monitoramento e supervisão de temperatura do rotor de um aerogerador de pequeno porte por meio de um protótipo de simulação.

Com isso busca-se adquirir e analisar esse dado de funcionamento de modo a permitir a visualização das informações, ou seja, serão dispostos na rede mundial de computadores, os dados gerados pela variável monitorada, criando uma maior perceptibilidade sobre o atual estado do processo, possibilitando a continua avaliação das condições operacionais, sem a necessidade de deslocamento para a área de instalação do sistema, permitindo desta forma a redução de custos e de tempo de resposta, e uma possível atuação à distância sobre o equipamento em questão.

### 1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos assinalam as etapas desse projeto, portanto estão listados abaixo, segundo a ordem de prioridades idealizada:

- 1 – Construir um protótipo que permita monitorar a variável temperatura;

- 2 – Realizar a aquisição de dados por meio de sistemas embarcados;
- 3 – Transmitir os resultados da variável monitorada por meio da rede elétrica;
- 4 – Gerenciar os dados obtidos por meio de um software;
- 5 – Postar na rede mundial de computadores os dados gerados;
- 6 – Implementar ações para controle a distância;
- 7 – Avaliar o desempenho da tecnologia PLC.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

O presente estudo teve como princípio a busca por uma nova aplicação da tecnologia PLC, de modo que da forma como foram propostos os objetivos, pudéssemos substituir a utilização de cabos na implantação de um sistema de monitoramento. Desta forma estaríamos contribuindo com a redução dos custos na implantação de sistemas de monitoramento, assim como contribuindo com a agilidade de implantação desse sistema.

Este estudo comportou ainda a realização de um comparativo entre as tecnologias PLC e rede LAN, nos permitindo visualizar o desempenho de cada uma delas, podendo a partir destes resultados definir um melhor uso destas tecnologias em função das aplicações a que serão submetidas.

### 1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este documento está organizado em 5 capítulos cujos conteúdos são descritos, de forma sucinta, na presente seção.

A primeira seção é o capítulo introdutório e serve para explicar a motivação e os objetivos pretendidos com este trabalho.

O capítulo 2 aborda o princípio de geração da energia eólica, assim como os principais tipos de aerogeradores utilizados; abrangendo as suas principais características operacionais. São ainda mencionados sistemas de aquisição de

dados, transmissão e recepção por meio da tecnologia PLC e rede LAN, no que tange suas características e funcionamento. Todos embasados em literatura específica.

No capítulo 3 são apresentados os procedimentos experimentais, objetos de estudo e a forma como foram desenvolvidos os ensaios realizados. Será abordado também sobre o software utilizado para análise dos testes. Ainda no capítulo 3 são apresentados os resultados do comportamento da rede PLC comparada à rede LAN

O quarto capítulo resume as principais conclusões retiradas deste trabalho.

Já o capítulo 5 apresenta sugestões para trabalhos a desenvolver no futuro e que podem complementar o estudo desenvolvido.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 ENERGIA EÓLICA

O projeto deste trabalho tem como foco de aplicação o monitoramento de aerogeradores, portanto, a energia eólica está vinculada ao objeto de estudo. A energia eólica é a energia obtida pelo movimento do ar, e pode ser transformada em energia mecânica e elétrica. O termo eólico vem do latim *aeolicus*, pertencente ou relativo à Éolo, Deus dos ventos na mitologia grega e, portanto, pertencente ou relativo ao vento. Os ventos são causados por diferenças de temperatura que ocorrem continuamente em diferentes pontos do planeta. Nos locais mais aquecidos, o ar se dilata, ficando mais leve e rarefeito, e sobe ocasionando uma queda de pressão atmosférica no local. Nos locais mais frios, o ar se condensa ficando mais pesado, com maior pressão, possuindo uma tendência em escapar para as áreas mais vazias, como é o caso dos locais mais quentes, originando deslocamentos na forma de ventos. (ARAÚJO, 2008)

Há séculos atrás, quando a tecnologia da energia eólica fez seus primeiros passos reais embora os dispositivos de ventos mais simples datem milhares de anos atrás, com os moinhos de vento de eixo vertical encontrados nas Fronteiras persas-afegão, cerca de 200 AC e os moinhos de eixo horizontal da Holanda e no Mediterrâneo na seqüência muito mais tarde. (JOHN, 2011)

Figura 1 - Início da exploração da energia eólica ao surto da Califórnia



Fonte: DODGE, 2006

Na década de 1930 e 1940, centenas de milhares de turbinas de produção de electricidade eólica foram construídas nos EUA. Até o início dos anos 1950, entretanto, a extensão da rede elétrica central para quase todos os lares americanos, através da eletrificação rural, eliminou o mercado para essas máquinas; o que implicou na falta de desenvolvimento de turbinas de vento para os próximos 20 anos. [IEC, 2010]

Na Dinamarca, a fábrica Gedser de aerogeradores com três pás de rotor, operou com sucesso até o início dos anos 1960, enquanto na Alemanha, uma série de projetos avançados de eixo horizontal foram desenvolvidos. Um dos marcos mais importantes da história da energia eólica coincide com o envolvimento do governo dos EUA na pesquisa e desenvolvimento (P & D) após a crise do petróleo de 1973. Na seqüência, nos anos entre 1973 e 1986, o mercado comercial de aerogeradores evoluiu de doméstico e agrícola (1-25 kW) à utilidade interligando aplicações em parques eólicos (50 - 600 kW). (JOHN, 2011)

Em 1991, a Dinamarca ergueu o primeiro parque eólico com 11 aerogeradores. No mesmo ano, o Reino Unido construiu sua primeira usina eólica em terra, com 10 turbinas. Essas locais estão ainda em funcionamento hoje (Nixon, 2008). Em 2009, 10,5 GW de capacidade elétrica foram instaladas na Europa, com a Espanha levando (2,5 GW), e na Alemanha logo atrás (1,9 GW). Itália, França e Reino Unido adicionaram mais de 1GW de nova capacidade eólica (CleanTech Group, 2010).

Quanto ao cenário do país, em relação ao mundo, podemos observar os números apresentados pela revista Exame, segundo segue:

O Brasil responde por cerca da metade da capacidade instalada na América Latina, mas representa apenas 0,38% do total mundial. Para o diretor-executivo da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), Pedro Perrelli, o desenvolvimento do parque eólico do país só não é maior porque o Brasil tem muita capacidade hidrelétrica instalada e potencial. (EXAME, 2010)

A energia eólica continua a crescer em todo o mundo como fonte de energia alternativa aos combustíveis fósseis. A questão energética está vinculada ao desenvolvimento de uma região ou país. Na atualidade, necessita-se mais de

energia do que em qualquer período já visto, com isso torna-se visível seus efeitos poluidores. Segundo Jianzhong (2009), a energia eólica é o principal método de geração de energia com tecnologia madura e futuro comercial brilhante. Ao contrário dos combustíveis convencionais, as energias renováveis têm disponibilidade constante em quase todos os países do mundo, sendo a energia eólica a de maior interesse na atualidade. É uma abundante fonte de energia, renovável, limpa e disponível em todos os lugares.

## 2.2 AEROGERADORES

Segundo Walter (2010), aerogeradores e moinhos de vento dependem do movimento de correntes de ar ou do vento para virar algum tipo de hélice ou rotor para converter a energia do vento em energia mecânica.

O aerogerador por sua vez, é um equipamento destinado à produção de eletricidade utilizando o vento como fonte de energia primária. A transformação do vento em energia elétrica acontece quando a energia cinética do vento provoca um movimento rotativo no rotor do aerogerador (transformação de energia cinética em mecânica), que é transposta para um gerador, que por sua vez a transforma em energia elétrica.

Há várias configurações de geradores eólicos, porém foi utilizada como forma de entendimento, a subdivisão destes tipos nos quesitos: tipos de turbinas, orientação do eixo, e número de pás.

### 2.2.1 Tipos de Turbinas Eólicas

Os aerogeradores possuem uma turbina eólica acoplada a um gerador por meio de um eixo, conseguindo assim realizar a extração da energia cinética do vento. A potência do vento é convertida em potência mecânica para a efetivação de trabalho ou conversão em energia elétrica por meio destas turbinas.

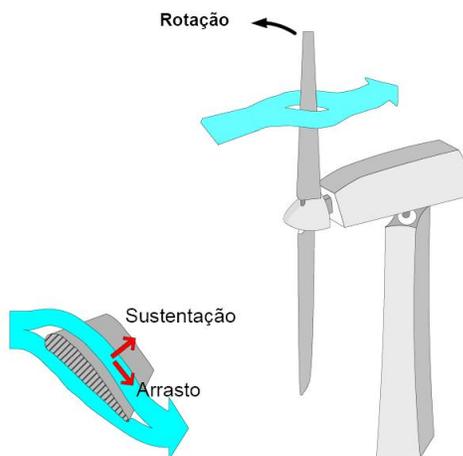
De acordo com a interação das pás com o vento, as turbinas são classificadas em turbinas de arraste e turbinas de sustentação. (WALTER, 2010)

### 2.2.2 Turbinas de Arraste

As turbinas de arraste têm suas pás empurradas pelo vento, fazendo o rotor girar. O arraste é o efeito de forças de fricção (atrito), que agem em direção paralela à superfície do objeto. Desse modo, o arraste é a força que faz resistência ao movimento de um objeto sólido (a pá do aerogerador) através de um fluido (o ar) (GASCH, 2007).

Neste tipo de turbina, a velocidade das pás não pode ultrapassar a velocidade do vento, o que a torna menos eficiente.

Figura 2 - Princípios das forças aerodinâmicas resultantes da pá de uma turbina



Fonte: IEC, 2010

### 2.2.3 Turbinas de Sustentação

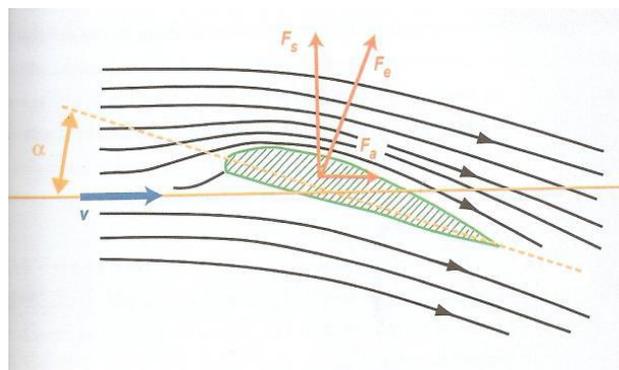
Existem aerogeradores que usam a tecnologia conhecida pelos aviões e helicópteros como princípio de funcionamento. Como pôde ser visto na figura 2, as turbinas do tipo sustentação utilizam estas características aerodinâmicas. Os aerogeradores funcionam em condições adversas com as mudanças de velocidades e direção de ventos.

O vento passa mais rapidamente sobre o lado mais extenso formado pelo contorno da superfície da pá. Neste lado é criada uma área de baixa pressão. O

diferencial de pressão entre as duas superfícies resulta em uma força de sustentação.

A sustentação é a razão pela qual os aviões podem voar, isto é, o ar que desliza na superfície superior das asas se move mais rápido que a da parte inferior, ocasionando uma força de elevação. No caso das pás da turbina, a força de sustentação produz a rotação das mesmas.

Figura 3 - seção da pá de um rotor de uma turbina eólica de sustentação



Fonte: CUSTÓDIO, 2007

## 2.3 ORIENTAÇÃO DO EIXO DE TURBINAS EÓLICAS

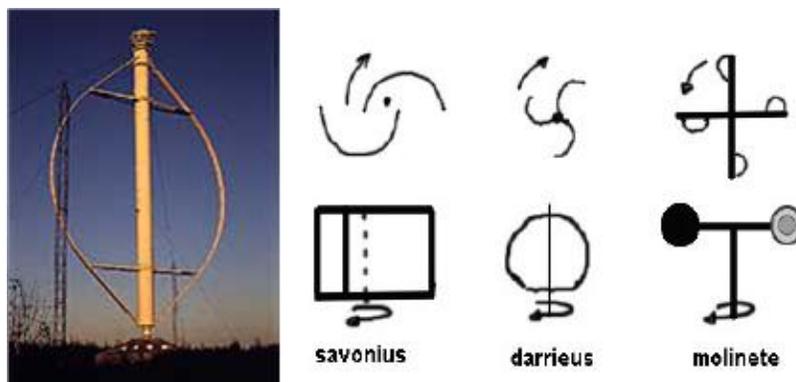
Conforme o tipo de aplicação, os rotores eólicos das turbinas foram sendo adequados, os rotores eólicos podem ser classificados de acordo com alguns critérios e o mais significativo é aquele que utiliza a orientação do eixo como fator de classificação. Deste modo, têm-se os rotores de eixo vertical e os rotores de eixo horizontal. (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2011)

### 2.3.1 Turbina de Eixo Vertical

As turbinas de eixo vertical possuem como vantagem o fato de o gerador ser localizado na base e poder captar os ventos sem necessidade de um mecanismo de orientação, assim como a possibilidade de instalar a caixa de engrenagens e o gerador elétrico no solo.

A turbina eólica de eixo vertical (TEEV), do tipo Darrieus, foi nomeada após o engenheiro francês Georges Darrieus que a projetou e a patenteou em 1931, e foi fabricada pela empresa E.U. FloWind, que faliu em 1997. Os principais tipos de rotores de eixo vertical são: savonius, darrieus e molinete como podem ser observados na figura 4. (ANTUNES, 2011)

Figura 4 - Diferentes tipos de turbinas verticais.



Fonte: ANTUNES, 2011

### 2.3.2 Turbina de Eixo Horizontal

Este é o tipo de rotor mais eficiente e pode ser observado na figura 5, porém requer sistemas mecânicos mais complexos que os de eixo vertical, pois têm como característica principal a necessidade de um sistema de controle para posicionar o rotor na direção predominante do vento. As turbinas eólicas de eixo horizontal (TEEH) são as mais comuns, e grande parte da experiência mundial está voltada para a sua utilização. (ANTUNES, 2011)

Figura 5 - Monte Guzzini fazenda eólica na Sardinia - ITÁLIA

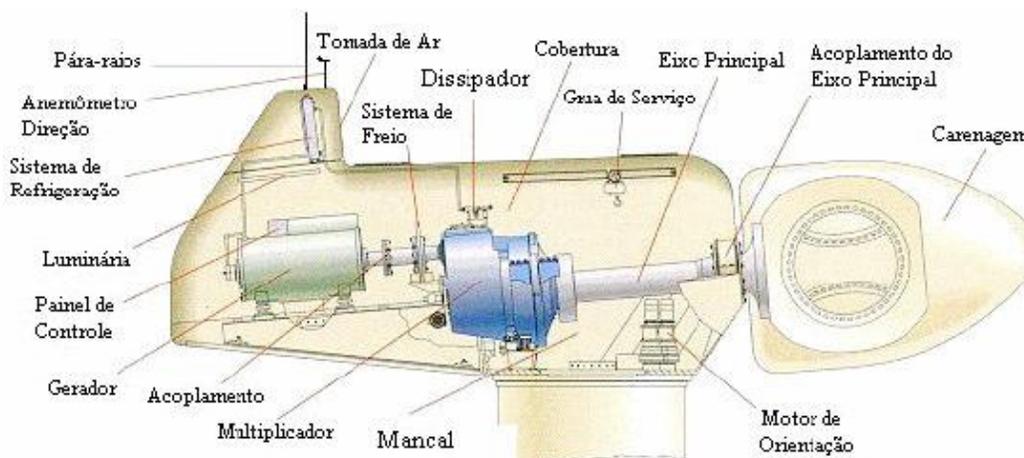


Fonte: CARCANGIU, 2008

## 2.4 COMPONENTES DE UM AEROGERADOR

Um sistema eólico é composto por diversos componentes que devem trabalhar em concordância de forma a resultar em um maior rendimento final. Na seqüência, destacamos os principais componentes que fazem parte de um aerogerador e que podem ser observados na figura 6:

Figura 6 - Principais componentes de um aerogerador



Fonte: MACEDO, 2002

## 2.5 MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

Segundo Franchi (2008) o motor elétrico é um dispositivo que converte energia elétrica em energia mecânica, em geral, energia cinética, que pode ser aproveitada de diversas maneiras, dependendo da aplicação do motor.

Ainda de acordo com Franchi (2008), existem vários tipos de motores elétricos, entre eles o motor de indução trifásico, motor este que faz parte do aerogerador de pequeno porte em estudo e que pode ser observado na figura 7.

Porém, conforme Filippo Filho (2000) o motor C.A assíncrono é denominado como motor de indução, posto que seu princípio de funcionamento esteja baseado na indução eletromagnética.

A variação do fluxo magnético no interior de uma espira promove a indução de tensão em seus terminais. Se os terminais forem curto-circuitados, haverá circulação de uma corrente elétrica induzida. Filippo Filho (2000, p.3).

Figura 7 - Motor de Indução Trifásico



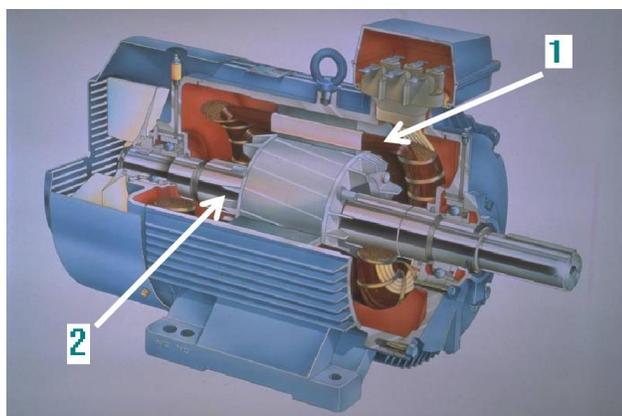
Fonte: WEG, 2011

Conforme Filippo Filho (2000) o motor de indução trifásico foi “inventado” pelo russo Michael Dolivo-Dobrovolski, que era engenheiro da AEG (Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft) – Alemanha, em 1889.

### 2.5.1 Principais Componentes do Motor de Indução

Na seqüência serão apresentadas as duas principais partes de um motor de indução: Estator e rotor, conforme pode ser observado na figura abaixo.

Figura 8 - Estator (1); Rotor (2)



Fonte: WEG, 2011

### a) Estator

Um circuito magnético estático, constituído por chapas ferromagnéticas empilhadas e isoladas entre si, ao qual se dá o nome de estator; Segundo Filippo Filho:

Essas chapas têm a forma de um anel com ranhuras internas, e servem para acomodar os conjuntos de bobinas, ou simplesmente enrolamentos, que irão criar o campo girante. As bobinas localizadas nas ranhuras do estator recebem a potência elétrica diretamente da rede, à semelhança do primário de um transformador. Filippo Filho (2000, p.21)

### b) Bobinas

As bobinas localizam-se em cavidades abertas no estator e alimentadas pela rede de corrente alternada. De acordo com o número de grupos de bobinas, classifica-se o motor enquanto monofásico ou polifásico. (FRANCHI, 2008)

### c) Rotor

O rotor é constituído por um núcleo ferromagnético, também laminado, sobre o qual se encontra um enrolamento ou um conjunto de condutores paralelos, nos quais são induzidas correntes provocadas pela corrente alternada das bobinas do estator. (LENZ, 2005)

Figura 9 – Rotor



Fonte: WEG, 2008

### 2.5.2 Princípio de funcionamento do Motor de Indução

Sempre que uma bobina é percorrida por uma corrente elétrica, cria-se um campo magnético com sentido conforme o eixo da bobina, e com seu valor proporcional à corrente aplicada.

No caso de um enrolamento trifásico, este é alimentado por correntes trifásicas, gerando um campo magnético girante, como se houvesse um único par de pólos com magnitude estável. Este campo criado pelo enrolamento do estator induz tensões nas barras do rotor, as quais por sua vez provocam correntes e, por conseguinte, campo no rotor, de polaridade oposta à do campo girante. Como os opostos se atraem, e o campo do estator é rotativo, o rotor tende a acompanhar a rotação desse campo, fazendo com que o motor gire. (FRANCHI, 2008)

## 2.6 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

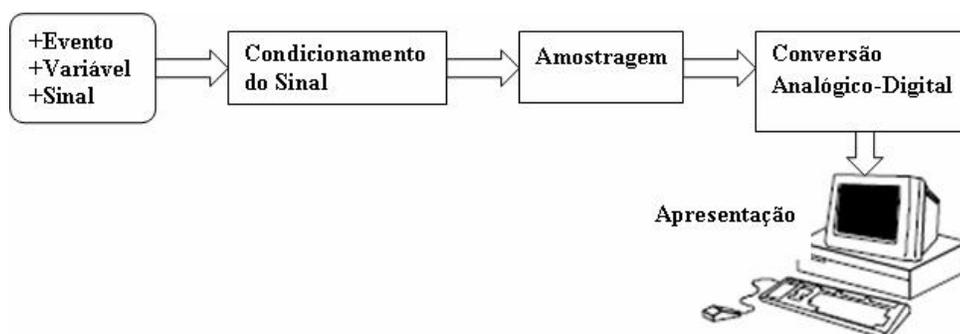
Aquisição de dados significa obter conhecimento de algum processo físico por meio da medição de suas grandezas, que serão digitalizadas de forma a permitir a aplicação de algum tipo de processamento que irá torná-lo ajustado, para fim de comparação, com grandezas pré-determinadas. (BRAGA, 2008)

Os sistemas de monitoramento baseiam-se no emprego de sensores diversos na análise de um ciclo. O sinal obtido é processado e, então, são gerados índices, ou seja, características do procedimento que está sendo monitorado. A análise desta torna possível o detalhamento do processo e a classificação de eventuais problemas. (MOREIRA, 2007)

Qualquer sistema de aquisição irá apresentar alguns blocos, ou funções, básicas: sensores, condicionamento de sinal, conversão analógico-digital e processamento. (BRAGA, 2008)

Na seqüência serão dispostas algumas destas funções e suas subdivisões, existentes no sistema de aquisição de dados em questão, conforme pode ser observado na figura 10.

Figura 10 - Diagrama funcional de um sistema de aquisição de dados



Fonte: O autor

### 2.6.1 Sensores

Segundo Thomazini e Albuquerque (2010) no estudo do monitoramento e conseqüentemente automação em sistemas industriais e comerciais, é necessário determinar as condições ou variáveis do sistema. É indispensável obter os valores das variáveis físicas do que se pretende monitorar, e este é o papel dos sensores.

Segundo Braga (2008), sensores podem ser vistos como componentes,

[...] responsáveis por converter alterações dos fenômenos físicos como corrente, tensão, pressão, temperatura, nível de iluminação, potência, por exemplo, em sinais elétricos. Alguns tipos de sensores também são conhecidos como transdutores, ainda que transdutores sejam responsáveis pela conversão de um tipo de energia em outro tipo que pode não ser elétrica. Nestes casos o sensor será formado por um transdutor mais algum dispositivo que transforme a nova forma de energia em um sinal elétrico.

A função de um sensor se resume a duas partes: a que interage com o ambiente possibilitando a medição de algo variável através da alteração sofrida e aquela que ao receber certo tipo de entrada, transforma-a em uma outra forma de energia. Desta forma, quando o sensor detecta uma alteração no ambiente monitorado, envia um sinal ao sistema por meio de sua função de transdutor.

Uma vez que o sinal é uma forma de energia, os sensores/transdutores podem ser classificados de acordo com o tipo de energia que detectam. Como por exemplo, os sensores de temperatura.

### 2.6.1.1 Sensores de Temperatura

Nas aplicações industriais, uma das grandezas mais comuns de ser medida é a temperatura. Para esta finalidade, pode-se contar com uma grande variedade de tecnologias de sensores. Na seqüência serão apresentados alguns tipos de sensores de temperatura existentes.

#### a) Termistores

Os termistores, que têm seu nome proveniente do inglês thermal resistors, são resistores semicondutores sensíveis à temperatura, isto é, são semicondutores eletrônicos cuja resistência elétrica varia com a mudança de temperatura, portanto de acordo com o seu tipo, tem-se um coeficiente de resistência/temperatura negativo (NTC) ou positivo (PTC). O material empregado na construção destes é que diferencia o termistor PTC (Positive Temperature Coefficient) e o NTC (Negative Temperature Coefficient). Disponíveis numa faixa de -55 °C a 300°C. (LAMAS, 2008)

A utilização é muito vasta, abrange desde aplicações na área química, como calorimetria, medição da condutividade térmica de gases, física, medição de vácuo e radiometria, assim como na medicina por meio dos termômetros.

#### PTC

É o componente resistivo que responde com aumento do valor ôhmico à medida que a temperatura se eleva.

#### NTC

É o componente resistivo que responde com diminuição do valor ôhmico à medida que a temperatura se eleva.

#### b) Termopares

Os Termopares são sensores de maior uso industrial para medição de temperatura. Eles cobrem uma faixa bastante extensa de temperatura que vai de -200 a 2300°C aproximadamente, com uma boa precisão e repetibilidade aceitável,

tudo isto a um custo que se comparado com outros tipos de sensores de temperatura são mais econômicos. (IOPE, 2011)

Segundo Thomazini (2010), um termopar funciona medindo a diferença de potencial causada por fios de materiais diferentes, conhecidas como junções. Existem vários tipos de termoelementos, dando origem a vários tipos de termopar, como por exemplo termopar tipo T, composto por Cobre<sub>(+)</sub> / Cobre-Níquel<sub>(-)</sub> que trabalha na faixa de -270 a 400° C.

#### c) Termorresistência

A resistência de um metal é função da vibração dos átomos e, por conseguinte, da temperatura. Ainda segundo Thomazini (2010, p.100):

As termorresistências são sensores de temperatura muito utilizados na indústria, pois além de ótima precisão, possuem uma larga faixa de trabalho e ainda permitem ligações a longa distância. O princípio é um filamento bastante delgado de um metal como platina ou níquel cuja resistência varia com a temperatura. Thomazini (2010, p.100)

#### d) Sensores eletrônicos

São sensores utilizados especialmente para montagem em placas de circuito impresso. Podem ser encontrados os seguintes tipos: diodos, transistores e circuitos integrados.

#### e) Circuitos integrados

São na maioria das vezes sensores que possuem funções a mais como filtros e reguladores, etc. Existem diversos circuitos integrados com a função de sensor de temperatura, são os chamados Resistance Temperature Detector (RTD). As marcas Honeywell, Analog Devices assim como a National Semiconductor possuem seus modelos de termosensores, como o LM35 da National, que oferece alta precisão por conter circuitos linearizados. (THOMAZINI, 2010)

## 2.7 SISTEMA DE TRANSMISSÃO E RECEPÇÃO UTILIZANDO A TECNOLOGIA PLC

O Power Line Communication, ou PLC, como é conhecida, é a tecnologia na qual se utiliza a rede elétrica de distribuição como meio físico para o transporte de sinais de dados.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2009), o Power Line Communication (PLC) é um tipo de sistema que permite a transmissão de sinais de internet, voz, vídeo e comunicação digital e analógica, por meio da rede elétrica.

O primeiro uso dos sistemas de Power Line Communication (PLC), também denominados OPLAT (Ondas Portadoras em Linhas de Alta Tensão), ocorreu por volta da década de 1920. Desde então, estes sistemas têm sido utilizados pelas empresas de energia elétrica para telemetria, controle remoto e comunicações de voz. (VALDIVIA apud SOARES, 2010, p.29)

No começo da década de 90, o Dr. Paul Brown da Norweb Communications (empresa de Energia Elétrica da cidade de Manchester, Inglaterra) iniciou testes com comunicação digital de alta velocidade utilizando linhas de energia elétrica. Entre 1995 e 1997, ficou comprovado que era possível resolver os problemas de ruído e atenuar as interferências às quais as linhas da rede elétrica estão expostas e que a transmissão de dados a alta velocidade poderia ser viável. (GUNGOR apud SOARES, 2010)

De acordo com o Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE, 2010), o modelo IEEE1901 é um grupo de trabalho criado para escrever um padrão em comunicações de rede elétrica de alta velocidade. Este padrão tem como propósito, criar novas técnicas de modulação de modo a oferecer a possibilidade de utilização das linhas de força para a comunicação de alta velocidade.

A tecnologia PLC apresenta várias características específicas, que como pode ser observado, são apresentadas em vários estudos, os quais alguns são

citados na seqüência, como por exemplo, a transmissão do sinal PLC, o ponto de vista regulatório e aplicações.

### 2.7.1 Princípio de Funcionamento

O princípio de funcionamento da tecnologia PLC, consiste em sobrepor um sinal de alta freqüência (MHz), sobre os 60 Hz dispostos na rede elétrica.

Este sinal é transmitido sobre os fios das redes de distribuição de baixa e média tensão. A transmissão de sinais de comunicação sobre as linhas de corrente alternada é difícil por diversos fatores, entre eles:

- Existência de ruídos e interferências não previsíveis, determinadas pela abertura e fechamento de circuitos, aparelhos acoplados às tomadas, etc.; (MALATHI, 2007)
- Irradiações das freqüências transportadas em linhas abertas, sem forma alguma de blindagem, com alto potencial de interferência com sistemas que atuam nas mesmas freqüências;
- As características topológicas das linhas de distribuição de energia elétrica (linhas abertas, de características não lineares, a existência de derivações ao longo de toda a linha, os transformadores, etc.);

Alguns dos tipos de modulação e multiplexação empregados na tecnologia em questão reduzem estas restrições, permitindo o correto funcionamento da mesma. Nos sistemas PLC em geral, são utilizadas como forma de multiplexação a *Frequency Division Multiplex* (FDM) e como modulação a *Orthogonal Frequency Division Multiplex* (OFDM).

#### a) Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM)

Para que a rede elétrica possa servir de meio comunicação confiável a altas taxas de transferência, robustas técnicas de transmissão, como por exemplo a multiportadora OFDM deve ser utilizada. Segundo Pinto e Albuquerque (2002, p.1) a técnica OFDM consiste na transmissão paralela de dados em diversas

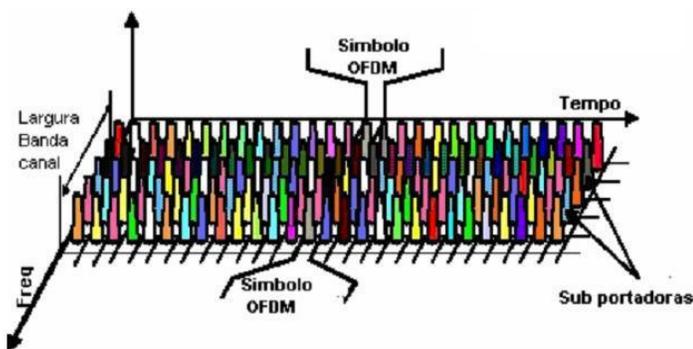
subportadoras com modulação QAM ou PSK e taxas de transmissão por subportadora tão baixas quanto maior o número destas empregadas.

Com o objetivo de minimizar os efeitos da seletividade em frequência gerados pela hostilidade provocada pela atenuação, pelo descasamento de impedância ao longo da linha e pelo ruído existente na rede elétrica, tal divisão é realizada de modo que o tempo de um determinado símbolo a ser transmitido em cada subseqüência seja maior que o espalhamento multipercurso do canal PLC. Isso aumenta a robustez do sistema multiportadora perante interferência entre símbolos OFDM. (CAVALCANTE, 2010) (HARAD; PRASAD, 2003)

Conforme Dias (2006, p.21)

A técnica de transmissão OFDM (do inglês, *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) é uma forma especial de modulação multi-portadora que consiste na transmissão paralela de dados modulando-se diversas subportadoras densamente espaçadas cujas frequências são escolhidas de modo a manter ortogonalidade mútua.

Figura 11 - Separação das portadoras na frequência e no tempo



Fonte: BAPTISTA, 2008

## 2.7.2 Topologias e Aplicações

O emprego de redes PLC com diferentes topologias, depende da aplicação e deverá ser avaliada com base em uma série de aspectos, como as necessidades do local escolhido, o modelo de negócios a ser aplicado além de estar em concordância com os aspectos regulatórios vigentes.

Deste modo, apresentamos as principais topologias que, de acordo com a aplicação, poderão derivar uma série de outras possibilidades para a implantação de redes PLC.

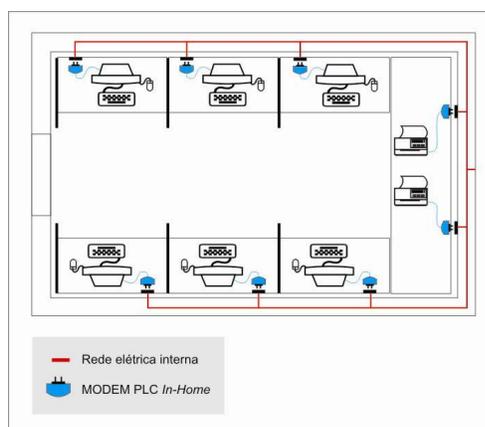
Podemos classificar as topologias para a aplicação de sistemas PLC em três grandes grupos:

- Topologia PLC *Indoor*;
- Topologia PLC para acesso na última milha;
- Topologia PLC para acesso WAN.

#### a) PLC *Indoor*

Este modelo é constituído pela rede de distribuição elétrica nas instalações de baixa tensão, e pelos modems para conexão dos equipamentos que serão interligados. Inúmeros modems podem estar conectados nas tomadas de energia elétrica disponíveis em uma instalação de usuário. A figura 12 ilustra um exemplo de aplicação da topologia *Indoor* e/ou *In-Home* para compor uma pequena rede, interligando algumas estações de trabalho e periféricos em um escritório.

Figura 12 - Topologia PLC In-Home

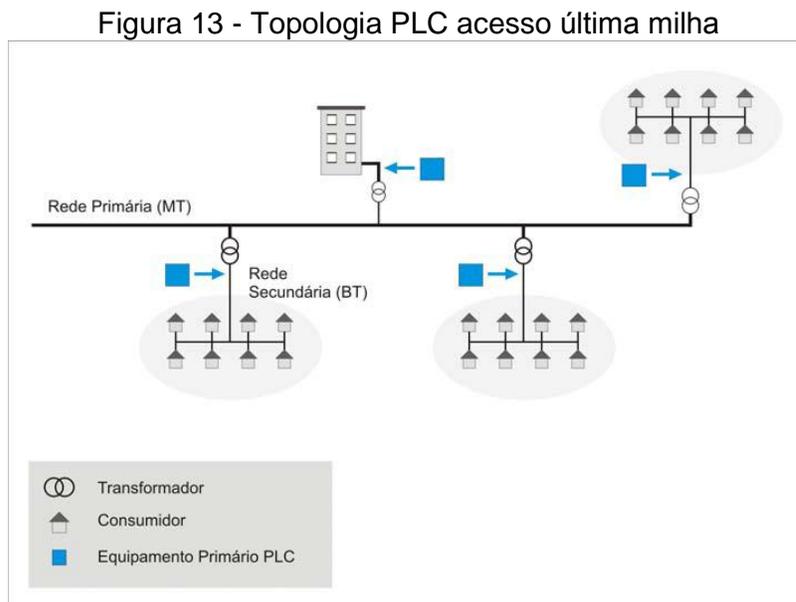


Fonte: O autor

#### b) Topologia PLC para Acesso na Última Milha

Nesta aplicação, a rede PLC estende seus limites para além da rede elétrica interna de um local específico, gerando diversas sub-redes de menor porte. Neste

tipo de topologia o sinal PLC é acoplado nas redes de baixa tensão (BT) após o transformador de distribuição, de modo que todos os usuários desta rede passam a ter acesso, por meio de MODEMS, ao sistema. A figura 13 ilustra a aplicação da tecnologia PLC segundo o conceito de última milha. (VIDAL, 2005)

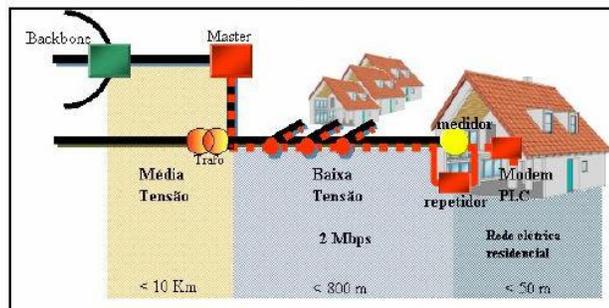


Fonte: VIDAL, 2005

### c) Topologia PLC para acesso WAN

A tecnologia PLC aplicada a redes WAN é utilizada quando se necessita de acesso rápido a um meio que pode ser a de uma internet, ou outro qualquer, onde um sinal proveniente de uma provedora de serviços através de uma fibra óptica, cable modem, ou ainda de uma solução PLC de media tensão, estenda-se até um equipamento PLC servidor, onde este faz a distribuição do sinal utilizando a rede de baixa tensão a todos os usuários que estiverem conectados a este transformador, o cliente recebe o sinal na tomada e com o auxílio do Modem PLC faz a filtragem do sinal de frequências. Conforme a distância do transformador a cada cliente se faz necessário um repetidor, conforme pode ser visto na figura 14. (CAVALCANTE; MENESES, 2008)

Figura 14 - Topologia PLC acesso WAN



Fonte: (CAVALCANTE; MENESES, 2008)

### 2.7.3 Estado da Arte

A utilização da rede elétrica, por intermédio da tecnologia Power Line Communication – PLC, no monitoramento remoto de aerogeradores é apresentado por Silva. Este dispõe de um sistema de monitoramento, aquisição, coleta e transmissão de dados à distância, aplicados a condições operacionais de aerogeradores de pequeno porte. (SILVA, 2007)

Também se encontra, focado na parte de monitoramento, porém da própria rede elétrica por meio da tecnologia PLC, de modo a melhorar, de uma forma bastante significativa, a eficiência, gestão e monitoramento rede elétrica, dotando a rede de inteligência, base da criação das redes inteligentes. (SOARES, 2010)

No que tange o aspecto regulatório, no Brasil pode-se basear nos trabalhos de (TOMIMURA, 2008), (TOMIMURA, 2009), (TEIXEIRA et AL. 2007) os quais apresentam resultados de medições realizados por fabricantes, ANATEL e concessionárias de energia.

No Brasil temos como embasamento a Resolução Normativa nº527, de oito de abril de 2009, que dispõe sobre a regulamentação sobre condições de uso de radiofrequências por sistemas de banda larga por meio de redes de energia elétrica, resolução conferida pela Anatel. (ANATEL, 2011)

Contamos ainda com a Resolução Normativa nº375, de 25 de agosto de 2009, que por sua vez regulamenta a utilização das instalações de distribuição de

energia elétrica como meio de transporte para a comunicação digital ou analógica de sinais; resolução conferida pela Aneel. (ANEEL, 2010)

No que diz respeito à transmissão do sinal PLC pela rede elétrica, pode ser observado em (MAENOU, 2006), o qual apresenta diversas características de propagação e distribuição dos sinais.

Estudos e projetos abrangentes também desenvolvidos com a tecnologia PLC é o Open PLC European Research Alliance (OPERA), cujo objetivo foi desenvolver procedimentos de aplicação da tecnologia PLC que possam vir a ser uma alternativa de acesso a internet banda larga onde todos os usuários finais possam ser alcançados (VIEIRA Apud FACCIONI et. Al., 2008).

No quesito aplicações, são inúmeros os trabalhos já existentes. O grupo das redes de transmissão e de alta tensão é onde se aplicam a maioria dos projetos que visam implantar serviço de Internet sobre as linhas de transmissão da rede elétrica. Logo o grupo das redes de distribuição é o foco principal das aplicações de telemetria e de controle de informações. Já no ambiente residencial a tecnologia PLC encontra uma ampla variedade de aplicações voltadas, sobretudo, à automação residencial, onde se podem destacar alarmes, controle de calefação e ar condicionado, segurança, iluminação e até mesmo para comportar a criação de redes locais de computadores via a rede elétrica. Podem ser observados como ponto de partida os estudos de (ARTEAGA, 2008) e (YANG, 2009), os quais trazem duas grandes redes PLC, com intuito de prover serviços de internet, assim como serviços de monitoramento e vigilância. Destaca-se ainda o trabalho de (SUNGKWAN, 2008), este utiliza a tecnologia PLC aplicada ao controle de iluminação pública, e traz como embasamento a redução do consumo de energia, assim como os estudos de (KONATE, 2009), que apresenta o PLC no controle de velocidade de motores de indução, e (MACHADO, 2009), que tem como foco a automação doméstica dedicada à assistência de pessoas portadoras de necessidades especiais, de modo a transferir sinais biológicos de um cômodo a outro por meio da rede elétrica já existente no ambiente.

## 2.8 SISTEMA DE TRANSMISSÃO E RECEPÇÃO UTILIZANDO A REDE LAN

A Local Area Network (LAN) refere-se a uma rede utilizada na interconexão de equipamentos com a finalidade de trocar dados. A mesma destaca-se pela sua restrição em relação ao espaço ocupado, aproximadamente 10 Km; podendo ser um edifício, alguns edifícios na vizinhança, ou até mesmo um único piso/sala de um edifício. Entre os diferentes tipos de LAN destaca-se a ethernet que atualmente é a mais utilizada. (COMER, 2007)

Como mencionado, os meios de transporte de dados mais utilizados são os meios com fio e sem fio, operando a velocidades que variam de 10 a 100Mbps. Já as mídias de transmissão mais utilizadas são os cabos (par trançado, coaxial, fibra óptica) e o ar (em redes Wireless). (TUTORZONE, 2011)

Porém a forma com que os dispositivos se comunicam, é conhecida como protocolo, ou seja, a linguagem. Para tanto todos os equipamentos devem “falar” a mesma linguagem, isto é, o mesmo protocolo. Os protocolos mais usados atualmente são o TCP/IP, IPX/SPX. (TANEMBAUM, 2005)

### 2.8.1 Topologias e Aplicações

Segundo Suzano (2011), a topologia demonstra como é o layout de uma rede de computadores por meio da qual há o tráfego de informações e/ou de que modo os dispositivos estão conectados a ela.

Existem várias formas nas quais pode-se organizar a interligação entre os dispositivos da rede. Topologias indicam fisicamente e logicamente como a rede se dispõe. A topologia física é relaciona a aparência, enquanto que a lógica descreve o fluxo dos dados através da rede. (COMER, 2007)

Podemos classificar as topologias para a aplicação de redes LAN em três populares formas, além de permitir o uso destas em conjunto, topologia híbrida.

- Barramento;
- Anel;
- Estrela

#### a) Barramento

Todos os computadores são ligados em um mesmo barramento físico de dados, que consiste num cabo com dois pontos terminais e diversos dispositivos ligados ao cabo. Essa topologia utiliza cabos coaxiais. Redes ethernet utilizam este tipo lógico de topologia. (TANEMBAUM, 2005)

#### b) Anel

Na topologia em anel os dispositivos são conectados em série, formando um circuito fechado. Os dados são transmitidos unidirecionalmente de ponto em ponto até atingir o seu destino.

#### c) Estrela

A topologia em estrela é marcada por um determinado número de nós, ligados em uma controladora especializada em comunicações. A controladora é responsável por retransmitir todos os dados para todas as estações. (COMER, 2007)

## 2.9 QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

Em se tratando do uso de uma tecnologia que por sua vez utiliza a rede elétrica como meio de propagação, a questão da qualidade da energia elétrica torna-se um ponto a ser considerado.

Uma definição abrangente define qualidade de energia elétrica (QEE) como sendo uma medida de quão bem a energia elétrica pode ser utilizada pelos consumidores. (ONS, 2000)

Segundo Mehl (2001), houve uma mudança significativa nas cargas elétricas existentes nas residências e/ou indústrias, ou seja, uma evolução das mesmas, causando uma “poluição” na rede de energia elétrica.

Atualmente, vivemos uma realidade bastante diferente, onde podemos encontrar comumente consumidores (de diversas classes), também residenciais, com cargas comandadas eletronicamente, tais como fornos de microondas, computadores e periféricos, diversos aparelhos de TV e de áudio, em uma gama bastante vasta de eletrodomésticos. Tornou-se comum, portanto a existência de cargas eletrônicas. (MEHL, 2001)

As cargas elétricas comandadas eletronicamente possuem uma característica intrínseca que é a não-linearidade das mesmas, ou seja, não requerem a corrente elétrica constantemente, mas solicitam apenas picos de energia em determinados momentos. Com isto, as cargas eletrônicas acabam por distorcer a forma de onda (tensão e corrente) que lhe é entregue e como consequência gerando uma "poluição" na rede de energia elétrica. (MEHL, 2001)

### 2.9.1 Harmônicos de Corrente e Tensão

De acordo com Bender (2008)

A energia elétrica que é utilizada na rede elétrica convencional, caracteriza-se por possuir uma forma de onda senoidal que apresenta uma frequência de 60Hz. Entretanto ao inserirmos alguma carga na rede elétrica, seu comportamento poderá ser alterado, dependendo do tipo de carga que está sendo utilizada. As cargas não-lineares caracterizam-se por possuir elementos como diodos, transistores, entre outros que podem provocar discontinuidades na corrente, desse modo injetam conteúdo harmônico na rede elétrica.

Portanto, segundo Maia e Pinheiro (2006), os harmônicos são componentes senoidais de tensões ou correntes com frequências inteiras e múltiplas da frequência fundamental do sistema de alimentação.

## 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 3.1 OBJETO DO ESTUDO

A metodologia apresentada a seguir serve para diversas aplicações, porém o sistema de monitoramento proposto neste trabalho objetiva a monitoração da

temperatura do rotor de um aerogerador de bancada, que será simulado por meio de um protótipo, com sensor acoplado a um resistor de potência, que fornece variações de temperatura simulando o funcionamento do motor do aerogerador e suas alterações; permitindo a identificação da normalidade do equipamento.

### 3.2 DESENVOLVIMENTO

No desenvolvimento do projeto de aquisição e transmissão de dados aplicados a um sistema de geração de energia elétrica baseado em um sistema eólico, optou-se pelo modelo de monitoramento local com acesso remoto, por observar que toda e qualquer unidade geradora encontra-se afastada de centros urbanos e torna-se altamente onerosa a avaliação, operação e manutenção do sistema.

Para implementar as funções de monitoramento foram montados circuitos de aquisição de dados controlados por uma placa de processamento de sinais. A placa de aquisição, por sua vez é controlada via programas embarcados, desenvolvidos no âmbito do projeto. O programa utilizará o sistema de comunicação suportado pelo PLC, para disponibilizar os resultados na Web, através de páginas HTML e também via conexões FTP seguras, enquanto que o monitoramento é feito em tempo real.

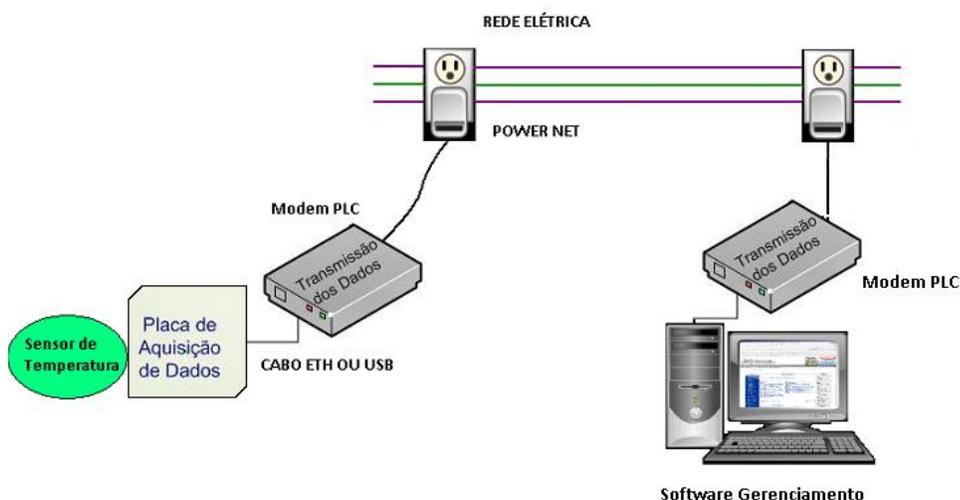
Foi utilizado um modelo de sistema de aquisição de dados que captura o parâmetro temperatura, utilizando a rede elétrica como meio de transmissão. Dessa forma puderam-se obter informações características do processo e utilizá-las como forma de diagnóstico através da variável selecionada para objeto de estudo.

O sistema utilizado é composto por um sensor de temperatura que precisa ser monitorado; este sensor tem como objetivo detectar as variações sucedidas. Os dados do sensor devem ser coletados e enviados a um computador através da rede elétrica, por meio da tecnologia PLC.

O meio usado para transmitir esses dados como já observado, será a rede de energia elétrica. Este sistema por meio de um protótipo permite monitorar a temperatura. Para tanto é utilizado um resistor de potência que fornece as variações, acoplado ao sensor que detecta as alterações existentes. Os dados do sensor são

coletados através da placa de aquisição de dados e enviados a um computador utilizando como meio de transmissão a rede elétrica através da tecnologia PLC. Este receberá os dados e processará as informações conforme a necessidade, por intermédio de um software de supervisão/gerenciamento contido no micro servidor web. O modelo do experimento descrito pode ser observado na figura 15.

Figura 15 - Modelo Experimento



Fonte: O autor.

### 3.3 MONTAGEM EXPERIMENTAL

Sendo assim, o sistema foi idealizado com a seguinte estrutura:

- Elementos Sensores
- Placa aquisição de dados
- Circuito eletrônico de Interface
- Transmissão e Recepção (via rede elétrica, por meio da tecnologia PLC)
- Software de supervisão/gerenciamento

#### 3.3.1 Elementos Sensores

Neste sistema de aquisição de dados, utilizou-se o sensor de temperatura, Termistor NTC Sensor – Sensor Disc 3mm – Série MF52A2/ G1L T3D. Conforme já mencionado, termistores são resistores semicondutores sensíveis à temperatura,

isto é, são semicondutores eletrônicos cuja resistência elétrica varia com a mudança de temperatura.

Segundo dados do fabricante, o componente apresenta em sua saída resistência ôhmica que varia de 1K a 150K Ohms. Compreende uma faixa de -35 a 125°C. Os sensores são utilizados de modo a evitar temperaturas acima do permitido para o correto funcionamento, evitando um colapso no sistema a ser monitorado. Conforme pode ser visto na figura 16.

Figura 16 - Sensor NTC



Fonte: DVA Tecnologia, 2011

Características:

- Termistor NTC Disco 3mm
- Resistência Ohmica: 1K a150K Ohms
- Tolerâncias: 3 / 5 / 10%
- Potência: 250mW
- Dissipação: 3.0mW / °C
- Temperatura de Operação: -30 a 125°C

### 3.3.2 Placa de Aquisição de Dados

A placa de aquisição de dados utilizada no projeto foi a PIC-WEB fabricada pela Olimex. Esta é uma placa compacta, com 65x60 mm de tamanho, sendo apoiado por Microchip de fonte aberta TCP-IP AN833. A placa é projetada com 64 pinos de alta performance, 1 Mbit microcontrolador Flash com Ethernet, microcontrolador PIC18F67J60 e suporta: SLIP, ARP, IP, ICMP, TCP, UDP, HTTP, DHCP, FTP.

A mesma suporta páginas Web que lhe dão a possibilidade de controlar todos os recursos existentes, remotamente, via FTP, HTTP, UDP, TCP.

Recursos da placa

- Microcontrolador PIC18F67J60;
- 1Mbit em flash placa serial para armazenamento de páginas web;
- ICSP / conector CDI para programação e depuração com ICD2 PIC, PIC-POCKET ICD2 e PIC-ICD2-tiny;
- Botão Reset;
- Potenciômetro;
- Termistor de monitorização da temperatura;
- Driver RS232 e o conector;
- O servidor web completo e TCP-IP;
- Alimentação plug-in jack para 5 VDC;
- Regulador de tensão 3,3 V e os capacitores de filtragem;
- LED de status.

Figura 17 - Placa de aquisição de dados



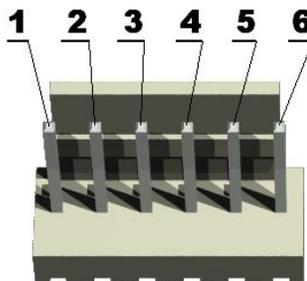
Fonte: Olimex, 2011

### 3.3.2.1 Programação da PIC-WEB

A programação e gravação da placa PIC - WEB podem ser realizadas usando o método de alta tensão In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™), ou o método

ICSP baixa tensão. Para efeitos do projeto foi utilizado a programação via conector ICSP, por meio de um gravador de microcontroladores. Na figura 18 temos o conector, assim como logo abaixo a sequência de pinos.

Figura 18 - Conector ICSP



Fonte: Olimex, 2011

Como dito anteriormente, segue tabela 2, com a pinagem do conector ICSP.

Tabela 1 - Pinagem Conector ICSP

<b>PINO</b>	<b>NOME</b>
1	RST
2	+5V
3	GND
4	PGD
5	PGC
6	PGM – NC

Fonte: Olimex, 2011

Ao optar pela gravação via conector ICSP, foi necessária a aquisição de um gravador, que neste caso foi adquirido o gravador PIC ACE USB, do fabricante acepic. O Gravador / Depurador ACE USB é compatível com alguns programas da microchip, neste caso sendo utilizado o software PICKIT2, também pode ser utilizado para programação e depuração em conjunto com o MPLAB.

Com ele foi possível fazer a programação do dispositivo no modo ICSP (In Circuit Serial Programming), permitindo a programação do microcontrolador PIC18F67J60 reduzindo o tempo de desenvolvimento.

Especificações:

- Conexão a qualquer porta USB em notebooks e desktops;
- Não utiliza fonte de alimentação externa;
- Sinalização de gravação / depuração por LED's;
- Botão para programação automática;
- Funciona dentro do MPLAB e possui software próprio para gravação (PICKIT2).

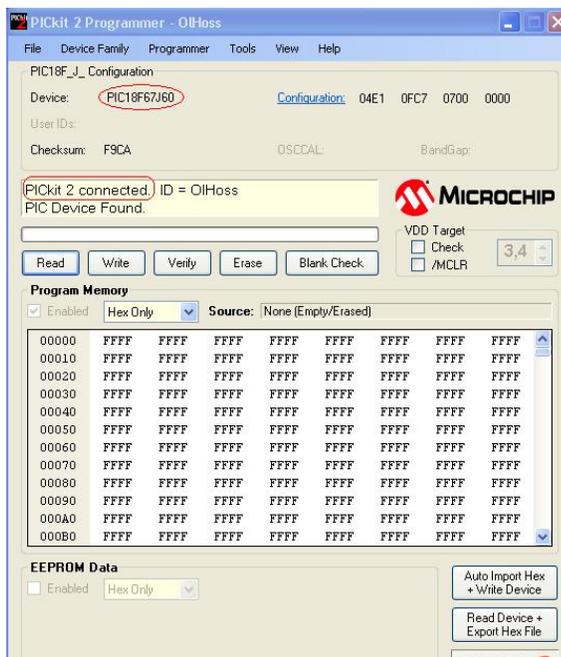
Figura 19 - Gravador PIC WEB



Fonte: <http://www.acepiccamp.com.br/menu-178-gravadores>

A memória flash do microcontrolador precisa ser gravada, ou seja, deve-se importar os programas que foram criados. Nesta etapa, é feita a ligação da placa de aquisição de dados (PIC WEB), com o gravador, por meio do conector ICSP, como mencionado anteriormente, assim como por sua vez, o gravador ligado ao notebook e/ou computador por meio de um cabo USB. Uma vez feita essa ligação corretamente, ao abrir o programa do gravador (Pickit2 programmer), ele apresentará uma tela como a da figura 20, onde pode ser visto que a conexão foi realizada, assim como mostra o modelo de microcontrolador que foi reconhecido, neste caso o PIC18F67J60, exemplar utilizado nos experimentos .

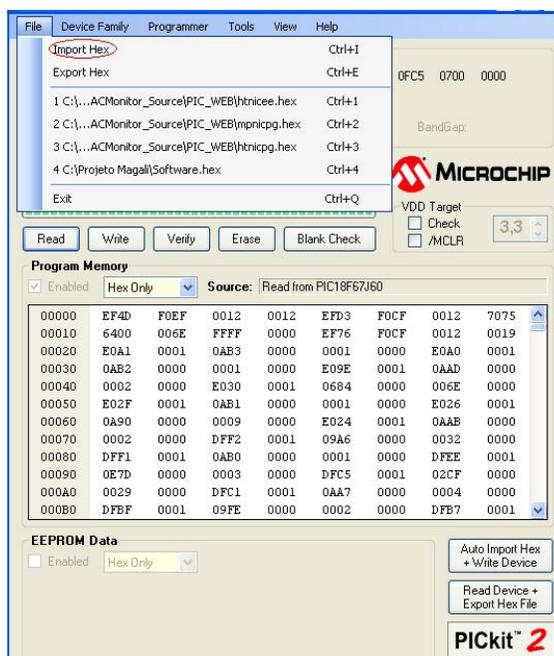
Figura 20 - Conexão com a placa de aquisição de dados



Fonte: O autor

Depois de efetivada as devidas conexões, precisam ser importados os programas. A figura 21 mostra o primeiro passo a ser seguido, que se trata da importação dos arquivos em hexadecimal.

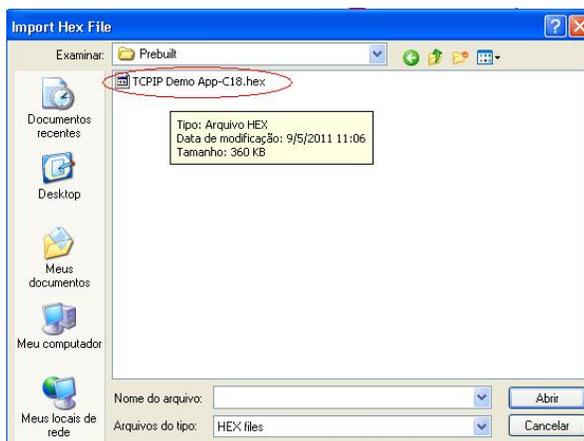
Figura 21 - Importando o programa para gravação – tela 1



Fonte: O autor

Nessa etapa, já se tem no computador e/ou notebook o programa arquivado, portanto este precisa apenas ser localizado, como mostra a figura 22.

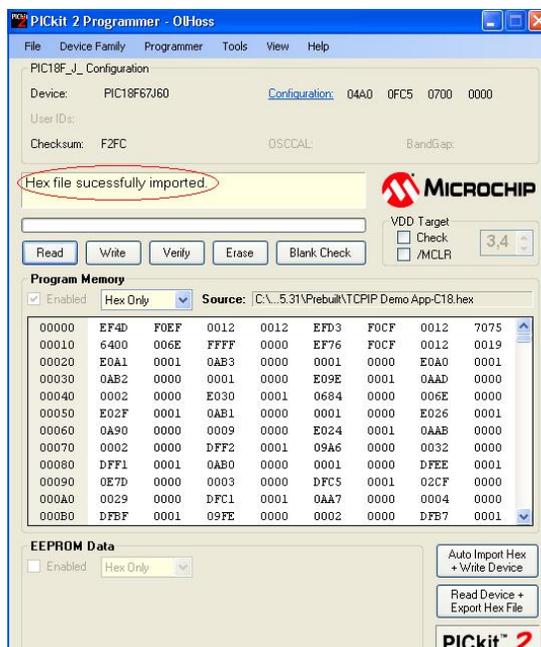
Figura 22 - Seleção do programa a ser gravado na memória do microcontrolador



Fonte: O autor

A tela seguinte representada pela figura 23 demonstra que a importação do arquivo selecionado foi realizada com sucesso. Podem ser observadas ainda nesta imagem, as linhas do programa em hexadecimal, que serão carregadas na memória do microcontrolador.

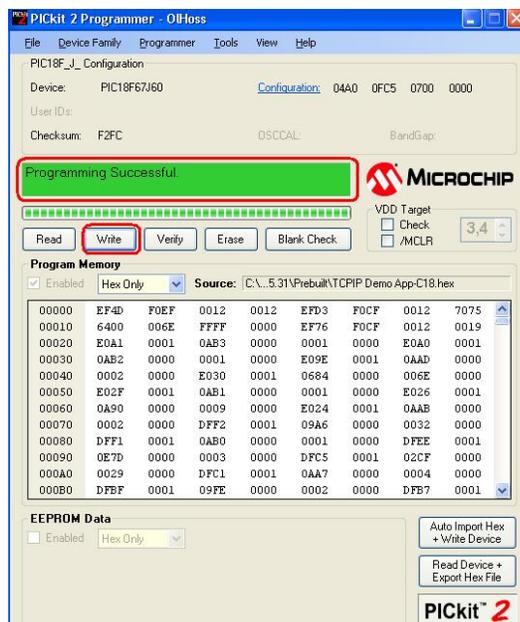
Figura 23 - Importação do programa



Fonte: O autor

Ainda na seqüência, foi realizada a gravação na memória do microcontrolador por intermédio do programa pickit2 programmer, onde foi utilizado o recurso “escrever”. Este realmente “escreve” na memória do microcontrolador que se encontra na placa de aquisição de dados. Como pode ser visto na figura 24, que traz a tela onde a programação foi executada com sucesso.

Figura 24 - Gravação concluída com sucesso



Fonte: O autor

### 3.3.2.2 Internet embarcada

A Internet embarcada nada mais é do que uma tecnologia que permite a conexão de sistemas embarcados à Internet, sobretudo microcontroladores. Geralmente, isso é feito através da implementação de pilhas de comunicação, neste caso TCP/IP, nos dispositivos embarcados. Para que um sistema embarcado possa conectar-se à Internet, o mesmo deve possuir a Pilha TCP/IP para sistemas embarcados. (SANTOS, 2009).

A pilha TCP/IP é utilizada para ser embarcada (gravada) na memória não-volátil (Flash) do microcontrolador, a fim de estabelecer a conexão lógica com uma máquina remota em um determinado segmento de rede. No caso em estudo foi utilizada a pilha microchip. Esta é uma biblioteca de código aberto, o que a torna possível de modificar e compilar a qualquer momento.

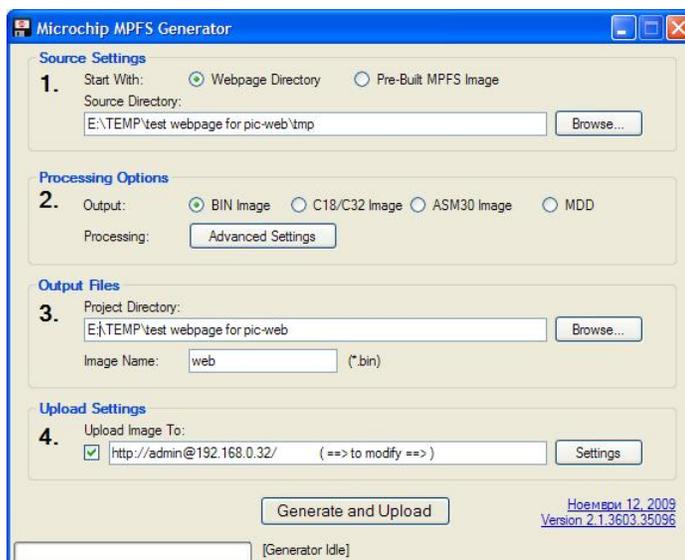
Os sistemas embarcados são empregados para resolver dificuldades de comunicação como: monitoração remota, aquisição de dados, controle remoto ou diagnóstico remoto. Como a tecnologia Ethernet vem sendo vastamente utilizada nas redes de computadores locais, no momento em que se tem um dispositivo embarcado conectado a uma rede Ethernet, é possível monitorá-lo ou controlá-lo com facilidade pela Internet.

A aplicação deste projeto, usa o servidor HTTP MPFS simplificado sistema de arquivos para armazenar as páginas do sistema embarcado. Para tanto, é necessário “converter” a página para o sistema de arquivos antes de enviá-los. Isso é feito usando um programa incluído no PIC-WEB software chamado MPFS2.exe.

Em princípio, foi criado um diretório no PC onde foram colocados os arquivos utilizados no upload para o servidor web. Um arquivo "index.htm" é necessário, pois essa é a página padrão lida pelo servidor. O próximo passo foi iniciar o utilitário MPFS2.exe e configurar os campos necessários.

Na figura 25 pode-se observar a página principal do software MPFS2.exe.

Figura 25 - Carregando a página HTML

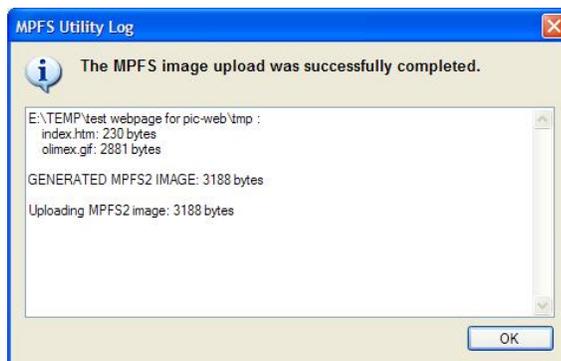


Fonte: O autor

O ítem 4, foi usado para carregar automaticamente a imagem para a bordo, após uma conversão bem-sucedida, como pode ser observado na figura 26. Foi

digitado o IP da placa e os demais campos em padrões. Gerou-se e foi realizado o upload.

Figura 26 – Carregamento da página com sucesso



Fonte: O autor

Como mencionado, a placa possui um micro-servidor web, no qual foi implementada a página HTML. A figura 27 apresenta a página inicial, onde pode ser visto a visão geral do projeto, assim como pode ser observado à esquerda da tela, as abas com cada função. No protótipo tem-se uma visão geral do projeto, um link com o Grupo de Desenvolvimento em Energias Renováveis, da UFRGS, um campo com dados do potenciômetro e uma aba para temperatura e set point.

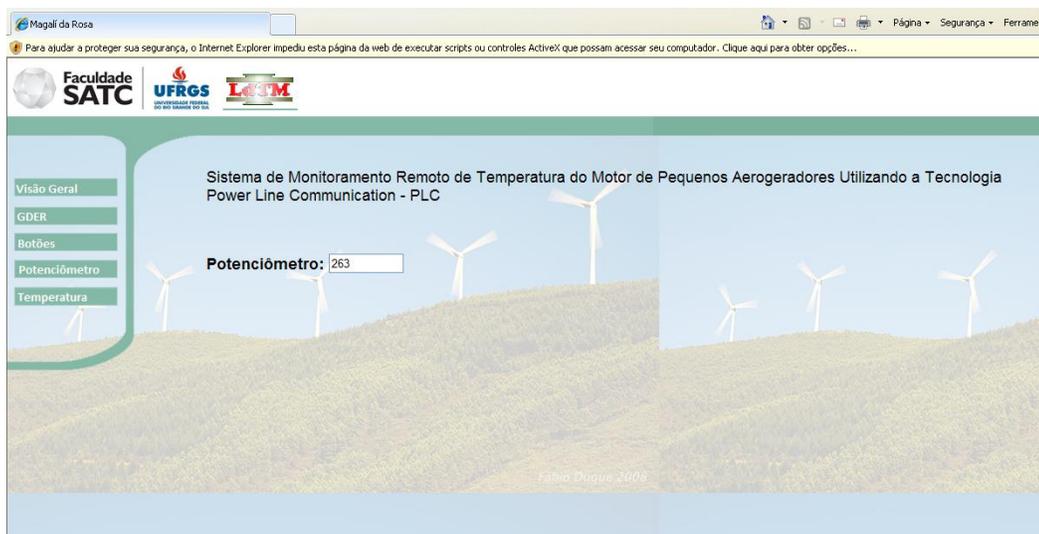
Figura 27 - Tela Principal da página em HTML



Fonte: O autor

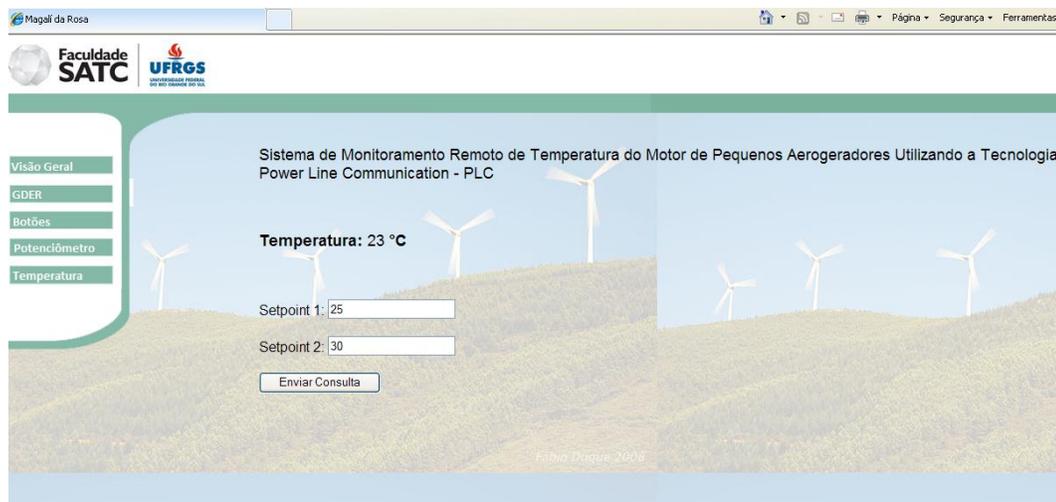
Na figura 28 pode ser visto os valores obtidos por um potenciômetro, que poderia ser utilizado para simulação de um sensor.

Figura 28 – Tela do potenciômetro na página HTML



Fonte: O autor

Figura 29 - Tela sensor de temperatura e set point



Fonte: O autor

Na última aba apresenta os dados obtidos pelo sensor de temperatura, como pode ser observado na figura 29. Através destas telas, o operador pode efetuar o desligamento e/ou ligar o equipamento, conforme os dados apresentados pelos sensores monitorados, evitando assim um colapso no sistema. Além de permitir a inclusão de uma faixa de temperatura que indica a anormalidade do processo; uma

vez que atingidos esses valores pré-estabelecidos, são realizados alguns comandos por meio de rotinas no programa, que podem levar ao desligamento do equipamento, se o mesmo estiver correndo risco de ser comprometido. Um exemplo, disso, ocorre quando o sensor detecta uma temperatura acima do limite superior do set point, o protótipo que simula um aerogerador é desligado.

### 3.3.3 Circuito Eletrônico de Interface

Para realizar a “comunicação” entre os sensores e os equipamentos, foi necessária a criação de uma placa de interface eletrônica, baseada em relés, que permitissem o acionamento dos LEDS, assim como do mini aerogerador e dos postes que compõem a rede elétrica, todos estes itens, utilizados para simular uma geração de energia por um aerogerador. Conforme figuras 30, 31, 32 e 33.

Figura 300 - Parte elétrica/eletrônica do protótipo



Fonte: O autor

Figura 31 - Protótipo simulação aerogerador



Fonte: O autor

A partir da criação inclusão da interface eletrônica, permitiu-se o acesso do sistema aos “equipamentos”. Deste modo foi estabelecida a opção de inclusão de set point, que pode ser especificado por meio da página HTML. De posse desses 2 intervalos de temperatura setados no software, os dados são enviados ao microcontrolador situado na placa PIC - WEB, que dá início ao processo de simulação. O mesmo trabalha da seguinte forma: O set point é determinado, um led verde é acionado, indicando o estado de normalidade do sistema, assim como o aerogerador é ligado e uma rede elétrica também, que representa uma rede “alimentada” pelo mesmo. Também no início do processo, o sensor de temperatura está próximo a um resistor de potência, que quando acionado passa a aquecer, indicando o aumento de temperatura, que pode ser visualizado na página HTML. Ao atingir a primeira temperatura instituída pelo set point, o led verde é apagado, um led amarelo é ligado indicando um estado de alerta, ou seja, a temperatura está dentro de uma faixa de atenção; assim como o resistor de potência continuará aquecendo até atingir a segunda temperatura estabelecida. Desta vez, o led amarelo se apaga, e dá vez a um led vermelho, que indica que o sistema corre perigo. Uma ventilação é acionada por meio de um *cooler*, para resfriar o resistor de potência, que automaticamente tem sua temperatura reduzida, o led vermelho é apagado, e retorna o amarelo, indicando novamente um alerta. O mini aerogerador e sua rede elétrica também são desligados. O sistema de ventilação irá trabalhar até voltar à

temperatura inicial do set point, que uma vez atingida, desliga todo o sistema. Por meio deste último comando, permite-se estabelecer um novo set point, e um novo processo se inicia.

Através do fluxograma abaixo, pode-se acompanhar a seqüência adotada na implementação do protótipo.



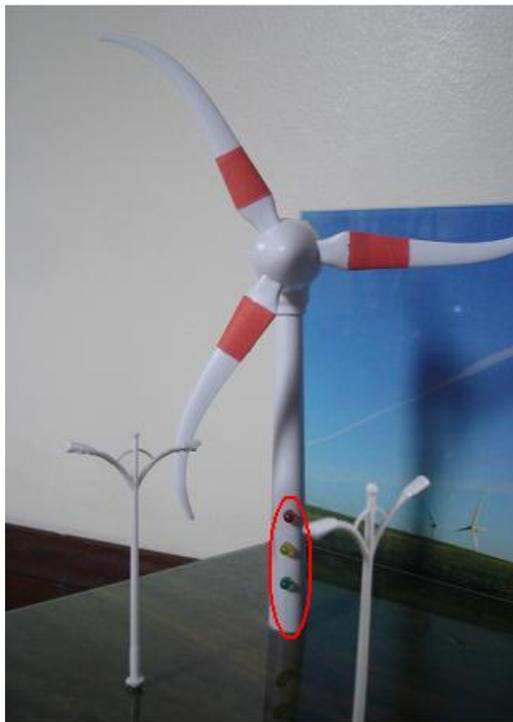
Fonte: O autor

Figura 32 - Protótipo simulação aerogerador em funcionamento



Fonte: O autor

Figura 33 - Leds de sinalização de status do sistema



Fonte: O autor

### 3.3.4 Equipamentos PLC

Figura 31 - Equipamentos PLC



Fonte: O autor

O par de equipamentos PLC utilizado nos testes é da marca Solimax Tecnologia, e serve como minitransmissor de dados via rede elétrica. Segundo

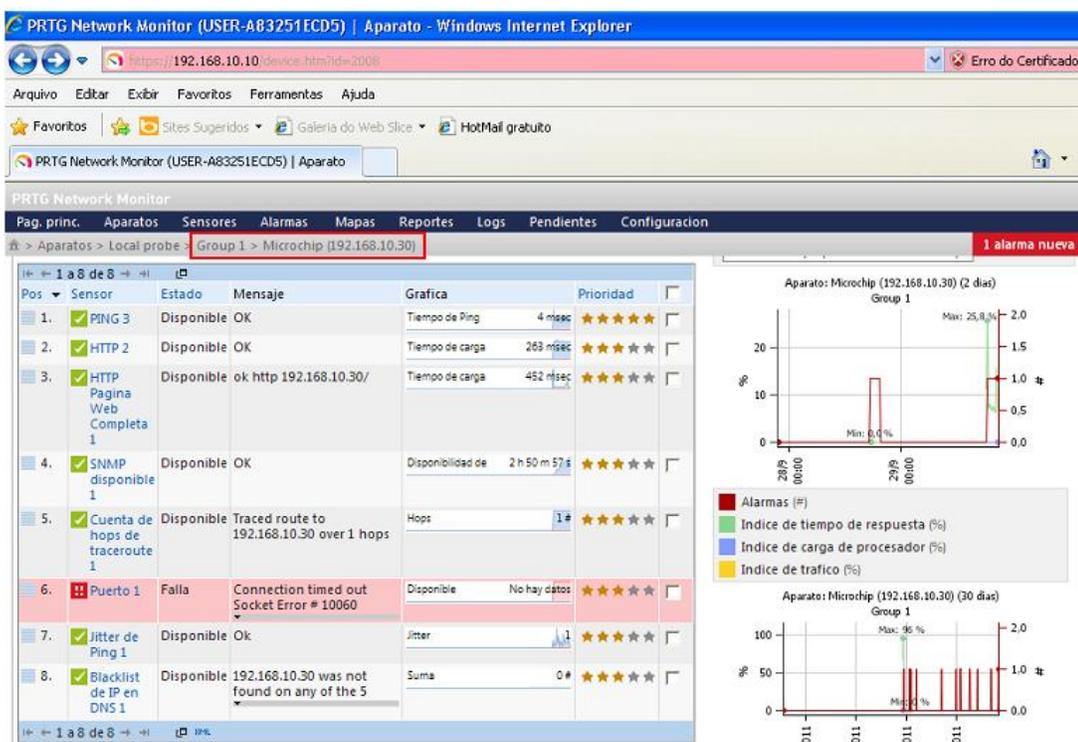
dados do fabricante, este equipamento tem uma margem de alcance de até 300 metros de distância pela rede elétrica existente (indoor).

Ainda segundo dados do fabricante, o mesmo tem como característica técnica uma taxa de transferência constante de até 85Mbps, e pode ser usado em redes 110 ou 220Volts.

### 3.3.5 Software para Análise de Redes

A avaliação do desempenho da tecnologia PLC foi realizada por meio de parâmetros de redes “setados” no software em uso: PRGT Network Monitor. O mesmo é instalado no notebook, que por sua vez está conectado à placa de aquisição de dados por meio da rede elétrica. O software detecta automaticamente todo e qualquer equipamento ligado a rede e o identifica. No caso do teste a placa de aquisição é identificada como Microchip, conforme pode ser visto na figura 35.

Figura 32 - Equipamento Microchip



Fonte: O autor

A partir do momento em que se detecta um equipamento, o software permite que se incluam parâmetros relacionados ao equipamento escolhido. No caso em questão, foram adicionados 5 parâmetros, sendo estes: Ping, HTTP, HTTP de página completa, SNMP disponível e Jitter de Ping. Como pode ser observado também na figura 35.

O software permite observar os gráficos por período de todos os parâmetros, de modo que possam ser realizadas tabelas comparativas entre os dois cenários. A seguir segue a descrição dos cenários utilizados para realização dos testes de rede.

Optou-se pela realização dos testes em ambientes distintos que pudessem representar as diversas situações que normalmente são encontradas no dia a dia; caracterizando então um ambiente industrial, onde se aplicam a maioria das aplicações de monitoramento, assim como um ambiente administrativo e/ou residencial, que contempla demais ambientes que não os industriais.

### 3.4 CENÁRIOS SISTEMAS PLC EM REDES *INDOOR*

Na seqüência serão apresentados os cenários nos quais foram realizados os testes.

Para tanto foram empregados equipamentos PLC de última geração operando com modulação OFDM, representando assim, o estado da arte em termos de soluções PLC.

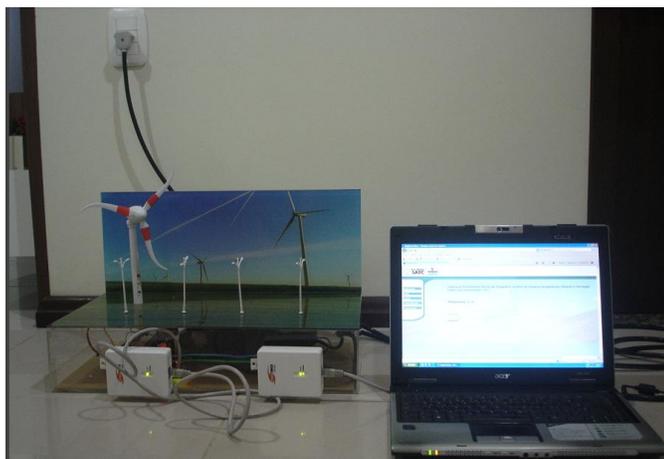
Como metodologia para os testes foi realizado o monitoramento por meio do software PRTG Network Monitor e o registro do desempenho do sistema PLC operando em 2 cenários reais com distintas topologias elétricas e perfis de carga bastante heterogêneos. A avaliação deste desempenho foi realizada por meio de parâmetros de redes, como Ping, HTTP, HTTP página web completa, SNMP disponível, em cada um dos cenários dispostos a seguir:

- Cenário Residencial;
- Cenário Industrial.

### 3.4.1 Cenário Residencial

Como modelo de um cenário residencial observado na figura 36, utilizamos uma casa baixa, com o padrão de instalação elétrica aplicada no Brasil. A instalação é alimentada a partir da rede secundária de distribuição da concessionária local, cuja tensão padrão de fornecimento para este nível é de 220V (Fase/Neutro) e 380V (Fase/Fase).

Figura 33 - Testes Residência



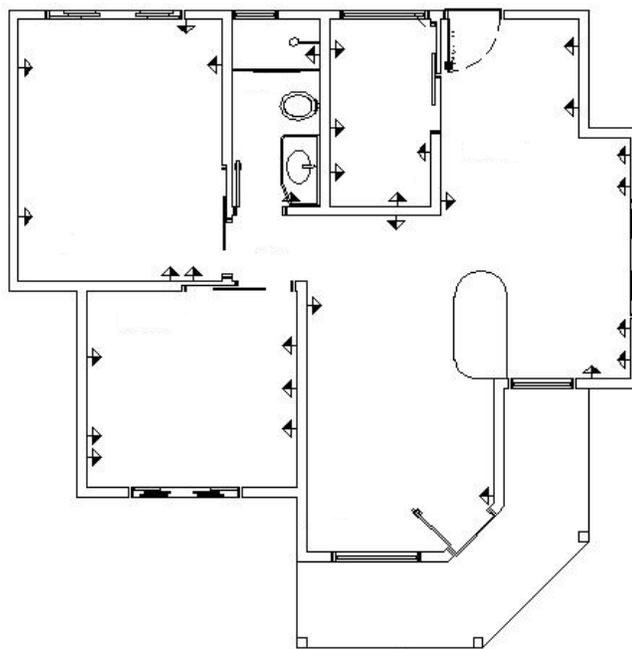
Fonte: O autor

#### 3.4.1.1 Características gerais

Na Figura 37 mostramos a planta baixa da residência escolhida como modelo representativo para o cenário residencial. A área total da instalação é de aproximadamente 74m<sup>2</sup>, dividida em cômodos diversos: quartos, sala, banheiro, cozinha e área de serviço.

Os aspectos das cargas acopladas aos circuitos internos da instalação também adotam o padrão usualmente encontrado em residências deste tipo no Brasil: equipamentos eletrônicos, eletrodomésticos variados, máquina de lavar roupas, geladeira, microcomputadores, condicionador de ar, torneira elétrica, chuveiro elétrico e lâmpadas (incandescentes e fluorescentes).

Figura 34 - Planta baixa da instalação residencial



Fonte: O autor

### 3.4.2 Cenário Industrial

Para representação do cenário industrial, foram utilizadas as instalações de um laboratório no campus da Faculdade SATC, aonde são realizadas as aulas de usinagem, uma vez que a sala é composta por um equipamento de torno CNC com potência no motor de 1500W, um Centro de Usinagem – Fresadora também com potência no motor de 1500W e um Robô, onde os equipamentos PLC foram instalados, compondo a rede PLC *In-Home*. As máquinas existentes no ambiente industrial podem ser vistas nas figuras 38, 39 e 40.

Figura 35 - Torno CNC



Fonte: O autor

Figura 36 - Centro de Usinagem/Fresadora



Fonte: O autor

Figura 37 – Robô



Fonte: O autor

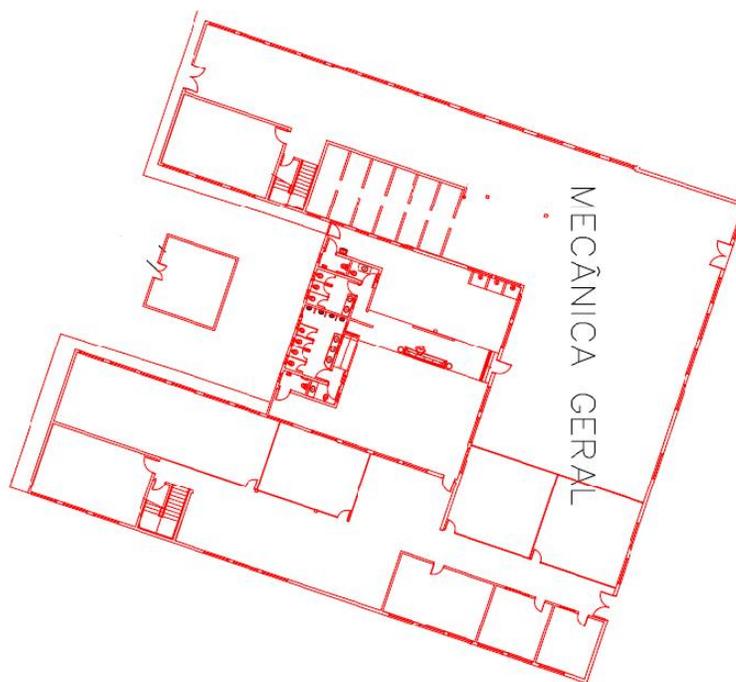
#### 3.4.2.1 Características gerais

Nos circuitos internos do laboratório de pesquisas utilizado como modelo do cenário industrial, foi encontrado cargas cujo perfil é bem mais homogêneo se comparado com as cargas vinculadas aos circuitos do cenário residencial.

Além dos equipamentos de uso específico mencionados anteriormente, a planta conta com microcomputadores de uso geral. A iluminação artificial é predominantemente obtida por meio de lâmpadas fluorescentes com reatores eletrônicos de baixa potência.

Na Figura 41 pode-se observar a planta baixa do cenário industrial, cuja área total da instalação é de aproximadamente 25m<sup>2</sup>.

Figura 38 - Instalação industrial



Fonte: O autor

### 3.5 ENSAIOS REALIZADOS NO CENÁRIO RESIDENCIAL

Nesta seção apresentamos a descrição dos testes realizados no cenário residencial referente à observação dos seguintes parâmetros:

- Ping;
- HTTP;
- HTTP página web completa;
- SNMP disponível;
- Jitter de ping.

O procedimento padrão adotado na execução dos testes no cenário 1 (residência) foi o seguinte:

#### a) Teste 1 – Rede PLC com carga

Os equipamentos PLC são ligados nas respectivas tomadas, existentes no protótipo. Os testes têm duração de 30 minutos, sendo que ao longo destes 30 minutos ficam ligados os eletrodomésticos que seguem: Televisor LCD 40' com



#### b) Teste 2 – Rede PLC sem carga

Nos próximos 30 minutos foi realizado o teste com a rede PLC, ou seja, ambos os equipamentos PLC permanecem na mesma distância, porém todos equipamentos são desligados e retirados das tomadas no cenário disposto. Representando uma rede elétrica sem cargas. Os demais procedimentos são mantidos, isto é, aos 15 minutos é acionado e desligado o led da placa pic web via página HTML (software) por 3 vezes; assim como passados 20 minutos, é realizado a captura dos dados do sensor de temperatura, em função do aquecimento e resfriamento deste, por meio de uma fonte de calor, procedimento este com duração também de 3 minutos. Completos os 30 minutos, encerra-se o teste como no caso anterior.

#### c) Teste 3 – Rede Local (LAN)

Nos 30 minutos seguintes, foi efetivado por sua vez o teste com a rede local, isto é, rede existente entre o PC e a placa PIC WEB, por meio de um cabo de rede. No teste realizado sem carga, assim como no teste anterior todos os equipamentos são desligados e retirados das tomadas no cenário disposto. Os procedimentos realizados são os mesmos que os anteriores.

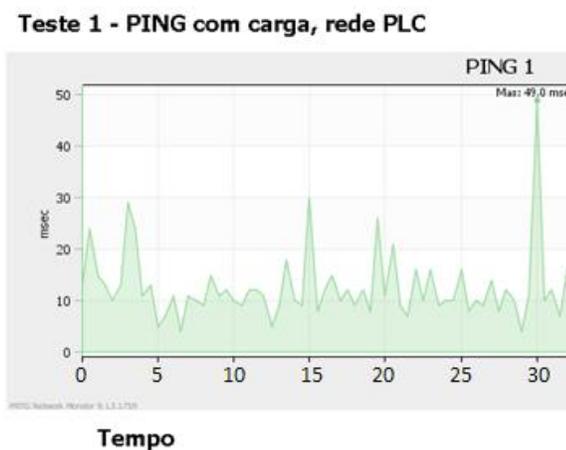
### 3.5.1 Ping

Ping é um utilitário que usa o protocolo ICMP<sup>1</sup> para monitorar a conectividade entre equipamentos. Seu funcionamento consiste no envio de pacotes para o equipamento de destino e na "escuta" das respostas. Se o equipamento de destino estiver ativo, uma "resposta" é devolvida ao computador solicitante. Ele também exibe o endereço IP do equipamento que respondeu, assim como o tempo que levou para transmiti-la de volta, sendo que a resposta deste teste é obtida em milissegundos. Semelhante a perda de pacote, quanto menor for o resultado obtido por este parâmetro, sub-entendesse que melhor é a rede. (SILVA, 2002)

Conforme pode ser observado nas figuras 43, 44 e 45 obteve-se também por meio do software, os gráficos por período estabelecido, indicando o comportamento

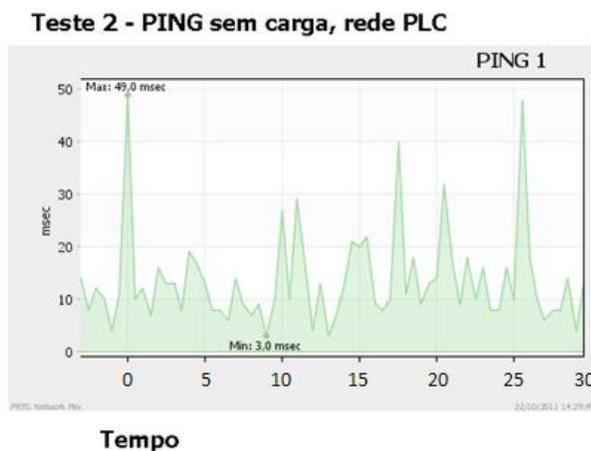
por parâmetros de cada um dos três testes realizados, ou seja, rede PLC com carga, rede PLC sem carga e rede LAN. O gráfico traz a variável em questão, neste ítem representando o parâmetro PING, no domínio do tempo (30 min) no eixo horizontal, e tempo de resposta do mesmo parâmetro, no eixo vertical.

Figura 40 - Parâmetro PING, rede PLC com carga



Fonte: O autor

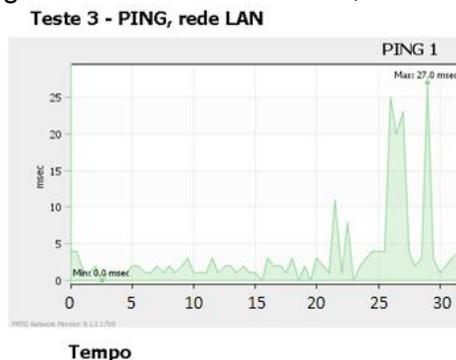
Figura 41 - Parâmetro PING, rede PLC sem carga



Fonte: O autor

OBS: Transmitido dados nos períodos entre 15 a 16 minutos, e entre 20 a 23 minutos em ambos os testes.

Figura 42 - Parâmetro PING, rede LAN



Fonte: O autor

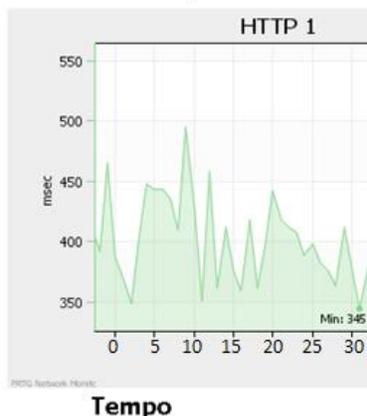
OBS: Transmitido dados nos períodos entre 15 a 16 minutos, e entre 20 a 23 minutos de teste.

### 3.5.2 HTTP

Monitora um servidor web usando o Protocolo de Transferência de Hipertexto – HTTP. Normalmente, este protocolo é usado para a comunicação de sítios web, comunicando na linguagem HTML.

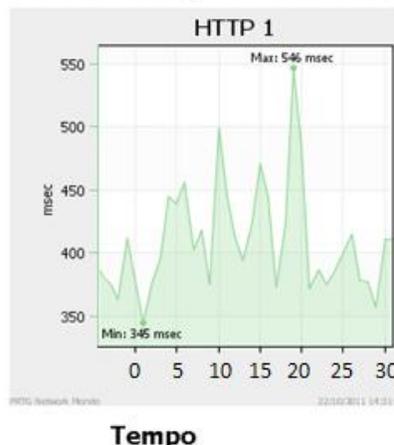
O protocolo HTTP utiliza o modelo cliente-servidor, como a maioria dos protocolos de rede, baseando-se no formato de requisição e resposta; sendo que a resposta deste parâmetro também é obtida em milissegundos (TANEMBAUM, 2003). Identificado no software como HTTP 2, podendo ser observado nas figuras 46, 47 e 48.

Figura 43 - Parâmetro HTTP, rede PLC com carga  
**Teste 1 - HTTP, rede PLC com carga**



Fonte: O autor

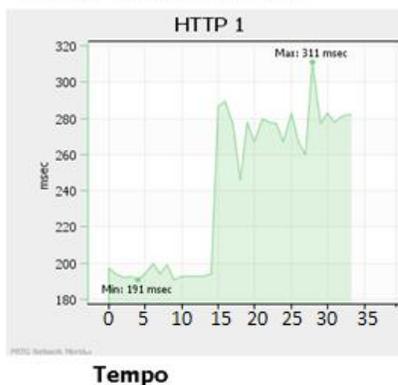
Figura 44 - Parâmetro HTTP, rede PLC sem carga

**Teste 2 - HTTP, rede PLC sem carga**

Fonte: O autor

OBS: Dados transmitidos nos períodos entre 15 a 16 minutos, e entre 20 a 23 minutos em ambos os testes.

Figura 45 - Parâmetro HTTP, rede LAN

**Teste 3 - HTTP, rede LAN**

Fonte: O autor

OBS: Dados transmitidos nos períodos de 15:15 às 15:16 e 15:20 às 15:23, ou seja, entre 15 a 16 minutos, e entre 20 a 23 minutos de teste.

## 3.5.3 HTTP página web completa

Este parâmetro funciona do mesmo modo que o anterior, porém a contagem de tempo é dada em função do carregamento total da página Web utilizada, ou seja,

monitora o tempo total de download de uma página web, incluindo imagens e etc. Tempo este dado em milisegundos. Conforme figuras 49, 50 e 51. (SILVA, 2002)

Figura 46 - HTTP página completa, PLC com carga

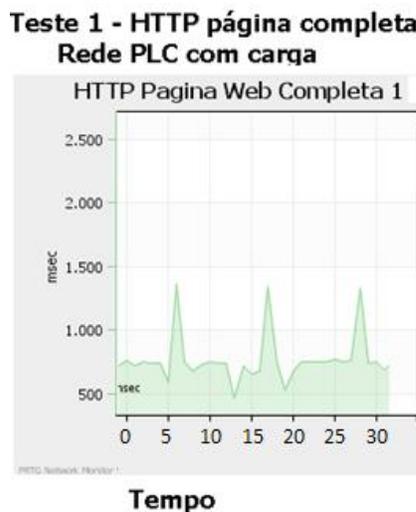
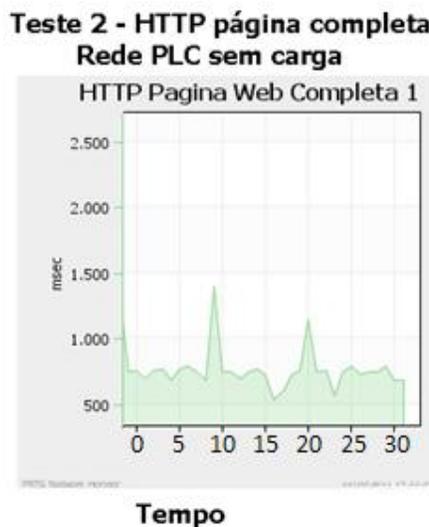
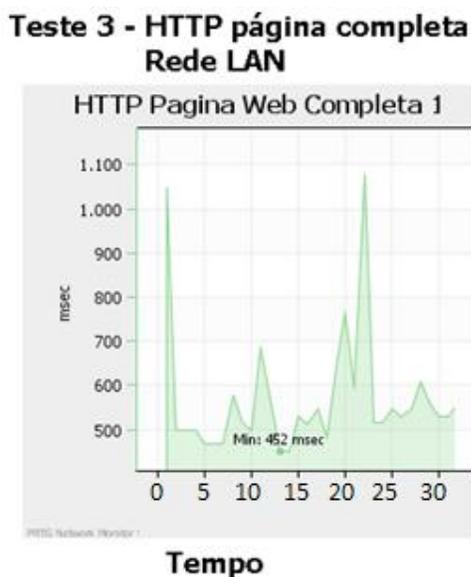


Figura 47 - HTTP página completa, PLC sem carga



OBS: Transmitido dados nos períodos entre 15 a 16 minutos, e entre 20 a 23 minutos em ambos os testes.

Figura 48 - Parâmetro HTTP página completa, rede LAN



Fonte: O autor

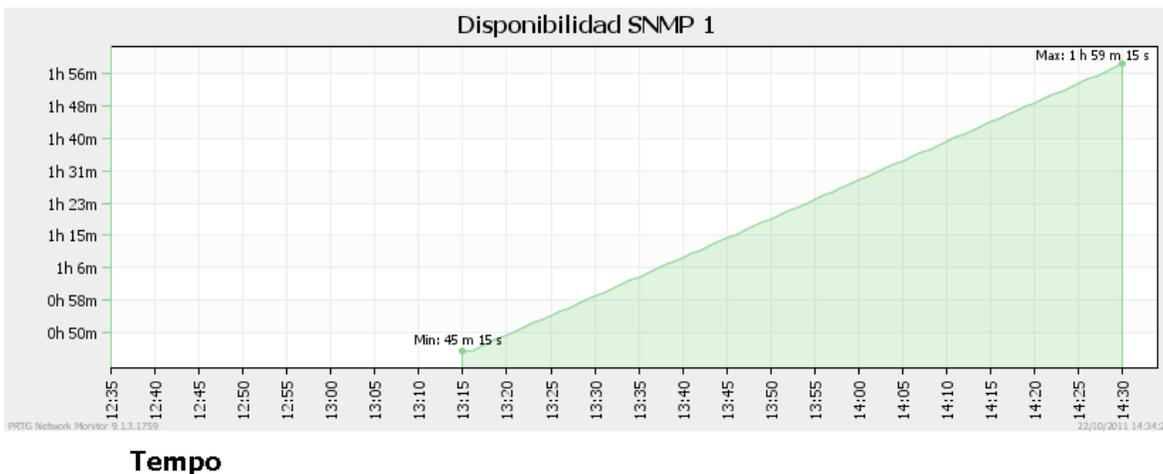
OBS: Dados transmitidos nos períodos entre 15 a 16 minutos, e entre 20 a 23 minutos de teste.

#### 3.5.4 SNMP disponível

O SNMP é o protocolo de gerenciamento de redes simples, utilizados por programas de gerenciamento de redes na camada de aplicação do modelo OSI. O SNMP possibilita aos administradores de rede gerenciar o desempenho das redes, encontrar e resolver seus eventuais problemas, e fornecer informações para o planejamento de sua expansão, dentre outras. (TANEMBAUM, 2003)

No software utilizado, o “sensor” SNMP disponível, indica que os equipamentos ligados à rede, no caso a placa de aquisição de dados identificada como Microchip, permaneceu disponível, isto é, sem apresentar “erros” durante todo o teste. Lembrando que o período referido é o dia 29 de outubro das 13:30 às 14:30, conforme figuras 52.

Figura 49 - Parâmetro SNMP, rede PLC com e sem carga

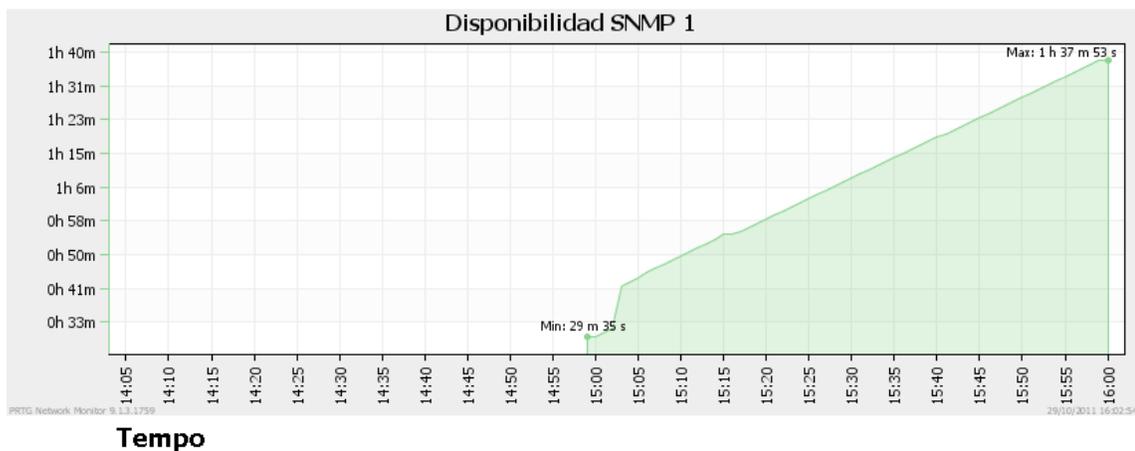
**Testes 1 e 2 - Disponibilidade SNMP, rede PLC com e sem carga**

Fonte: O autor

OBS: Período das 13:30 às 14:30, corresponde aos testes 1 e 2, respectivamente rede PLC com carga e rede PLC sem carga.

Conforme figura 53, o parâmetro SNMP, foi mensurado por meio do teste 3 , que apresenta a disponibilidade da rede LAN, no período entre 15:00 e 16:00.

Figura 50 - Parâmetro SNMP, rede LAN

**Teste 3 - Disponibilidade SNMP, rede LAN**

Fonte: O autor

### 3.5.5 Jitter de Ping

Retorna o valor de jitter estatístico dos pings do dispositivo. O jitter é simplesmente a variação de diversos pings, ou seja, é a subtração do maior valor em relação ao menor valor. Ou ainda, a variação estatística do retardo na entrega de dados em uma rede. Os gráficos deste parâmetro podem ser observados nas figuras 54, 55 e 56. (SILVA, 2002)

Figura 51 - Parâmetro Jitter de Ping, PLC com carga

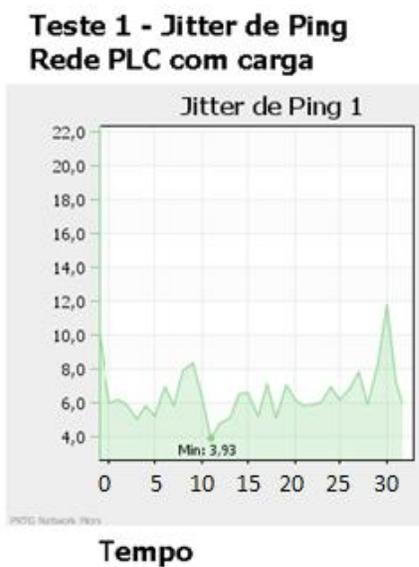
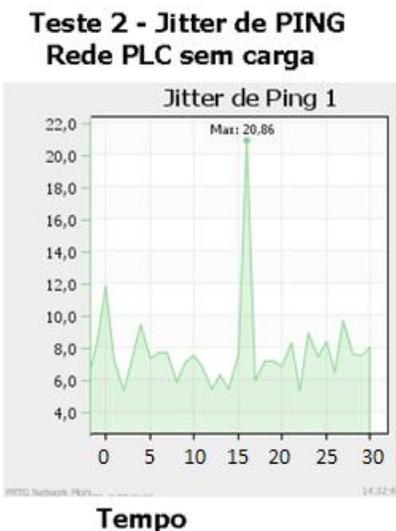


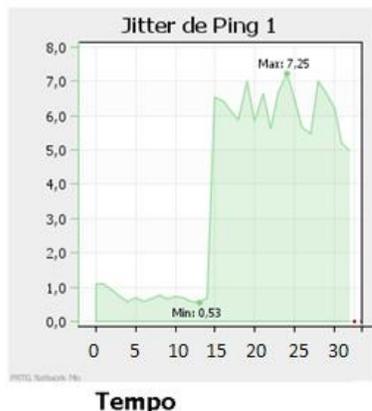
Figura 52 - Parâmetro Jitter de Ping, PLC sem carga



OBS: Transmissão de dados nos períodos entre 15 a 16 minutos, e entre 20 a 23 minutos em ambos os testes.

Figura 53 - Parâmetro Jitter de ping, rede LAN

Teste 3 - Jitter de PING, rede LAN



Fonte: O autor

OBS: Dados transmitidos nos períodos entre 15 a 16 minutos, e entre 20 a 23 minutos de teste.

### 3.6 ANÁLISES DOS RESULTADOS DO CENÁRIO RESIDENCIAL

Nesta etapa apresentam-se os resultados dos experimentos realizados, com o intuito de averiguar o desempenho de um sistema PLC operando em redes elétricas *In-Home*. Serão dispostos abaixo os resultados de cada parâmetro, em função dos três testes realizados no cenário residencial. Traçando um comparativo entre as tecnologias utilizadas.

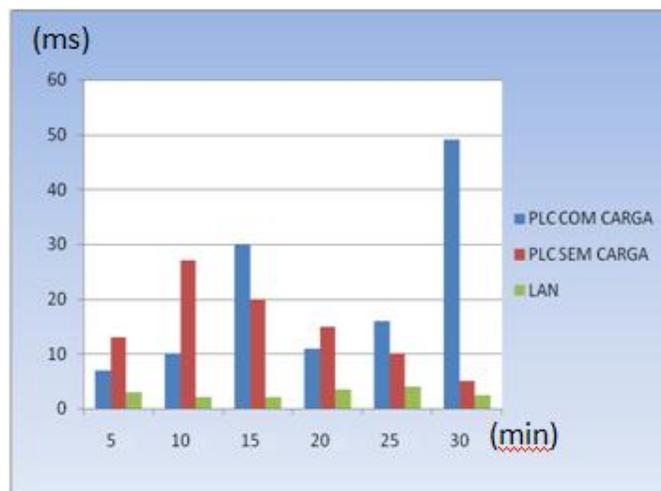
#### 3.6.1 PING

Tabela 2 - Resultados parâmetro PING

PARÂMETRO (ms)		PERÍODO					
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
PING	PLC COM CARGA	7	10	30	11	16	49
	PLC SEM CARGA	13	27	20	15	10	5
	LAN	3	2	2	3,5	4	2,5

Fonte: O autor

Gráfico 1 - Resultado do ensaio: parâmetro PING



Fonte: O autor

Conforme pode ser observado nos gráficos, o tempo de resposta obtido nos 3 testes, envolvendo as 3 tecnologias no cenário residencial, apontou a rede LAN como tendo a melhor performance, isto é, apresentando o menor tempo; porém a diferença não torna-se significativa se comparada às demais tecnologias em questão, uma vez que constatou-se a eficácia de todas as tecnologias por meio do protótipo. Portanto o tempo de resposta da tecnologia PLC nesta condição foi considerado satisfatório, e não comprometeu em momento algum a transmissão dos dados. Destaca-se aqui os últimos 5 minutos do teste, em que se trata do período de transição entre a rede PLC com carga e sem carga. Ao desligar as cargas, os equipamentos geram harmônicas que “poluem” a rede elétrica, causando um aumento no tempo de resposta, como pôde ser notado no gráfico 1.

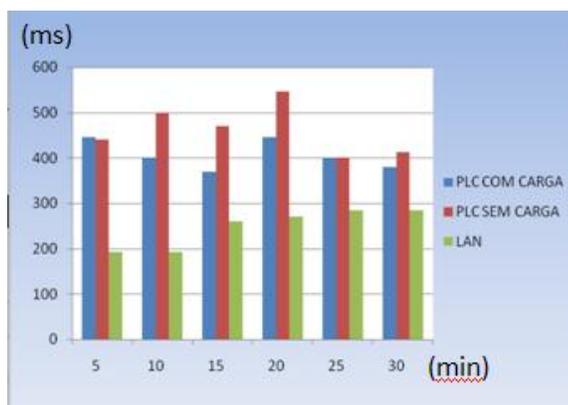
### 3.6.2 HTTP

Tabela 3 - Resultados parâmetro HTTP

PARÂMETRO (ms)		PERÍODO					
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
HTTP	PLC COM CARGA	445	400	370	445	398	380
	PLC SEM CARGA	440	500	470	546	400	412
	LAN	193	193	260	270	285	285

Fonte: O autor

Gráfico 2 - Resultado do ensaio: parâmetro HTTP



Fonte: O autor

No caso do parâmetro HTTP, como mencionado ele está vinculado ao protocolo de transferência de Hipertexto, o que condiciona as alterações realizadas na página HTML ao longo do teste. Pode-se observar no gráfico 2, em que o aumento no tempo de resposta ocorreu aos 20 min de teste, onde foram realizadas capturas de temperatura por 3 min, e estas alterações são captadas pelo sensor de temperatura e enviadas à página HTML, sendo alteradas em tempo real. Como o HTTP trata de transferências, conseqüentemente trata-se do período em que mais houve alterações na página. Porém se observada a relação entre as três tecnologias comparadas, a rede LAN apresenta melhores performances. Porém a diferença entre elas embora às vezes significativa, não apresentou problemas nas respostas dos comandos, nem na inserção de dados na página. Neste parâmetro em geral a tecnologia PLC aplicada à redes sem carga, foi a que obteve resultados menos satisfatórios.

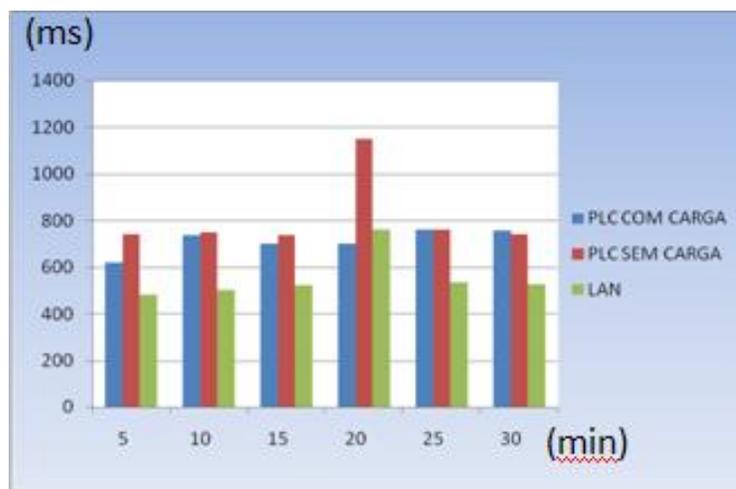
### 3.6.3 HTTP página completa

Tabela 4 - Resultados Parâmetro HTTP página completa

PARÂMETRO (ms)		PERÍODO					
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
HTTP página completa	PLC COM CARGA	620	735	700	700	760	755
	PLC SEM CARGA	740	750	735	1150	760	740
	LAN	480	500	520	760	535	525

Fonte: O autor

Gráfico 3 - Resultado do ensaio: parâmetro HTTP página completa



Fonte: O autor

O parâmetro HTTP de página completa, assim como o parâmetro anterior, está relacionado à Transferência de Hipertexto, vinculado as alterações que ocorrem na página HTML, só que neste caso, em toda a página. Porém como a página utilizada no teste, sofre apenas alterações nos campos da temperatura, e este campo apresentou alterações ao longo dos 20 minutos de teste, conseqüentemente os resultados deste parâmetro confirmam os resultados do parâmetro anterior.

Porém se observada a relação entre as três tecnologias comparadas assim como no parâmetro anterior, a rede LAN apresenta melhores performances, exceto aos 20 min, onde a rede PLC com carga apresentou um melhor resultado.

#### 3.6.4 SNMP disponível

Os gráficos deste parâmetro indicam a disponibilidade do mesmo, sendo que nos três testes realizados, o equipamento monitorado, permaneceu o tempo todo disponível, não apresentando erros; o que confirma que apesar de tempos e respostas diferentes apresentado por cada tecnologia, em nenhum momento o equipamento deixou de funcionar, cumprindo com a função de prover acesso “remoto”, permitindo o controle e acionamento do mesmo, sempre que necessário.

## 3.6.5 Jitter de Ping

Tabela 5 - Resultados Parâmetro Jitter de PING

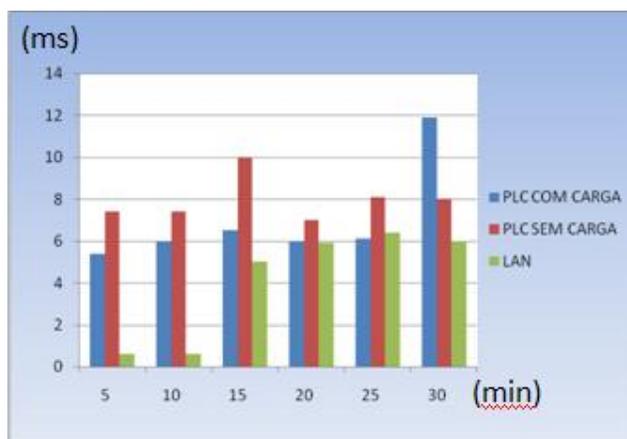
PARÂMETRO (ms)		PERÍODO					
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
Jitter de Ping	PLC COM CARGA	5,4	6	6,5	6	6,1	11,9
	PLC SEM CARGA	7,4	7,4	10	7	8,1	8
	LAN	0,6	0,6	5	5,9	6,4	6

Fonte: O autor

O jitter é a variação de diversos pings, ou seja, é a subtração do maior valor em relação ao menor valor. Portanto, esta variável é o reflexo do parâmetro PING, isto é, uma média, dos tempos de resposta das três tecnologias ao longo dos testes. A tabela 6 apresenta os resultados obtidos nos 3 testes em função do parâmetro jitter de ping.

Podem ser observados nos gráficos abaixo, que enquanto não foram realizados movimentações na rede, ou melhor, enquanto não haviam dados trafegando na rede, no caso dos 10 primeiros minutos de teste, todas as tecnologias obedecendo a uma proporcionalidade obtiveram tempos de respostas e comportamentos parecidos; tanto nesta etapa, quanto nas demais. Comprovando a eficácia da tecnologia em questão, uma vez que todas as “atribuições” foram cumpridas com sucesso.

Gráfico 4 - Resultado do ensaio: parâmetro Jitter de PING



Fonte: O autor

### 3.7 ENSAIOS REALIZADOS NO CENÁRIO INDUSTRIAL

Nesta seção apresentou-se, para o cenário industrial sob análise, a descrição dos testes realizados para observação dos seguintes parâmetros:

- Ping;
- HTTP;
- HTTP página web completa;
- Jitter de ping.

O procedimento padrão adotado na execução dos testes no cenário 2 (indústria) foi o seguinte:

#### a) Teste 4 – Rede PLC sem carga

Os equipamentos PLC permanecem ligados nas respectivas tomadas, dispostas na maquete de simulação conforme figura 30. Os testes têm duração de 30 minutos, sendo que ao longo destes 30 minutos permanecem plugados nas tomadas, mas desligados os equipamentos que seguem: Torno CNC, Centro de Usinagem – Fresadora e Robô. Após 15 minutos de testes, é inserido um set point na página HTML; simulando a alteração de temperatura e representando assim o envio e recepção de dados, pois neste momento todo processo de simulação será realizado. Conforme descrito passo a passo no item 3.3.3. Para uma melhor análise, decorridos 25 minutos de teste, é repetida a simulação. Após esta etapa, aguardam-se os 30 minutos para o encerramento do teste sem carga.

#### b) Teste 5 – Rede PLC com carga

Os equipamentos PLC são ligados nas respectivas tomadas, dispostas na maquete de simulação conforme figura 30. Os testes têm duração de 30 minutos, sendo que ao longo destes 30 minutos permanecem ligados os equipamentos que seguem: Torno CNC, Centro de Usinagem – Fresadora e Robô. Após 15 minutos de testes, é inserido um set point na página html; simulando a alteração de temperatura e representando assim o envio e recepção de dados, pois neste momento todo

processo de simulação será realizado. Conforme descrito passo a passo no ítem 3.3.3. Para uma melhor análise, decorridos 25 minutos de teste, é repetida a simulação. Após esta etapa, aguardam-se os 30 minutos para o encerramento do teste com carga.

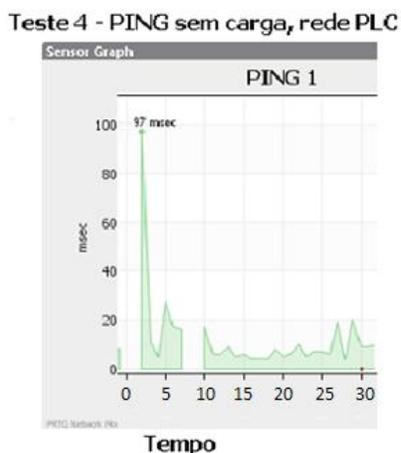
### c) Teste 6 – Rede LAN

Nos 30 minutos seguintes, foi realizado por sua vez o teste com a rede local, isto é, rede existente entre o PC e a placa PIC WEB, por meio de um cabo de rede. No teste realizado com carga. Os procedimentos realizados são os mesmos que os anteriores.

#### 3.7.1 Ping

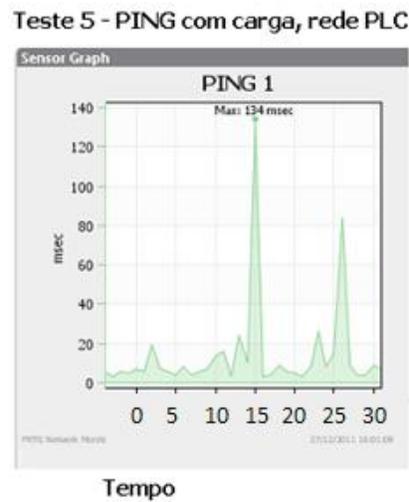
Conforme pode ser observado nas figuras 57,58 e 59 obteve-se por meio do software já mencionado no ítem 3.3.5, os gráficos por período estabelecido, indicando o comportamento por parâmetros de cada um dos três testes realizados, ou seja, rede PLC com carga, rede PLC sem carga e rede LAN, todos no cenário industrial. Os gráficos presentes nas figuras acima mencionadas, trazem a variável em questão, neste ítem representando o parâmetro PING, no domínio do tempo (30 min) no eixo horizontal, e tempo de resposta do mesmo parâmetro em milissegundos, no eixo vertical.

Figura 54- Parâmetro PING, rede PLC sem carga



Fonte: O autor

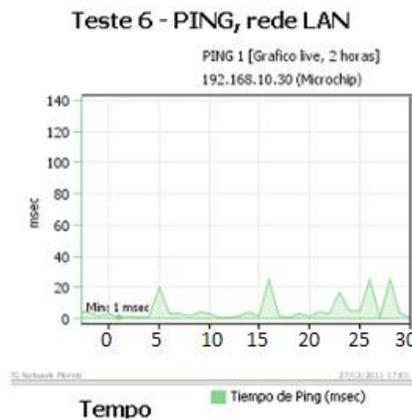
Figura 55 - Parâmetro PING, rede PLC com carga



Fonte: O autor

OBS: Transmitidos dados nos períodos entre 15 a 16 minutos, e entre 25 a 26 minutos em ambos os testes.

Figura 56 - Parâmetro PING, rede LAN



Fonte: O autor

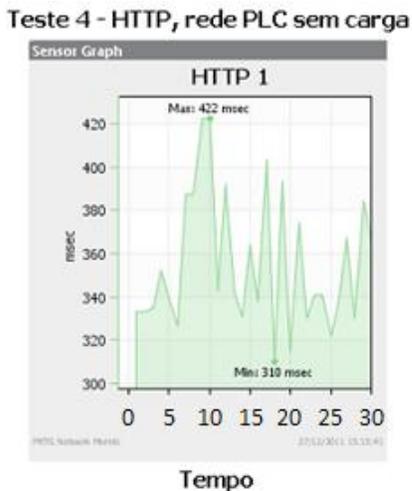
OBS: Dados transmitidos nos períodos entre 15 a 16 minutos, e entre 25 a 26 minutos de teste.

### 3.7.2 HTTP

Do mesmo modo que o item anterior, e os próximos itens 3.7.3 e 3.7.4; as figuras 60, 61 e 62 demonstram o comportamento do parâmetro HTTP, HTTP página

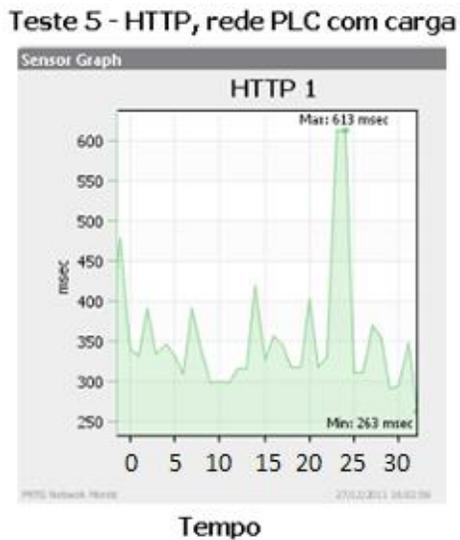
completa e Jitter de PING, respectivamente, nos 3 testes realizados no cenário industrial.

Figura 57 - Parâmetro HTTP, rede PLC sem carga



Fonte: O autor

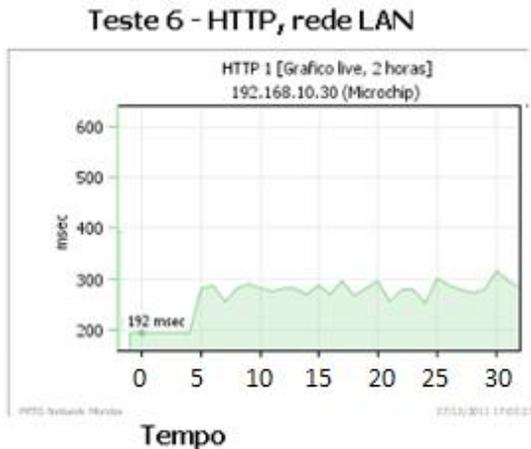
Figura 58 - Parâmetro HTTP, rede PLC com carga



Fonte: O autor

OBS: Dados transmitidos nos períodos entre 15 a 16 minutos, e entre 25 a 26 minutos em ambos os testes.

Figura 59 - Parâmetro HTTP, rede LAN



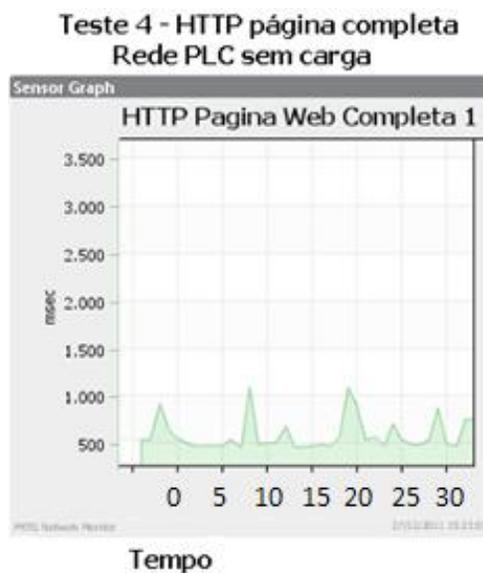
Fonte: O autor

OBS: Dados transmitidos nos períodos entre 15 a 16 minutos, e entre 25 a 26 minutos de teste.

### 3.7.3 HTTP página web completa

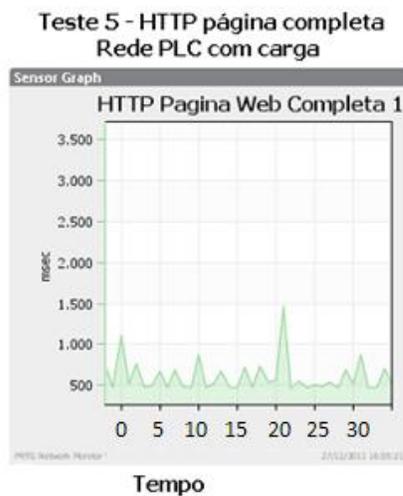
As figuras 63, 64 e 65 representam os gráficos da variável HTTP de página completa.

Figura 60 - HTTP página completa, PLC sem carga



Fonte: O autor

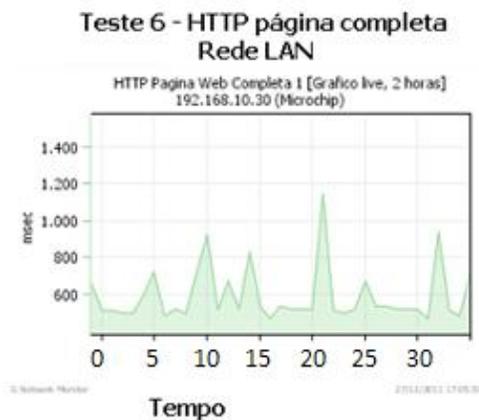
Figura 61 - HTTP página completa, PLC com carga



Fonte: O autor

OBS: Dados transmitidos nos períodos entre 15 a 16 minutos, e entre 25 a 26 minutos em ambos os testes.

Figura 62 - Parâmetro HTTP página completa, rede LAN



Fonte: O autor

OBS: Dados transmitidos nos períodos entre 15 a 16 minutos, e entre 25 a 26 minutos de teste.

### 3.7.4 Jitter de Ping

As figuras 66, 67 e 68 representam os gráficos da variável jitter de ping.

Figura 63 - Jitter de PING, Rede PLC sem carga

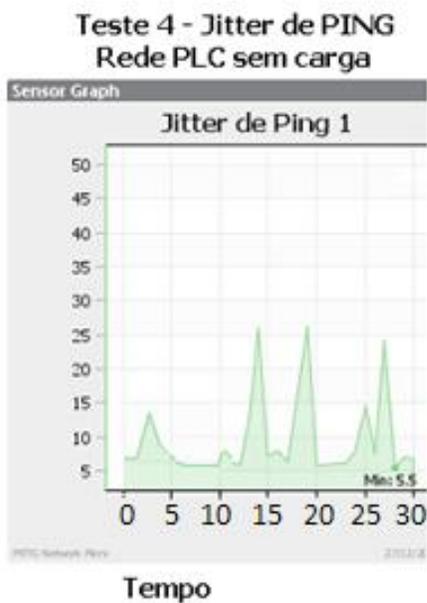
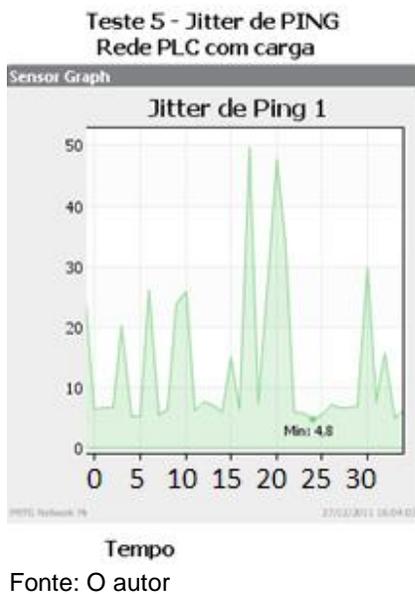


Figura 64 - Jitter de PING, Rede PLC com carga



OBS: Dados transmitidos nos períodos entre 15 a 16 minutos, e entre 25 a 26 minutos em ambos os testes.

Figura 65 - Parâmetro Jitter de PING, rede LAN



Fonte: O autor

OBS: Dados transmitidos nos períodos entre 15 a 16 minutos, e entre 25 a 26 minutos de teste.

### 3.8 ANÁLISES DOS RESULTADOS DO CENÁRIO INDUSTRIAL

Esta etapa apresenta os resultados de experimentos realizados, com o intuito de averiguar o desempenho de um sistema PLC operando em redes elétricas *In-Home*. Serão dispostos abaixo os resultados de cada parâmetro, em função dos três testes realizados no cenário industrial. Traçando um comparativo entre as tecnologias utilizadas.

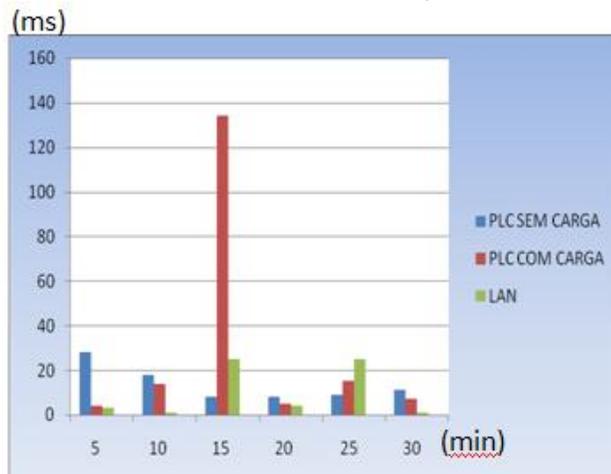
#### 3.8.1 PING

Tabela 6 - Resultados Parâmetro PING

PARÂMETRO (ms)		PERÍODO					
		5 min	10 min	15min	20 min	25 min	30 min
<b>PING</b>	PLC SEM CARGA	8	6	8	6	7	9
	PLC COM CARGA	4	14	134	5	15	7
	LAN	3	1	25	4	25	1

Fonte: O autor

Gráfico 5 - Resultado do ensaio: parâmetro PING



Fonte: O autor

Conforme pode ser observado no gráfico 5, assim como na tabela 7, o tempo de resposta obtido nos 3 testes, envolvendo as 3 tecnologias no cenário industrial, apresentou um resultado inesperado, se comparado ao cenário residencial. Onde no universo de 6 amostras de tempo subdivididas no teste, 4 confirmaram a rede LAN como tendo a melhor performance, isto é, apresentando o menor tempo; enquanto que em outras 2 amostras, a tecnologia PLC sem carga obteve um resultado positivo, superando as demais tecnologias. Lembrando ainda que as amostras a que se refere o bom resultado do PLC, são nos momentos de transmissão de dados, confirmando nesta condição, uma superioridade nas situações em que se deseja enviar dados e acionamentos remotamente em cenários de industriais.

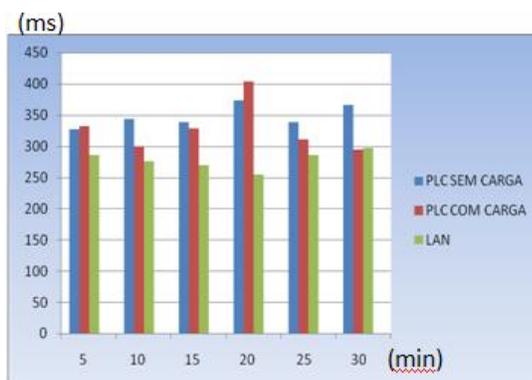
### 3.8.2 HTTP

Tabela 7 - Resultados Parâmetro HTTP

PARÂMETRO (ms)		PERÍODO					
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
HTTP	PLC SEM CARGA	327	343	338	374	339	366
	PLC COM CARGA	332	300	328	404	311	295
	LAN	286	276	269	255	286	297

Fonte: O autor

Gráfico 6 - Resultado do ensaio: parâmetro HTTP



Fonte: O autor

No caso do parâmetro HTTP como mencionado anteriormente, ele refere-se ao protocolo de transferência de Hipertexto, o que condiciona as alterações realizadas na página HTML ao longo do teste. Pode ser observado no gráfico 6, assim como na tabela 8, que mais uma vez surpreende, se feita análise em função das alterações na página. O aumento no tempo de resposta ocorreu aos 20 min de teste, enquanto que os acionamentos e comandos realizados se deram aos 15 e 25 minutos de teste.

Exceto pelo pico apresentado aos 20 minutos, se observadas as três tecnologias obteve-se os resultados mais parecidos até então. Entretanto sempre lembrando que a rede LAN apresentou melhores performances na maior parte se não na totalidade dos casos. Vale reforçar que as diferença entre elas embora às vezes significativa, em momento algum ofereceu problemas nas respostas dos comandos, nem na inserção de dados na página.

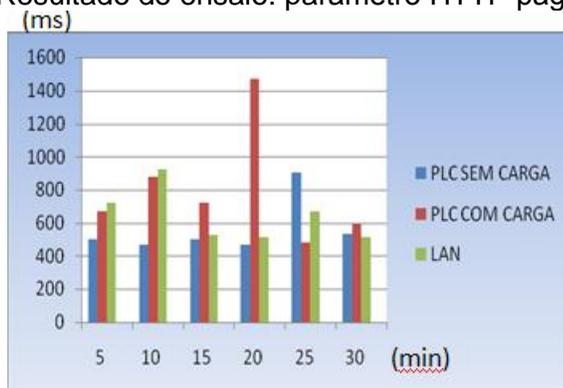
### 3.8.3 HTTP Página Completa

Tabela 8 - Resultados Parâmetro HTTP página completa

PARÂMETRO (ms)		PERÍODO					
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
HTTP página completa	PLC SEM CARGA	499	468	499	469	905	532
	PLC COM CARGA	672	875	719	1469	483	595
	LAN	719	922	530	516	671	516

Fonte: O autor

Gráfico 7 - Resultado do ensaio: parâmetro HTTP página completa (ms)



Fonte: O autor

O parâmetro HTTP de página completa já descrito, assim como o parâmetro anterior, está relacionado à Transferência de Hipertexto, vinculado as alterações que ocorrem na página HTML, só que neste caso, em toda a página. Os dados obtidos sobre este parâmetro pode ser observado na tabela 19 e visualizado no gráfico 7.

Como no parâmetro anterior, apresentou seu pior resultado aos 20 minutos de teste, sem justificativa, pois as maiores alterações foram nos outros 2 instantes já citados. Contrariando todos os demais testes, a rede LAN não obteve resultados tão bons, pelo contrário, a tecnologia PLC sem carga, destacou-se em 4 das 6 amostras. Comprovando ainda mais a eficácia da tecnologia em ambientes industriais, e confirmando o sucesso dos resultados que puderam ser observados por meio do protótipo, onde em momento algum qualquer acionamento deixou de ser realizado.

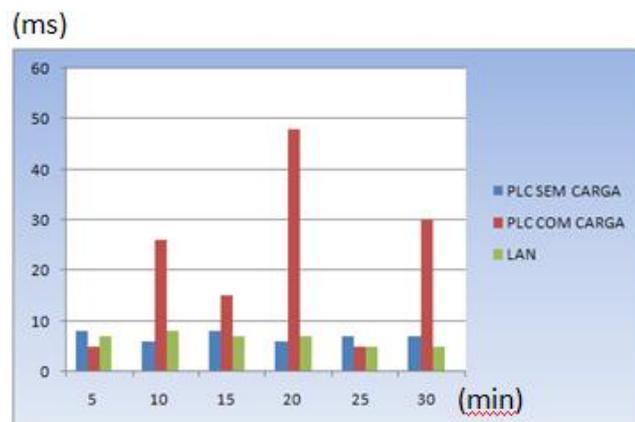
#### 3.8.4 Jitter de PING

Tabela 9 - Resultados Parâmetro Jitter de PING

PARÂMETRO (ms)		PERÍODO					
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
<b>Jitter de PING</b>	PLC SEM CARGA	8	6	8	6	7	7
	PLC COM CARGA	5	26	15	48	5	30
	LAN	7	8	7	7	5	5

Fonte: O autor

Gráfico 8 - Resultado do ensaio: parâmetro Jitter de PING



Fonte: O autor

A variável Jitter de PING, representa uma média, dos tempos de resposta das três tecnologias ao longo dos testes.

Pode ser observado no gráfico 8 acima, assim como na tabela 10, que também ao contrário do teste residencial, apresentou um comportamento parecido com a variável HTTP de página completa, isto é, tem seu ápice aos 20 minutos de teste, sem razões aparentes.

## 4 CONCLUSÃO

O emprego de sensores em conjunto com outros aplicativos mostrou-se uma importante ferramenta no diagnóstico de não conformidades e problemas no processo. O estudo confirma também a facilidade de interagir com equipamentos de maneira remota, utilizando a tecnologia PLC, além de permitir uma gama de possíveis aplicações em diversos campos de atividade.

O trabalho apresentou um estudo sobre o comportamento da tecnologia de comunicação pela rede elétrica como meio de transmissão em sistemas de monitoramento, para tanto foram realizados experimentos de envio dos dados capturados e em paralelo foi realizada a análise por meio de software de análise de redes. Por se tratar de uma tecnologia relativamente nova, ainda não existem muitos estudos sobre a utilização da mesma nas redes elétricas brasileiras.

Os resultados apresentados no trabalho evidenciam significativas diferenças de desempenho entre as tecnologias empregadas, bem como importantes diferenças no que diz respeito à velocidade de transmissão, e tempos de resposta. Estes resultados também mostram que a tecnologia PLC quando empregada em redes com cargas elétricas “conectadas” apresenta um melhor desempenho que a mesma tecnologia PLC, porém sem cargas acopladas a rede elétrica. Este fator deve-se aos filtros existentes nas cargas elétricas, que auxiliam na inibição de interferências na rede, como harmônicas e ruídos.

Um dos principais problemas encontrados na transmissão de informação pela rede elétrica é a variação nas transmissões de dados. Os resultados dos testes apontaram que mesmo utilizando modems ligados próximos a uma mesma tomada, as taxas de transmissão apresentaram uma grande variabilidade. Isso é uma característica que pode atrapalhar o uso da tecnologia em aplicações em tempo real.

Considera-se ainda que a tecnologia PLC apresentou um bom desempenho nas condições a que foi submetida, comprovando a eficiência da mesma e a possibilidade de utilização nos diversos segmentos de monitoramento remoto.

Porém deve-se levar em consideração as alterações sofridas pela tecnologia PLC pela utilização de outros equipamentos ligados à rede elétrica.

Pôde-se verificar ainda por intermédio dos resultados obtidos pelos gráficos gerados pelos testes, a significativa influência negativa que o ruído da rede e a distância entre os pontos de comunicação têm sobre as taxas de transmissão pela rede elétrica. Um importante estudo a ser objetivado trata-se de uma avaliação mais ampla dos parâmetros de comunicação de dados, ou seja uma análise mais criteriosa da rede através de relações como número de pacotes (bytes) enviados, perdidos versus a distância podem gerar uma melhor caracterização da comunicação PLC. Além disso, a realização de testes em redes elétricas especiais onde seja possível controlar o nível de ruído presente na comunicação seria fundamental para este tipo de análise.

Com relação ao monitoramento remoto, o mesmo representa economia (redução de custos) para medição e sensoriamento, pois evita o deslocamento freqüente dos técnicos até o lugar físico dos sensores ou a planta e também pelo fato de dispor de um meio de transmissão já existente, no caso, a rede elétrica, possibilitando a redução dos custos de investimento numa possível implementação a locais remotos.

A aplicação de um sistema remoto de aquisição e transmissão de dados também é um fator de aumento de confiabilidade e comodidade operacional. A partir de sua aplicação é possível acompanhar o desempenho de qualquer sistema à distância.

## 5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao final deste trabalho, há possibilidade de seqüência nesta linha de pesquisa e novos desenvolvimentos podem ser iniciados, aprofundando ainda mais este estudo. Nestes termos, como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se:

Elaboração de um banco de dados da variável monitorada, visando à criação de históricos a serem visualizados ao longo do tempo, como forma de controle do processo.

Realizar uma melhor e mais detalhada análise de qualidade de energia e cargas elétricas existentes na rede, em função dos diferentes resultados obtidos do comportamento da tecnologia PLC nos ambientes residencial e industrial.

Desempenhar diagnóstico de viabilidade do uso da tecnologia PLC outdoor, permitindo desta forma ampliar as distâncias dos equipamentos a serem monitorados.

Ainda como sugestão, providenciar a utilização do fundamento mostrado neste projeto em diversos sistemas de automação remotos, como por exemplo, monitoração de prensas ou outros distintos equipamentos da Área Metal Mecânica.

Alterar a distância entre os modems PLC, de modo a detectar alterações nos resultados em função destas variações de distância.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Hot Site PLC** Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/hotsite/plc/index.cfm?id=1739>. Acesso em: 19 ago. 2010.

ANTUNES, MAFALDA. Tecnologia eólica para produção de energia elétrica. Disponível em: [http://elepot.dei.uminho.pt/Site\\_Elepot/simposios/apresentacoes/mafalda.pdf](http://elepot.dei.uminho.pt/Site_Elepot/simposios/apresentacoes/mafalda.pdf). Acesso em 20/02/2011.

ARAÚJO, Rafael Gonçalves Bezerra de. **Flexibilização do arcabouço regulatório vigente a partir do estudo e projeto do sistema híbrido eólico – fotovoltaico isolado**. Dissertação de M.Sc., Curso em Regulação da Indústria de Energia. Salvador, 2008, 205 fl.

ARTEAGA, C.M; YANG, Y.J. **Large scale broadband over powerline field trail on medium voltage overhead circuits**. In: IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, 2008.

BALARINE, A. **Energia eólica uma solução inteligente**. Artigonal. Artigo publicado em março de 2009. Disponível em: <http://www.artigonal.com/biologia-artigos/energia-eolica-uma-solucao-inteligente-797443.htm>. Acesso em: 10/12/2010.

BAPTISTA, Manuel Carlos Pereira. **Identificação e caracterização da Modulação dos sinais digitais**. Departamento de eletrônica, telecomunicações e informática da Universidade de Aveiro, 2008.

BENAISSA, Mounir; BENABDELHAFID, Abdelatif; BACCOUCHE, Mohamed; ALIM, Adel. **Integration of Manufacturing Production and Planning Based in SOAP system**. IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL TECHNOLOGY (ICIT), 2004. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1490201&isnumber=32036>. Acesso em: 26/02/2011.

BENDER, Vítor C. **Estudo da geração de componentes harmônicos provenientes de reatores eletrônicos**. XVII Congresso de Iniciação Científica e X Encontro de Pós Graduação. Unijuí, 2008.

BRAGA, Newton C. **Aquisição de Dados**. Revista Saber Eletrônica. Ano 44 – N°425 – Junho/2008.

CAPELLI, Alexandre. **Automação Industrial: controle do movimento e processos contínuos**. São Paulo. Editora Érica. 2007.

CARCANGIU, Carlo Enrico. **CFD – RANS Study of Horizontal Axis Wind Turbines**. Phd Thesis, Università degli Studi di Cagliari, Itália, 2008.

CAVALCANTE, André Nascimento; MENESES, Lair Aguiar de. **Transmissão de dados via rede elétrica**. Engenharia de Telecomunicações, Instituto de Estudos Superiores da Amazônia – IESAM. Brasil, 2008.

CAVALCANTE, Tiago Francisco Barros. **Um estudo comparativo entre BPSK e QAM, utilizando OFDM, com aplicação aos sistemas móveis de quarta geração.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – UFES/ES, Niterói, 2010.

CLEAN TECH GROUP, 2010. **Report: China now world's largest wind market.** February 3, 2010. Disponível em: <http://cleantech.com/news/5595/report-china-holds-world-largest>. Acesso em: 25/01/2011.

COMER, Douglas. **Redes de computadores e internet.** 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007. 632 p.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Energia Eólica, Princípios e Tecnologias;** p. X; 2008; Disponível em <http://www.cresesbe.cepel.br>. Acesso em: 08/01/2011

CUSTÓDIO, Ronaldo dos Santos, **Energia Eólica para Produção de Energia Elétrica.** Rio de Janeiro, 2007

DODGE, DM. **The illustrated history of wind power development.** Littleton, Colorado: U.S. Federal Wind Energy Program, 2006. Disponível em <http://www.telosnet.com/wind/> Acesso em: 05/02/2011

DV TECNOLOGIA. Disponível em: <http://www.dvtecnologia.com.br/produtos>. Acesso em 06/07/2011.

FACCIONI, André Umberto et. Al. **Análise sobre Tecnologia PLC (POWER LINE COMMUNICATION).** Tecnologias para Competitividade Industrial, Florianópolis, v. 1, n. 2, p. 54-74, 2º. Sem., 2008

FILIPPO FILHO, Guilherme. **Motor de indução.** São Paulo: Érica, 2000.

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos elétricos.** 3.ed São Paulo: Érica, 2008.

GASCH, R.. **Windkraftanlagen.** Teubner, 2007.

GRUBER, Vilson. **Sistema de Monitoramento Remoto baseado em rede de celular GSM/GPRS para Gerenciamento de desgaste de pastilha de freio e vibração da torre em Aerogeradores.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 2007.

GUNGOR, V.C.; Lambert, F.C., **A survey on communication networks for electric system automation,** School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, 2006.

HARA, S.; PRASAD, R. **Multicarrier Techniques for 4G Mobile Communications.** Norwood, MA, USA: Artech House, Inc., 2003.

**"History of Wind Turbine"**. Disponível em: <http://www.windpower.org>. Acesso em: 16/01/2011

[IEC, 2010] IOWA ENERGY CENTER . **Wind Energy Manual** . Disponível em: <http://www.energy.iastate.edu/renewable/wind/wem-index.html> Acesso em: 12/10/2010

IEEE1901 **Working Group, 2010.** Disponível em: <http://grouper.ieee.org/groups/1901/> Acesso em: 02/10/2010

I.H. Cavdar. **A solution to remote detection of illegal electricity usage via power line communications.** IEEE Transactions on Power Delivery, 2004;

IOPE. **Termopares.** Disponível em: [http://www.iope.com.br/3ia1\\_termopares.htm](http://www.iope.com.br/3ia1_termopares.htm) Acesso em: 05/04/2011.

JANNUZZI, A. C. **Regulação da Qualidade de Energia Elétrica sob o Foco do Consumidor.** Dissertação de Mestrado em Sistemas Elétricos de Potência, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2007

JIANZHONG, Xu; DEXIN, He; XIAOLU, Zhao. **Status and prospects of Chinese wind energy,** Instituto de Engenharia Termofísica da Academia Chinesa de Ciências, em Pequim, China - Associação Chinesa de Energia Eólica, Pequim, China. 2009

JOHN K. Kaldellis, D. Zafirakis. **The wind energy (r)evolution: A short review of a long history.** Renewable Energy. Lab of Soft Energy Applications & Environmental Protection, TEI of Piraeus, Greece, 2011.

LAMAS, Wendell de Queiroz. **Mecatrônica Atual: Automação Industrial de Processos e Manufatura.** São Paulo. Editora Saber Ltda. 2008.

LENZ, André Luis. **Motor de Indução Trifásico e Conversores de Frequência.** SENAI, São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAcpcAl/motor-inducao-trifasico-conversores-frequencia> Acesso em: 10/10/2011.

LUTZ, Oliver. **Situação, necessidade de desenvolvimento, concepção de configuração e perspectivas de aerogeradores de pequeno porte a serem utilizados no Brasil.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 2006.

MACEDO, Wilson Negrão. **Estudos de Sistemas de Geração de Eletricidade Utilizando as Energias Solar Fotovoltaica e Eólica.** Belém, 2002. 154 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), UFPA – Universidade Federal do Pará.

MACHADO, Rodolpho Lúcio Vieira; KULTZ, Hans Rolf. **Transmissão de Sinais Biológicos via Rede Elétrica.** IV Jornada de Iniciação Científica do Ifes, Espírito Santo, 2009.

MAENOU, T; KATAYAMA, M. **Study on Signal Attenuation Characteristics in Power Line Communications** . In: IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, 2006. P. 217-221.

MAIA, Juliana Avena; PINHEIRO, José Renés. **Harmônicos de Corrente e Tensão**. XXI Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia. Unijuí, 2006.

MALATHI,P.; Vanathi, (2007). **Power Line Communication using OFDM and OGA**. AIML Journal, ECE Department, PSG College of Tech, India.

MARCELINO, Roderval. **Aquisição de dados e monitoramento remoto aplicado a indústria metal-mecânica: aerogeradores**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 2007.

MEHL, Ewaldo L.M. **Qualidade da Energia Elétrica**. Universidade Federal do Paraná, 2001. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABCHIAI/qualidade-energia> Acesso em: 02/06/2011.

MOREIRA, F.C **Aplicações de Sistemas de Monitoramento e Supervisão de Processos**. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

NIXON, Niki. “ **Linha do Tempo: a história da energia eólica**.” **The Guardian**. Np, 17 de outubro de 2008. Disponível em: <http://www.guardian.co.uk/environment/2008/oct/17/wind-power-renewable-energy?INTCMP=SRCH> Acesso em: 25/01/2011.

OLIMEX. Development boards and Tools. Disponível em: <http://www.olimex.com/dev/index.html>. Acesso em: 20/03/2011

Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS. “**Padrões de Desempenho da Rede Básica** – Submódulo 2.2”, versão aprovada pelo Conselho Administrativo em outubro de 2000.

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Energia Eólica**. Disponível em: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/energia-eolica/energia-eolica-16.php> Acesso em:17/08/2011.

PINTO, Ernesto Leite; ALBUQUERQUE, Claudio Penedo de. **A Técnica de Transmissão OFDM**. Revista Científica Periódica – Telecomunicações. Volume 05 – Número 01, Junho de 2002. ISSN 1516-2338

REN 21 Renewable Energy Policy Network.2007. **Renewables 2007 Global Status Report**. Washington, DC: Worldwatch Institute. Disponível em: [WWW.ren21.net/](http://WWW.ren21.net/). Acesso em: 11/12/2010.

Revista EXAME, 2010. **Meio Ambiente e Energia: “Cresce Geração de ENERGIA Eólica no Brasil”**. Editora Abril. Fevereiro de 2010.

SANTOS, J. C. S. **Projeto de um sistema microcontrolado utilizando Internet embarcada para monitoramento remoto em tempo real de temperatura e disponibilização dos dados na WEB através de conexão de rede.** Natal, RN. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2009.

SILVA, César Rogério Menezes; **Desenvolvimento de um sistema de coleta de dados de baixo custo para monitorar aerogeradores de pequeno porte.** Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, 2007

SILVA, Mário Gomes da; **Gerenciamento de Redes com Windows 98.** 4ed. – São Paulo: Editora Érica, 2002.

SOARES, Pedro Hugo Anselmo; **Análise de soluções tecnológicas para comunicações Power Line Carrier (PLC).** Dissertação realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2010.

SOREN, KROHN. **Wind Turbines: Upwind or Downwind Machines.** Disponível em: <http://www.windpower.org/en/tour/design/updown.ht>. Acessado em 20/02/2011.

SUNGKWAN, C; DHINGRA, V. **Sreet lighting control based on Lon Works power line communication.** In: IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, 2008.

SUZANO, 2011. **Topologia de Rede.** Disponível em: <http://sites.google.com/site/profsuzano/redes/topologiaderede>. Acesso em: 07/04/2011.

TANENBAUM, Andrew S.; SOUZA, Vandenberg D. **Redes de computadores.** 4ª ed. Rio de Janeiro: Campus, 2005. xxi, 945 p

TEIXEIRA, E.A; REGE, E.L; MARQUES, F.S; DE SOUZA, E.M; JOHNSON, T.M; RIBEIRO, M.V. **Regulation Issues Relating to BroadBand PLC: A Brazilian Experience and Prespective.** In: International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, 2007.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores industriais: Fundamentos e Aplicações.** 7.ed. São Paulo. Editora Érica. 2010.

TOMIMURA, D; NETO, V.V. **Field Measurements of BroadBand PLC: A Case Study in the Brazilian Regulation.** In: IEEE Global Telecommunications Conference, 2008.

TOMIMURA, D; NETO, V.V. **A Regulatory framework for BroadBand PLC.** In: IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, 2009.

TUTORZONE, 2011. Disponível em: <http://www.tutorzone.com.br/tutorial-tipos-de-redes-de-computadores/> Acesso em: 15/09/2011.

VALDÍVIA, Carla Ferrel; **Comunicação de dados através da tecnologia PLC via rede elétrica.** Faculdade de Engenharia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUC, 2006.

VIDAL, Alexandre de Moura; **Estudo do Estado da Arte e Análise de Desempenho de Sistemas de Comunicação PLC de Banda Larga.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 2005.

VIEIRA, J. G. A CELG no projeto Opera 2 e suas perspectivas de aplicação da tecnologia PLC. **Workshop Sobre Power Line Communication.** Brasília DF: ANEEL, 2007. Disponível em: <[www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/CELG%20-%20Vieira.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/CELG%20-%20Vieira.pdf)>. Acesso em: 3 maio 2007.

WALTER, F. Deal. **Wind Power: An Emerging Energy Resource.** Resources in Technology and Engineering. September 2010.

WEG. **Motores de Indução Trifásicos: Baixa e Alta Tensão.** Catálogo, 2008 – Disponível em: <http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-motor-de-inducao-trifasico-de-baixa-e-alta-tensao-628-catalogo-portugues-br.pdf>. Acesso em: 06/06/2011.

World Wind Energy Report 2009. Technical report, World Wind Energy Association WWEA, WWEA Head Office, Charlesde- Gaulle, Str. 5, 53113, Bonn - Germany., 2009

YANG, Y.J; ARTEAGA, C.M. **Broadband over Powerline field trial for commercial in-building application in a Multi-Dwelling-Unit environment.** In: IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, 2009.