

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL**

**PREVISÃO DE NÍVEIS FLUVIAIS EM TEMPO ATUAL COM MODELO DE
REGRESSÃO ADAPTATIVO: APLICAÇÃO NA BACIA DO RIO URUGUAI**

GIULIANA CHAVES MOREIRA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Porto Alegre, maio de 2016

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL**

**PREVISÃO DE NÍVEIS FLUVIAIS EM TEMPO ATUAL COM MODELO DE
REGRESSÃO ADAPTATIVO: APLICAÇÃO NA BACIA DO RIO URUGUAI**

GIULIANA CHAVES MOREIRA

ORIENTADOR: PROF. DR. OLAVO CORREA PEDROLLO

BANCA EXAMINADORA:

PROF. DR. GUILHERME GARCIA DE OLIVEIRA (UNIVATES)

PROF. DR. JUAN MARTIN BRAVO (IPH/UFRGS)

PROFA. DRA. NILZA MARIA DOS REIS CASTRO (IPH/UFRGS)

Porto Alegre, maio de 2016

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), pela oportunidade da realização desse curso de mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado.

À Companhia de Recursos Minerais (CPRM) pela disponibilização dos dados de níveis fluviais utilizados.

Ao meu orientador professor Dr. Olavo Correa Pedrollo, pelo incentivo em todas as etapas da pesquisa, pelos conselhos, pelo entusiasmo e pela grande dedicação nas orientações, estando sempre disponível para esclarecimento de dúvidas.

Aos meus pais Luciane e Cleber, minha vó Marlene, minha dinda Adriana e meu namorado Eduardo, que sempre estiveram ao meu lado, colaborando e me apoiando nesta etapa da minha vida.

Aos professores e colegas do mestrado, que contribuíram na realização desse estudo.

RESUMO

Este trabalho avaliou o potencial da aplicação da técnica recursiva dos mínimos quadrados (MQR) para o ajuste em tempo atual dos parâmetros de modelos autorregressivos com variáveis exógenas (ARX), as quais são constituídas pelos níveis de montante para melhorar o desempenho das previsões de níveis fluviais em tempo atual. Três aspectos foram estudados em conjunto: variação do alcance escolhido para a previsão, variação da proporção da área controlada em bacias a montante e variação da área da bacia da seção de previsão. A pesquisa foi realizada em três dimensões principais: a) metodológica (sem recursividade; com recursividade; com recursividade e fator de esquecimento); b) temporal (6 alcances diferentes: 10, 24, 34, 48, 58 e 72 horas); e c) espacial (variação da área controlada da bacia e da área da bacia definida pela seção de previsão). A área de estudo escolhida para essa pesquisa foi a bacia do rio Uruguai com exutório no posto fluviométrico de Uruguaiana (190.000 km²) e as suas sub-bacias embutidas de Itaquí (131.000 km²), Passo São Borja (125.000km²), Garruchos (116.000 km²), Porto Lucena (95.200 km²), Alto Uruguai (82.300 km²) e Iraí (61.900 km²). Os dados de níveis fluviométricos, com leituras diárias às 07:00 e às 17:00 horas, foram fornecidos pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), sendo utilizados os dados de 1/1/1991 a 30/6/2015. Para a análise de desempenho dos modelos, foi aplicado como estatística de qualidade o coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS) e o quantil 0,95 dos erros absolutos (EA(0,95): erro que não foi ultrapassado com a frequência de 0,95). Observou-se que os erros EA(0,95) dos melhores modelos obtidos para cada bacia sempre aumentam com a redução da área controlada, ou seja, a qualidade das previsões diminui com o deslocamento da seção de controle de jusante para montante. O ganho na qualidade das previsões com a utilização dos recursos adaptativos torna-se mais evidente, especialmente quando observam-se os valores de EA(0,95), pois esta estatística é mais sensível, com diferenças maiores em relação ao coeficiente NS. Além disso, este é mais representativo para os erros maiores, que ocorrem justamente durante os eventos de inundações. De modo geral, foi observado que, à medida que diminui a área da bacia, é possível obter previsões com alcances cada vez menores. Porém a influência do tamanho da área controlada de bacias a montante melhora o desempenho de bacias menores quando se observam principalmente os erros EA(0,95). Por outro lado, se a proporção da bacia controlada de montante já é bastante grande, como é o caso das alternativas 1 e 2 utilizadas para previsão em Itaquí (entre 88,5% e 95,4 %, respectivamente), os recursos adaptativos não fazem muita diferença na obtenção de melhores resultados. Todavia, quando se observam bacias com menores áreas de montante controladas, como é o caso de Porto Lucena para a alternativa 2 (65% de área controlada), o ganho no desempenho dos modelos com a utilização dos recursos adaptativos completos (MQR+f.e: mínimos quadrados recursivos com fator de esquecimento) torna-se relevante.

Palavras-chave: Bacias hidrográficas embutidas, Modelo ARX, Mínimos quadrados recursivos, Previsão em tempo atual.

ABSTRACT

This study evaluated the potential of the application of the recursive least squares technique (RLS) to adjust in real time the model parameters of the autoregressive models with exogenous variables (ARX), which consists of the upstream levels, to improve the performance of the forecasts of river levels in real time. Three aspects were studied jointly: the variation of the lead time chosen for the forecast, the variation in the proportion of controlled area in upstream basins and variation in the area of forecasting section of the basin. The research was conducted in three main dimensions: a) methodological (without recursion; with recursion; with recursion and forgetting factor); b) temporal (6 different lead times: 10, 24, 34, 48, 58 and 72 hours); and c) spatial (variation in the controlled area of the basin and the area of the basin defined by the forecast section). The study area chosen for this research was the Uruguay River basin with its outflow at the river gage station of Uruguaiana (190,000 km²) and its entrenched sub-basins in Itaquí (131,000 km²), Passo São Borja (125,000 km²), Garruchos (116,000 km²), Porto Lucena (95,200 km²), Alto Uruguai (82,300 km²), and Iraí (61,900 km²). The river levels data, with daily readings at 7am and 5pm, were provided by the Company of Mineral Resources Research (CPRM), with the data used from January 1, 1991 to June 30, 2015. We applied the Nash-Sutcliffe coefficient (NS) and the quantile 0.95 of absolute errors (EA(0,95): error has not been exceeded at the rate of 0.95) for the analysis of models performances. We observed that the errors EA(0.95) of the best models obtained for each basin always increase with the reduction of the controlled area then the quality of the forecasts decreases with displacement of the downstream control section upstream. The gain in quality of the forecasts with the use of adaptive resources becomes more evident especially when the observed values of EA(0.95) as this statistic is more sensitive with greater differences in relation to the Nash-Sutcliffe Coefficient (NS). Moreover, this is most representative for larger errors which occur precisely during flooding events. In general, we observed that, as much as the area of the basin decreases, it is possible to obtain forecasts with smaller lead times, but the influence of the size of the area controlled upstream basins improves the performance of smaller basins when observing, especially the errors EA (0.95). However, if the proportion of the upstream of controlled basin is already quite large - as in the case of the alternatives 1 and 2 used for forecast in Itaquí (between 88.5% and 95.4%, respectively) - the adaptive resources do not differ too much in getting better results. However, when observing basins with smaller areas controlled upstream - as is the case of Porto Lucena to alternative 2 (65% controlled area) - the performance gain of the models with the use of the complete adaptive resources (MQR+f.e.) becomes relevant.

Keywords: Nested drainage basins, ARX model, Recursive Least Squares, Real-time forecasting.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação dos processos de enchente e inundação de um corpo d'água.	21
Figura 2: Componentes básicos de um sistema de alerta de inundações.	24
Figura 3: Localização dos Sistemas de Alertas Hidrológicos (SACE) operados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) em operação no território Nacional.	28
Figura 4: Exemplo da janela principal do SACE mostrando o mapa da Bacia do Rio Caí com os respectivos pontos de monitoramento indicando que as cotas encontram-se em nível normal.	29
Figura 5: Erros e frequências de não excedência.	40
Figura 6: Bacia hidrográfica do rio Uruguai e as sub-bacias embutidas.	42
Figura 7: Bacias hidrográficas que integram a Região Hidrográfica do Uruguai.	44
Figura 8: Gráfico das precipitações acumuladas mensais (mm) nas estações de Iraí, Itaqui e Uruguaiana registradas nas Normais Climatológicas publicadas pelo INMET, referentes ao período de 1961 a 1990.	46
Figura 9: Alcances utilizados nas previsões.	53
Figura 10: Componentes antecedentes utilizadas nas previsões.	54
Figura 11: Tempo de viagem da onda de cheia entre Uruguaiana e os seus respectivos postos de controle de montante.	55
Figura 12: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 10 h (com dados a partir de t-1), no período de 13/06/2014 a 22/08/2014, no posto de Uruguaiana.	61
Figura 13: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 24 h (com dados a partir de t-1), no período de 13/06/2014 a 22/08/2014, no posto de Uruguaiana.	61
Figura 14: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 34 h (com dados a partir de t-1), no período de 13/06/2014 a 22/08/2014, no posto de Uruguaiana.	62
Figura 15: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 48 h (com dados a partir de t-5), no período de 13/06/2014 a 22/08/2014, no posto de Uruguaiana.	62
Figura 16: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 58 h (com dados a partir de t-1), no período de 13/06/2014 a 22/08/2014, no posto de Uruguaiana.	62
Figura 17: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 72 h (com dados a partir de t-5), no período de 13/06/2014 a 22/08/2014, no posto de Uruguaiana.	63
Figura 18: Tempo de viagem da onda de cheia entre Itaqui e os seus respectivos postos de controle de montante.	64
Figura 19: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 10 h (com dados a partir de t-2), no período de 01/10/2008 a 10/12/2008, no posto de Itaqui.	70

Figura 20: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 24 h (com dados a partir de t-2), no período de 01/10/2008 a 10/12/2008, no posto de Itaqui.	70
Figura 21: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 34 h (com dados a partir de t-2), no período de 01/10/2008 a 10/12/2008, no posto de Itaqui.	70
Figura 22: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 48 h (com dados a partir de t-3), no período de 01/10/2008 a 10/12/2008, no posto de Itaqui.	71
Figura 23: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 58 h (com dados a partir de t-2), no período de 01/10/2008 a 10/12/2008, no posto de Itaqui.	71
Figura 24: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 72 h (com dados a partir de t-4), no período de 01/10/2008 a 10/12/2008, no posto de Itaqui.	71
Figura 25: Tempo de viagem da onda de cheia entre Passo São Borja e os seus respectivos postos de controle de montante.	73
Figura 26: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 10 h (com dados a partir de t-1), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Passo São Borja.	78
Figura 27: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 24 h (com dados a partir de t-3), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Passo São Borja.	79
Figura 28: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 34 h (com dados a partir de t-3), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Passo São Borja.	79
Figura 29: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 48 h (com dados a partir de t-1), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Passo São Borja.	79
Figura 30: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 58 h (com dados a partir de t-2), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Passo São Borja.	80
Figura 31: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 72 h (com dados a partir de t-2), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Passo São Borja.	80
Figura 32: Tempo de viagem da onda de cheia entre Garruchos e os seus respectivos postos de controle de montante.	81
Figura 33: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 10 h (com dados a partir de t-1), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Garruchos.	85
Figura 34: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 24 h (com dados a partir de t-2), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Garruchos.	86

Figura 35: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 34 h (com dados a partir de t-1), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Garruchos.	86
Figura 36: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 48 h (com dados a partir de t-1), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Garruchos.	86
Figura 37: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 58 h (com dados a partir de t-1), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Garruchos.	87
Figura 38: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 72 h (com dados a partir de t-2), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Garruchos.	87
Figura 39: Tempo de viagem da onda de cheia entre Porto Lucena e os seus respectivos postos de controle de montante.	88
Figura 40: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 10 h (com dados a partir de t-1), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Porto Lucena.	92
Figura 41: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 24 h (com dados a partir de t-1), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Porto Lucena.	92
Figura 42: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 34 h (com dados a partir de t-1), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Porto Lucena.	93
Figura 43: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 48 h (com dados a partir de t-1), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Porto Lucena.	93
Figura 44: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 58 h (com dados a partir de t-1), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Porto Lucena.	93
Figura 45: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 72 h (com dados do dia atual t), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Porto Lucena.	94
Figura 46: Tempo de viagem da onda de cheia entre Alto Uruguai e o posto de controle de montante de Iraí.	95
Figura 47: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 10 h (com dados a partir de t-1), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Alto Uruguai.	99
Figura 48: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 24 h (com dados a partir de t-1), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Alto Uruguai.	99
Figura 49: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 34 h (com dados a partir de t-1), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Alto Uruguai.	100

Figura 50: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 48 h (com dados a partir de t-1), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Alto Uruguai.	100
Figura 51: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 58 h (com dados do dia atual t), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Alto Uruguai.	100
Figura 52: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 72 h (com dados a partir de t-1), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Alto Uruguai.	101
Figura 53: Proporção da área controlada das bacias de controle de montante no posto de Uruguaiana e eficiência do modelo para os alcances de 10h (a), 24h (b), 34h (c), 48h (d), 58h (e), e 72h (f), com dados a partir do dia anterior (t-1).	106
Figura 54: Proporção da área controlada das bacias de controle de montante no posto de Itaquí e eficiência do modelo para os alcances de 10h (a), 24h (b), 34h (c), 48h (d), 58h (e), e 72h (f), com dados a partir do dia anterior (t-1).	107
Figura 55: Proporção da área controlada das bacias de controle de montante no posto de Passo São Borja e eficiência do modelo para os alcances de 10h (a), 24h (b), 34h (c), 48h (d), 58h (e), e 72h (f), com dados a partir do dia anterior (t-1).	108
Figura 56: Proporção da área controlada das bacias de controle de montante no posto de Garruchos e eficiência do modelo para os alcances de 10h (a), 24h (b), 34h (c), 48h (d), 58h (e), e 72h (f), com dados a partir do dia anterior (t-1).	109
Figura 57: Proporção da área controlada das bacias de controle de montante no posto de Porto Lucena e eficiência do modelo para os alcances de 10h (a), 24h (b), 34h (c), 48h (d), 58h (e), e 72h (f), com dados a partir do dia anterior (t-1).	110
Figura 58: Proporção da área controlada das bacias de controle de montante no posto de Alto Uruguai e eficiência do modelo para os alcances de 10h (a), 24h (b), 34h (c), 48h (d), 58h (e), e 72h (f), com dados a partir do dia anterior (t-1).	111
Figura 59: Resultado da etapa de verificação do modelo MQ e MQR+f.e., para o alcance de 10 h (alternativa 1, com dados a partir de t-1), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Alto Uruguai.	113

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Exemplos de sítios nacionais de serviços de alerta de inundação de alguns países.	23
Quadro 2: Postos fluviométricos escolhidos neste estudo e sua respectiva localização nas bacias da Região Hidrográfica do Uruguai.....	45
Quadro 3: Geomorfologia da Região Hidrográfica do Uruguai onde estão inseridos os postos utilizados neste estudo.	45
Quadro 4: Postos Fluviométricos utilizados nesse estudo.	47
Quadro 5: Postos fluviométricos com seus respectivos n° de registros disponíveis, período de dados, níveis máximos e mínimos para o período analisado.....	47
Quadro 6: Alternativas de entradas usadas como controle de montante para previsões de níveis em Uruguaiana.	52
Quadro 7: Alternativas de entradas usadas como controle de montante para previsões de níveis em Itaquí.	52
Quadro 8: Alternativas de entradas usadas como controle de montante para previsões de níveis em Passo São Borja.....	52
Quadro 9: Alternativas de entradas usadas como controle de montante para previsões de níveis em Garruchos.	52
Quadro 10: Alternativas de entradas usadas como controle de montante para previsões de níveis em Porto Lucena.	52
Quadro 11: Alternativas de entradas usadas como controle de montante para previsões de níveis em Alto Uruguai.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Uruguaiana com alcance de 10 h.	56
Tabela 2: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Uruguaiana com alcance de 24 h.	56
Tabela 3: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Uruguaiana com alcance de 34 h.	57
Tabela 4: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Uruguaiana com alcance de 48 h.	57
Tabela 5: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Uruguaiana com alcance de 58 h.	57
Tabela 6: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Uruguaiana com alcance de 72 h.	57
Tabela 7: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Itaqui com alcance de 10 h.	65
Tabela 8: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Itaqui com alcance de 24 h.	65
Tabela 9: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Itaqui com alcance de 34 h.	66
Tabela 10: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Itaqui com alcance de 48 h.	66
Tabela 11: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Itaqui com alcance de 58 h.	66
Tabela 12: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Itaqui com alcance de 72 h.	66
Tabela 13: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Passo São Borja com alcance de 10 horas.	74
Tabela 14: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Passo São Borja com alcance de 24 horas.	74

Tabela 15: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Passo São Borja com alcance de 34 horas.....	74
Tabela 16: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Passo São Borja com alcance de 48 horas.....	75
Tabela 17: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Passo São Borja com alcance de 58 horas.....	75
Tabela 18: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Passo São Borja com alcance de 72 horas.....	75
Tabela 19: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Garruchos com alcance de 10 h.	82
Tabela 20: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Garruchos com alcance de 24 h.	82
Tabela 21: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Garruchos com alcance de 34 h.	82
Tabela 22: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Garruchos com alcance de 48 h.	82
Tabela 23: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Garruchos com alcance de 58 h.	83
Tabela 24: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Garruchos com alcance de 72 h.	83
Tabela 25: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Porto Lucena com alcance de 10 h.	89
Tabela 26: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Porto Lucena com alcance de 24 h.	89
Tabela 27: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Porto Lucena com alcance de 34 h.	89
Tabela 28: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Porto Lucena com alcance de 48 h.	89

Tabela 29: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Porto Lucena com alcance de 58 h.	89
Tabela 30: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Porto Lucena com alcance de 72 h.	90
Tabela 31: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Alto Uruguai com alcance de 10 h.	96
Tabela 32: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Alto Uruguai com alcance de 24 h.	96
Tabela 33: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Alto Uruguai com alcance de 34 h.	96
Tabela 34: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Alto Uruguai com alcance de 48 h.	96
Tabela 35: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Alto Uruguai com alcance de 58 h.	96
Tabela 36: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Alto Uruguai com alcance de 72 h.	96
Tabela 37: Resumo dos resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada alcance para previsão em Uruguaiana.	102
Tabela 38: Resumo dos resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada alcance para previsão em Itaqui.....	102
Tabela 39: Resumo dos resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada alcance para previsão em São Borja.	102
Tabela 40: Resumo dos resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada alcance para previsão em Garruchos.	102
Tabela 41: Resumo dos resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada alcance para previsão em Porto Lucena.	103
Tabela 42: Resumo dos resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada alcance para previsão em Alto Uruguai.....	103

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	3
RESUMO.....	4
ABSTRACT.....	5
LISTA DE FIGURAS.....	6
LISTA DE QUADROS	10
LISTA DE TABELAS.....	11
SUMÁRIO	14
1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Hipótese da pesquisa.....	20
1.2 Objetivo	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 Sistemas de previsão e alerta de cheias fluviais.....	21
2.2 Alguns Sistemas de Alerta de inundações no Brasil.....	27
2.3 Controle de Montante e Efeitos de escala.....	30
2.4 Modelos para previsões hidrológicas.....	32
2.5 Modelos com componentes autorregressivas	34
2.5.1 Apresentação e descrição	34
2.6 Método dos mínimos quadrados recursivos.....	35
2.7 Avaliação da qualidade das previsões	39
2.7.1 Considerações gerais	39
2.7.2 Coeficientes de avaliação da qualidade dos modelos.....	39
2.7.3 Medidas de avaliação por meio de Quantis.....	40
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	42
3.1 Área de estudo	42
3.2 Dados fluviométricos	47
3.3 Métodos	48

4. RESULTADOS	55
4.1 Bacia de Uruguiana	55
4.2 Bacia de Itaqui	64
4.3 Bacia de Passo São Borja.....	73
4.4 Bacia de Garruchos	81
4.5 Bacia de Porto Lucena	88
4.6 Bacia de Alto Uruguai	95
4.7 Análise geral dos resultados	102
5. CONCLUSÕES	114
5.1 Recomendações e sugestões	116
REFERÊNCIAS.....	117
APÊNDICE A – PERFIS TRANSVERSAIS DOS POSTOS FLUVIOMÉTRICOS	123
APÊNDICE B – GRÁFICOS DOS NÍVEIS (7H) DOS POSTOS FLUVIOMÉTRICOS AO LONGO DO PERÍODO	127
APÊNDICE C – RESULTADOS DA BACIA DE URUGUAIANA	129
APÊNDICE D – RESULTADOS DA BACIA DE ITAQUI.....	136
APÊNDICE E – RESULTADOS DA BACIA DE PASSO SÃO BORJA.....	140
APÊNDICE F – RESULTADOS DA BACIA DE GARRUCHOS	144
APÊNDICE G – RESULTADOS DA BACIA DE PORTO LUCENA	148
APÊNDICE H – RESULTADOS DA BACIA DE ALTO URUGUAI	151

1. INTRODUÇÃO

A ocorrência de inundações em áreas urbanas está se tornando uma questão cada vez mais importante, já que a população mundial tem crescido muito nos últimos anos (entre 1970 e 2010, a população mundial aumentou em 87%), e a alta densidade de pessoas, infraestruturas e atividades socioeconômicas amplifica o impacto de inundações, aumentando significativamente o seu risco (DIAKAKIS, 2014). Além disso, o aquecimento global está causando o aumento da frequência e da intensidade das precipitações (TRENBERTH, 2011; HIRABAYASHI et al., 2013; FOULDS et al., 2014; ALFIERI et al., 2015; O’GORMAN, 2015), que aumentam a incidência de inundações.

Diversos levantamentos históricos de ocorrências de eventos de inundações têm sido realizados em todo o mundo (BARRIENDOS et al., 2003; BARNOLAS e LLASAT BOTIJA, 2007; RIGHI e ROBAINA, 2010; DIAKAKIS, 2014; KUNDZEWICZ, PIŃSKWAR e BRAKENRIDGE, 2013) nos últimos anos, a fim de fornecer informações úteis para as agências e órgãos que trabalham na prevenção e mitigação dos impactos das inundações.

Segundo dados disponibilizados pelo EM-DAT (2015), referentes ao período de 2000 a 2014, dentre todos os tipos de desastres naturais registrados no Brasil (secas, terremotos, epidemias, temperaturas extremas, inundações, desmoronamentos e tempestades), as inundações apresentaram o maior número de ocorrência (67,5%). As inundações causaram maior impacto à vida humana, sendo responsáveis pela maior parcela de pessoas afetadas (63,2%) e pelo maior número de óbitos (84,9%) por desastres naturais. Isso ocorre devido a fatores sociais e econômicos, que levam a população carente a ocupar cada vez mais as áreas ribeirinhas, propensas à inundações, aumentando assim os danos ocasionados pelas inundações.

Para reduzir ou até mesmo evitar os potenciais danos e prejuízos às populações atingidas por eventos de inundações, os órgãos governamentais e gestores encarregados do controle de inundações tem adotado algumas medidas, que podem ser classificadas em dois grupos: medidas estruturais e medidas não estruturais.

Minea e Zaharia (2011) investigaram e analisaram as medidas estruturais e não estruturais que foram utilizadas para mitigação dos riscos de inundações na bacia hidrográfica do rio Bâsca na Romênia. Entre as medidas estruturais adotadas, podem ser citadas: estabilização de taludes, obras de controle de erosão, regulação do canal e

proteção da margem do rio. Já as medidas não estruturais adotadas incluem: legislação, manejo de bacia hidrográfica, planejamento administrativo da terra e urbano, educação, seguros, previsão e alerta de inundações.

No estudo realizado por Kryžanowski et al., (2014) foi feita uma revisão de medidas estruturais que foram tomadas para lidar com inundações em três cidades ao longo do rio Danúbio, ou seja, Viena, Bratislava e Belgrado. As medidas adotadas incluem a construção de barragens, diques, vertedores, muros de proteção de concreto armado e elementos móveis, em ambos os lados do rio Danúbio. Entre as principais conclusões obtidas pelos autores, a partir da avaliação das medidas estruturais em cada estudo de caso particular, destaca-se que as medidas estruturais de gestão contra inundações podem ocupar grandes áreas e possuem um forte impacto no desenvolvimento do espaço urbano, portanto teria sido mais eficaz se tais medidas tivessem sido adotadas antes do começo do desenvolvimento urbano nas cidades de Bratislava e Belgrado. Outro aspecto em relação às medidas estruturais de defesa contra inundações é o fato de que os projetos de controle de inundação são, em geral, muito caros para projetar, construir e manter, e podem levar anos para ser concluídos. Um exemplo ocorreu nas cidades de Viena e Belgrado, onde a construção de sistemas de proteção contra as inundações começaram na década de 1970, mas ainda não foram finalizados. Isto ocorre porque as comunidades locais geralmente não podem pagar os custos decorrentes de grandes projetos de mitigação, sendo necessários investimentos significativos por parte dos governos.

Uma das medidas não estruturais que tem sido adotada para prevenir e mitigar os efeitos decorrentes de eventos de inundação é a criação e implantação de sistemas de previsão e alerta de inundações (PEDROLLO et al., 2011; WERNER et al., 2013; YANG et al., 2015), para o monitoramento contínuo dos níveis do rio por meio de informações obtidas a partir de redes de coleta e transmissão de dados em tempo atual. Além disso, pode-se efetuar a previsão antecipada dos níveis fluviais, por meio de modelos de previsão, proporcionando o aumento do tempo disponível para providências.

Os modelos de previsão de inundações podem variar desde métodos estatísticos simples até modelos de processos físicos extremamente detalhados (WMO, 2011). Estas previsões podem ser baseadas simplesmente nos níveis do rio, com base em dados de um posto fluviométrico no local de interesse, e em observações de postos fluviométricos

a montante, ou utilizando observações ou previsões de precipitação para obter maior alcance de tempo de previsão (SENE, 2008).

A previsão hidrológica é uma estimativa do estado futuro de alguns fenômenos hidrológicos, tais como a vazão, o volume acumulado, o nível da água, a área de inundação ou a velocidade média de fluxo, em uma localização geográfica específica ou em uma seção de um canal. O alcance de uma previsão hidrológica é o período a partir do tempo atual (ou seja, a origem da previsão) até o momento futuro no tempo (ou horizonte temporal) para o qual se aplica a previsão (WMO, 2011).

As previsões hidrológicas podem ser classificadas, dependendo do alcance da previsão, basicamente, em previsões de curto prazo (também chamadas de previsões em tempo atual ou de previsões em tempo real) e em previsões de longo prazo. As previsões de curto prazo são aquelas realizadas com antecedência de poucas horas ou até alguns dias e as previsões de longo prazo são aquelas realizadas com antecedência acima de 10 dias (WMO, 2006).

As previsões de curto prazo são realizadas utilizando modelos que relacionam variáveis obtidas até o presente (tempo atual), para predizer o estado futuro da variável que representa este evento. Estas previsões, quando aplicadas para predizer níveis fluviais, dependem, portanto, de dois fatores: do conhecimento do estado atual do sistema (representado pelos níveis observados e pelas condições de umidade dos solos da bacia) e dos volumes afluentes (observados a montante do rio ou procedentes das precipitações recentes) (PEDROLLO e PEDROLLO, 2013).

Para um modelo matemático de previsão pela propagação de vazões provenientes de trechos do rio a montante da seção considerada, é indispensável o monitoramento de uma ou mais seções a montante, denominadas de seções de controle. Dessa forma, a área a montante desta seção fluvial monitorada estabelece uma sub-bacia controlada, e a área localizada entre esta seção e o exutório da bacia principal estabelece uma região não controlada. Esta região não controlada constitui, portanto, uma bacia de contribuição incremental às vazões propagadas a partir da referida seção de controle (MATOS, PEDROLLO e CASTRO, 2014).

É importante reduzir a área da bacia de contribuição incremental, pois as vazões resultantes desta área são de determinação incerta, visto que dependem principalmente das precipitações, e os postos de monitoramento de chuvas são, em geral, insuficientes para uma boa representação. Porém, com a redução da bacia de contribuição incremental, o tempo de propagação das vazões entre as seções de controle e o exutório

principal diminui, afetando o alcance da previsão, que também será menor (MATOS, PEDROLLO e CASTRO, 2014).

Modelos simples, porém com precisão suficiente, são frequentemente preferíveis para realizar previsões de curto prazo, pois o uso de dados prontamente disponíveis permite que sejam obtidas previsões imediatas por estes modelos, o que é fundamental para reduzir os danos causados pelas inundações (VEIGA, HASSAN e HE, 2015).

De acordo com O'Connell e Clarke (1981) um modelo hidrológico é considerado adaptativo quando os seus parâmetros são recalculados e novas previsões são realizadas para cada novo conjunto de dados disponíveis, ou seja, as novas estimativas dos parâmetros do modelo são realizadas utilizando os dados mais recentes de modo a refletir o estado mais atual do sistema.

Existe uma grande variedade de algoritmos aplicados para atualização dos parâmetros dos modelos hidrológicos em tempo atual (YOUNG, 1974; O'CONNELL e CLARKE, 1981).

O algoritmo dos mínimos quadrados recursivos (YOUNG, 1974) permite que as estimativas dos parâmetros do modelo sejam executadas de forma recursiva, em tempo real, proporcionando uma resposta imediata, nos parâmetros do modelo, às variações temporais das características do sistema. Além disso, este algoritmo apresenta a vantagem de ser computacionalmente eficiente. Exemplos de aplicações desta técnica em hidrologia podem ser encontrados em alguns estudos, onde ocorreram bons resultados para estas aplicações (PEDROLLO e LANNA, 1991; ROMANOWICZ, YOUNG e BEVEN, 2006; ROMANOWICZ et al., 2008).

A realização deste estudo na bacia do Rio Uruguai, no Rio Grande do Sul (RS), é motivada, principalmente, pela grande ocorrência de eventos de inundação nesta bacia, as quais causam muitos danos e prejuízos às cidades ribeirinhas que margeiam o rio Uruguai (RIGHI e ROBAINA, 2010). Contribuiu também para esta escolha, a criação do projeto “Sistema de Alerta Hidrológico na Bacia do Rio Uruguai” instituído pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) em 2014, no qual é previsto a implantação de um sistema de alerta hidrológico para atender inicialmente cinco municípios da Bacia do Rio Uruguai (Porto Lucena, Garruchos, São Borja, Itaqui e Uruguiana). Outro fator importante foi a grande disponibilidade de dados para a realização da pesquisa.

Levando-se em conta, portanto, a possível aplicação de modelos de previsão para serem utilizados junto ao sistema de alerta de inundações para a Bacia do Rio

Uruguai e a diversidade das características do comportamento hidrológico de diferentes seções do rio, vislumbrou-se a oportunidade de pesquisar a aplicação das metodologias propostas a este caso de estudo, com experimentação nas diversas seções atendidas inicialmente pelo projeto da CPRM, contemplando as diversas escalas espaciais.

1.1 Hipótese da pesquisa

Esta pesquisa foi conduzida a partir da formulação das seguintes hipóteses:

1. A aplicação da técnica recursiva dos mínimos quadrados com modelos autorregressivos pode fornecer melhorias nos resultados de previsão de níveis em tempo atual, em comparação com a utilização da técnica dos mínimos quadrados tradicional;
2. A melhoria obtida com a técnica dos mínimos quadrados recursivos é dependente de três fatores:
 - a) Do alcance temporal escolhido para a previsão.
 - b) Da proporção da área controlada.
 - c) Da área da bacia definida pela seção das previsões.

1.2 Objetivo

O objetivo desta pesquisa é investigar a aplicabilidade da técnica recursiva dos mínimos quadrados com modelos autorregressivos com variáveis exógenas para a previsão de níveis fluviais em tempo atual em função apenas de níveis fluviais, com a investigação conjunta de três aspectos: variação do alcance escolhido para a previsão, variação da proporção da área controlada em bacias a montante e variação da área da bacia da seção de previsão. As experimentações foram feitas na bacia do rio Uruguai.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistemas de previsão e alerta de cheias fluviais

As enchentes e as inundações são fenômenos de natureza hidrometeorológica que fazem parte da dinâmica natural e ocorrem frequentemente em decorrência de diversos fatores, como chuvas rápidas e fortes, chuvas intensas de longa duração, degelo nas montanhas e outros eventos climáticos, tais como furacões e tornados, sendo intensificados pelas alterações ambientais e intervenções urbanas de origem antropogênica, como a impermeabilização do solo, retificação dos cursos d'água e redução no escoamento dos canais devido a obras ou por assoreamento (CARVALHO, MACEDO e OGURA, 2007).

O conceito de enchente consiste na elevação temporária do nível d'água em um canal de drenagem devido ao aumento da vazão ou descarga de um curso d'água, que ocorre em decorrência das águas de chuva. Já as inundações ocorrem quando é ultrapassada a capacidade do canal de drenagem do rio, ou seja, do seu leito menor, que é onde o rio escoava naturalmente. Quando isso ocorre, o rio passa a escoar em seu leito maior, inundando as áreas ribeirinhas, também chamadas de planícies de inundação (CARVALHO, MACEDO e OGURA, 2007). Na Figura 1, pode ser observado um perfil esquemático que diferencia estes dois casos, que muitas vezes são utilizados como sinônimos.



Figura 1: Representação dos processos de enchente e inundação de um corpo d'água.
Fonte: CARVALHO, MACEDO e OGURA (2007).

A ocupação de áreas propensas a inundações gera sérios prejuízos à população, quando essas áreas são inundadas, entre eles: perdas de bens materiais, perda da produção agrícola, perda de propriedades/infraestrutura, perda de fontes de água potável e até a perda da própria vida (MMOM e AIFESEHI, 2013; CHAU, CASSELLS e HOLLAND, 2015; HADDAD e TEIXEIRA, 2015).

As medidas estruturais, preventivas e de defesa contra inundações, não são completamente eficazes e, muitas vezes, a realidade de limites econômicos impede a execução de ações de defesa. Além disso, existe a possibilidade de que a capacidade dos sistemas de defesa possa ser ultrapassada ou que eles possam falhar (WMO, 2011).

A confiabilidade das medidas de proteção contra inundações baseadas em obras de engenharia depende de vários fatores, entre eles: escolha de um evento de projeto de magnitude suficiente para que a probabilidade dele ser ultrapassado seja aceitavelmente baixa; escolha de uma infraestrutura física de construção de qualidade suficientemente elevada para que não falhe em uso, e manutenção adequada para os sistemas, os quais tendem a apresentar um declínio ao longo do tempo (GORDON e LITTLE, 2009).

Em vista disso, têm sido desenvolvidos e implantados diversos sistemas de alerta de inundação em todo o mundo (CARSELL, PINGEL e FORD, 2004; THIELEN et al., 2009; PEDROLLO et al., 2011). Estes sistemas têm como finalidade monitorar as condições meteorológicas e hidrológicas a fim de detectar possíveis situações de emergência, para emitir alertas com tempo de antecedência suficiente, para que a população e as autoridades competentes possam tomar providências a fim de evitar e/ou minimizar os potenciais prejuízos decorrentes de tais eventos.

Existem muitos tipos de serviços de alerta de inundações, os quais variam muito de país para país, podendo, até mesmo, haver mais de um serviço de alerta no mesmo local. Apesar da diferença de recursos disponíveis, está se tornando comum, tanto nos países desenvolvidos quanto em países em desenvolvimento, a criação de sítios acessíveis ao público onde são publicadas as informações referentes às inundações, por meio de mapas, gráficos e previsões. Alguns exemplos de sítios nacionais de serviços de alerta de inundação de alguns países são apresentados no Quadro 1 (APFM, 2013).

Quadro 1: Exemplos de sítios nacionais de serviços de alerta de inundação de alguns países.

País	Agência de operação	Agência Web	Saídas
Reino Unido	<i>Environment Agency</i>	http://www.environment-agency.gov.uk/homeandleisure/floods	- Boletim de informações; - Mapas de localização.
Austrália	<i>Bureau of Meteorology</i>	http://www.bom.gov.au/australia/flood	- Boletim de informações; - Mapas: nacional, regional e de captação.
Bangladesh	<i>Bangladesh Water Development Board</i>	http://www.ffwc.gov.bd	- Boletim de informações; - Mapas nacionais; - Gráficos e previsões do nível de água da estação.
Estados Unidos	<i>NOAA National Weather Service</i>	http://www.nws.noaa.gov	- Boletim de informações; - Mapas: nacional, regional e de captação; - Gráficos e previsões do nível de água da estação.

Fonte: Adaptado de APFM (2013).

No quadro 1 foram apresentados sistemas de previsão e alerta de inundações nacionais de quatro países representando quatro diferentes continentes terrestres. No continente africano há um número significativo de iniciativas de previsão de inundações institucionais, conforme estudo realizado por Thiemig, De Roo e Gadain (2011). Neste estudo observou-se que as informações sobre muitas destas iniciativas não são facilmente acessíveis. Além disso, há uma necessidade clara de melhorar as previsões e a sua divulgação, bem como o alerta de inundações para os usuários finais e o público.

A emissão de avisos de inundações pode ser feita apenas com base em observações (monitoramento) das condições meteorológicas, das condições do rio e, se for o caso, das condições costeiras (SENE, 2008). Porém, em grande parte dos casos, a previsão de níveis pode proporcionar tempo precioso de antecedência, além de fornecer estimativa importante da dimensão da inundação. Porém, a previsão de eventos de inundação só pode, muitas vezes, ser antecipada para um curto período de tempo, com os recursos existentes. Isto também dificulta a operação de estruturas de controle de rios e de reservatórios, como, por exemplo, a operação de sistemas hidrelétricos, além da emissão de alerta de inundações. Em vista disso, é necessário investimento de pesquisa para aumentar o tempo de antecedência, bem como a precisão dos avisos fornecidos por um sistema de alerta de inundações.

Existe uma grande variedade de propostas de metodologias para sistemas de alerta de inundações, mas apesar desta variedade de abordagens, um sistema ideal, no caso de fazer uso também da previsão, deve conter basicamente os seguintes passos, os

quais estão representados na Figura 2 (PARKER e FORDHAM, 1996; HAGGETT, 1998; WERNER et al., 2005; SENE, 2008; MELLER, 2012):

- a) **Detecção:** nesta etapa são monitoradas em tempo real as condições meteorológicas e fluviais através de sistemas de telemetria, estações climáticas, radares meteorológicos e satélites, com o objetivo de verificar a possibilidade de ocorrência de eventos hidrometeorológicos impactantes.
- b) **Previsão de inundações:** identificada a possibilidade de ocorrência de um evento de inundação importante, são realizadas previsões hidrológicas para determinar eventuais superações de vazões ou de níveis de alerta em pontos específicos na bacia, para um determinado alcance. Os métodos utilizados para a execução de previsões podem variar em complexidade técnica, desde modelos de regressão até sofisticados modelos matemáticos baseados, inclusive, em previsão de chuva.
- c) **Disseminação:** a partir das informações obtidas nas fases de detecção e previsão de inundações são adotados procedimentos e técnicas para a emissão de alerta, principalmente, ao público, a autoridades locais, e aos serviços de emergência.
- d) **Resposta:** esta fase engloba as medidas imediatamente adotadas pelas autoridades competentes no processo de alerta de inundações para minimizar os impactos causados pelas inundações, tais como evacuação da população, trabalhos de emergência, resgate e implantação de barreiras temporárias.
- e) **Revisão:** é realizada uma avaliação periódica do desempenho de todos os componentes do sistema, com o objetivo de identificar possíveis melhorias a fim de garantir o aperfeiçoamento contínuo e a efetividade de todas as operações do sistema.

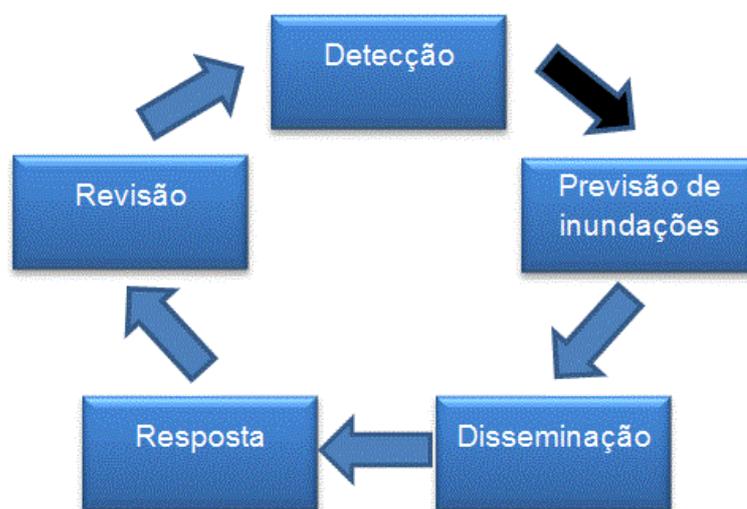


Figura 2: Componentes básicos de um sistema de alerta de inundações.

Fonte: Autor.

Um sistema de alerta de cheias pode ainda contar com uma etapa posterior, que consiste na geração de mapas de inundação. Os mapas de inundação permitem estabelecer a área que será inundada para uma dada cota prevista do rio e o padrão de ocupação do solo, possibilitando estabelecer um plano de evacuação eficiente e antecipar a ação do Conselho Municipal da Defesa Civil na remoção e na realocação da população atingida (ECKHARDT, 2008).

Existem vários métodos empregados para delimitar as áreas mais suscetíveis às inundações, e vários destes utilizam dados de sensoriamento remoto para a elaboração de mapas de inundação, onde se observa a utilização de imagens orbitais, modelos digitais de elevação (MDEs), além de dados hidrológicos e informações físicas da bacia, como hidrografia, declividades, solos e vegetação nativa (OLIVEIRA, GUASSELLI e SALDANHA, 2012).

No estudo realizado por Eckhardt (2008) foi desenvolvido um modelo cartográfico para proceder à previsão e à simulação da área urbana inundável da cidade de Lajeado, decorrente das enchentes do Rio Taquari. Foi desenvolvido um modelo matemático de previsão das cotas de inundação para a cidade de Lajeado a partir da correlação existente entre o nível da cota de inundação na cidade de Encantado, localizada a montante. Para isso foi utilizado o software LabFit (versão 7.2.15), a fim de encontrar o melhor ajuste da curva matemática da série histórica de inundações. Assim, a cada leitura das cotas máximas de cheias a montante (Encantado), o modelo estima um valor correspondente de cota máxima de inundação para jusante (Lajeado). Posteriormente, foi desenvolvido o modelo cartográfico de mapeamento das áreas sujeitas às inundações na área de estudo, utilizando dados de sensoriamento remoto, modelos digitais de elevação, dados de DGPS (*Differential Global Positioning System*) e sistemas de informações geográficas, com as respectivas características de uso e cobertura do solo, nas áreas sujeitas às inundações frequentes. Por fim, foi gerada uma carta de inundação da cidade de Lajeado, sintetizando a simulação das áreas sujeitas às inundações. Os resultados obtidos neste trabalho contribuíram, diretamente, no aperfeiçoamento do sistema de previsão e alerta de enchente (SPAEE) implantado na região do Vale do Taquari, permitindo estabelecer um plano de evacuação eficiente e antecipar a ação do Conselho Municipal da Defesa Civil na remoção e na realocação da população atingida.

Oliveira, Guasselli e Saldanha (2012) geraram modelos para a previsão e a espacialização das áreas inundáveis no município de Montenegro (RS) a partir de dados

hidrológicos, topográficos e de sensoriamento remoto, e da aplicação de ferramentas de geoprocessamento. Primeiramente, foi criado um modelo de previsão de inundações baseado na relação cota-cota de duas estações fluviométricas, obtendo-se a previsão do nível do rio a jusante (estação de Passo Montenegro), com base no nível medido (pico da inundação) a montante, na estação Barca do Caí. Posteriormente, foi criado o modelo de espacialização das áreas de inundação por cota, utilizando modelos digitais de elevação (MDE). Foi gerado um mapa da área inundável por cota, um mapa com a espacialização das áreas inundáveis por tempo de retorno (TR), um mapa de uso e ocupação do solo das áreas atingidas por inundações e um mapa do tempo sujeito à inundação, das áreas atingidas pelo evento de inundação ocorrido entre 22 e 29 de setembro de 2007, para a cidade de Montenegro. Considerando-se os resultados obtidos e a existência de um projeto de instalação de estações automáticas (com leituras de hora em hora), foi enfatizada, neste estudo, a importância da implantação de um sistema integrado de previsão e alerta de inundações para o município de Montenegro, assim que essas estações se encontrarem em pleno funcionamento, a fim de reduzir significativamente os prejuízos decorrentes das inundações, beneficiando os milhares de moradores que vêm sendo afetados pelas inundações.

Estudos de espacialização de áreas inundáveis para alguns municípios pertencentes à bacia do Rio Uruguai foram desenvolvidos ao longo dos anos e, a seguir, são descritos brevemente alguns deles.

Tucci e Lopes (1985) realizaram o zoneamento das áreas de inundação de seis cidades localizadas às margens do rio Uruguai. Foram desenvolvidos mapas de inundação das cidades de Uruguaiana, Itaqui, São Borja, Porto Lucena e Marcelino Ramos, onde foram identificados quatro tipos diferentes de áreas (faixas), classificadas de acordo com seus critérios de ocupação. A identificação de diferentes tipos de áreas de risco e de seus critérios de ocupação foi estabelecida com base em curvas de probabilidade (ou tempo de retorno) versus cotas e, com base em mapas topográficos, para todas as cidades ao longo do rio Uruguai. Uma das intenções deste estudo foi apresentar os resultados e recomendações propostas junto às comunidades e Prefeituras a fim de que estas fossem implementadas nos seus respectivos Planos Diretores Urbanos.

Righi (2013) realizou um zoneamento do risco de inundação para os municípios de Porto Lucena e São Borja, localizados na bacia do rio Uruguai. As áreas suscetíveis à inundação foram identificadas por meio de análises das características geomorfológicas

e, juntamente com o inventário da ocorrência de eventos, permitiram determinar as áreas de perigo de inundação para cada município. A classificação dos graus de perigo foi realizada com base no tempo de retorno das inundações, quantidade de eventos registrados e trabalhos de campo. Como produto foram gerados os seguintes mapas, para ambos os municípios estudados: mapa de suscetibilidade e perigo de inundações em relação à área urbana; mapa das classes de perigo; mapa de vulnerabilidade e mapa de risco. O zoneamento de risco realizado contribuiu para que possam ser estabelecidas normas de caráter preventivo, determinar prioridades quanto às medidas corretivas dos danos, estabelecer planos de proteção civil e implementar sistemas de vigilância dos fenômenos para alerta às populações.

2.2 Alguns Sistemas de Alerta de inundações no Brasil

No Brasil, estão em operação sistemas de previsão e alerta de inundações para diversos municípios, localizados nas diferentes regiões do país. Cada um destes sistemas apresenta suas características próprias e é operado por diferentes órgãos ligados aos recursos hídricos. Alguns sistemas apenas realizam o monitoramento dos rios, enquanto que outros realizam também previsões hidrológicas por meio de modelos matemáticos.

O Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo (SAISP) é um sistema de monitoramento hidrológico em tempo real (radar meteorológico e rede telemétrica), operado pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH), que gera boletins a cada cinco minutos sobre as chuvas e suas consequências na Região Metropolitana de São Paulo. O monitoramento hidrológico do SAISP é realizado pela Rede Telemétrica de Hidrologia do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) e pelo Radar Meteorológico de São Paulo. Os dados monitorados são processados com uso de modelos de previsão hidrológica e meteorológica, os quais produzem alerta em condições críticas. Os principais produtos do SAISP são: mapas de chuva observada na área do Radar de Ponte Nova; leituras de postos das redes telemétricas do Alto Tietê e de Cubatão; mapas com previsões de inundações na cidade de São Paulo (PISANI, 2003; FCTH, 2016).

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) possui o Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE), o qual realiza o monitoramento e previsões hidrológicas para algumas bacias hidrográficas localizadas no território brasileiro. O

SACE (CPRM, 2016a) é um sistema computacional capaz de armazenar, analisar e divulgar os dados das estações automáticas coletados por diversos equipamentos hidrometeorológicos. Além disso, este sistema permite o armazenamento de equações de previsão hidrológica de baixa complexidade. Os dados monitorados são disponibilizados no *website* da CPRM por meio de tabelas, gráficos e boletins publicados na página.

Os Sistemas de Alerta Hidrológico em operação (Figura 3), que emitem boletins com previsões hidrológicas, são (CPRM, 2016b): Bacia do Rio Amazonas, Bacia do Rio Paraguai, Bacia do Rio Doce, Bacia do Rio Caí, Bacia do Rio Muriaé, Bacia do Rio Acre, Bacia do Rio Madeira, Bacia do Rio Parnaíba, Bacia do Rio Taquari, Bacia do Rio Mundaú e Bacia do Rio Branco. Encontra-se em fase de avaliação técnica a implantação de três novos sistemas: Bacia do Rio Uruguai, Bacia do Rio das Velhas e Bacia do Rio Xingu.



Figura 3: Localização dos Sistemas de Alertas Hidrológicos (SACE) operados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) em operação no território Nacional.

Fonte: (CPRM, 2016b).

O sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Caí (CPRM, 2016c), localizada integralmente no Estado do Rio Grande do Sul, encontra-se em operação desde o ano de 2010. Sua implantação constituiu-se das seguintes etapas (PEDROLLO et al., 2011): definição dos pontos de monitoramento; aquisição de equipamentos telemétricos; instalação das estações e da central de aquisição de dados; elaboração do

modelo matemático para a previsão de níveis e dos recursos para o acompanhamento da situação e dos resultados do modelo.

A rede de monitoramento é constituída de sete pontos com estações telemétricas para aquisição e transmissão de dados em tempo real de chuvas e níveis dos rios. Os dados são transmitidos a cada 15 minutos a um centro de previsão de cheias, onde são realizadas as seguintes atividades: recepção e processamento de informações; análise dos dados; previsão de níveis com modelo matemático baseado em redes neurais artificiais; avaliação dos resultados; divulgação e emissão, se necessário, de alerta hidrológico à Defesa Civil (PEDROLLO e PEDROLLO, 2013).

A Figura 4 mostra um exemplo da tela inicial do Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Caí, a qual é exibida quando o usuário acessa o *website*, <http://sace-cai.cprm.gov.br/sace-cai/>. Na tela é exibido um mapa do rio e seus afluentes, com a marcação dos pontos de monitoramento, indicados por cores que indicam a situação atual do rio. Ao clicar em cima do ponto de monitoramento é possível visualizar opções de gráficos e boletins, e também visualizar dados gerais que representam o estado do rio.

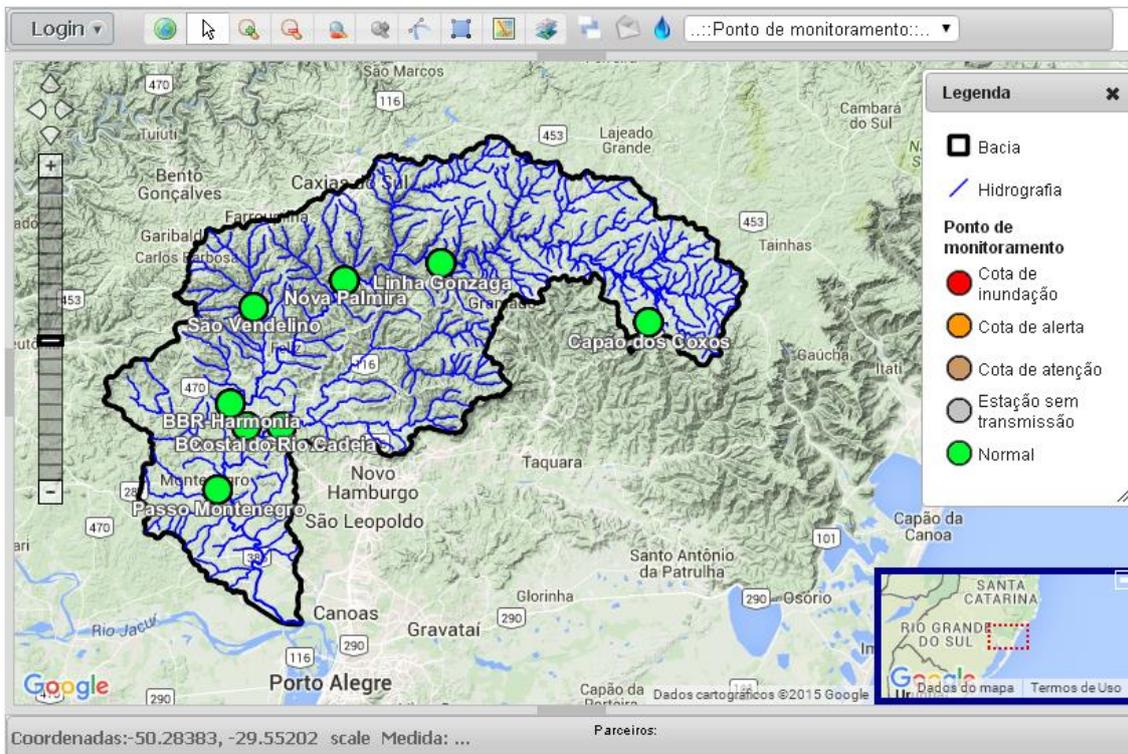


Figura 4: Exemplo da janela principal do SACE mostrando o mapa da Bacia do Rio Caí com os respectivos pontos de monitoramento indicando que as cotas encontram-se em nível normal.

Fonte: CPRM, 2016c.

O alcance possível das previsões nessa bacia, com precisão suficiente, é relativamente pequeno. Isto ocorre devido à sua pequena área de drenagem (apenas 4.938 km²), apresentando respostas muito rápidas aos eventos de chuva (PEDROLLO e PEDROLLO, 2013).

A necessidade de manutenção constante, requerendo inclusive eventuais substituições de equipamentos telemétricos, são os principais problemas enfrentados no sistema de alerta (PEDROLLO et al., 2011).

2.3 Controle de Montante e Efeitos de escala

As bacias hidrográficas apresentam uma enorme heterogeneidade e complexidade em seus processos de geração de escoamento. Em vista disso, diversos estudos de campo em hidrologia buscam caracterizar e catalogar essas diferenças, as quais variam de acordo com os regimes hidroclimáticos e as escalas das bacias hidrográficas. A heterogeneidade e a complexidade dos processos se devem aos seguintes fatores, onipresentes em todas as escalas: 1) geometria do poro nas fraturas de menor escala, redes de macroporos, camadas do solo e outros arranjos de percolação preferenciais nos solos; 2) heterogeneidade da vegetação, distribuição de raízes no subsolo e complexo comportamento de absorção de água pela raiz; 3) heterogeneidade geológica incluindo topografia do substrato rochoso e sua composição; 4) padrões espaciais complexos de umidade do solo e fluxo de águas subterrâneas; e 5) heterogeneidade nas entradas de precipitação (MCDONELL et al., 2007).

Os processos hidrológicos superficiais são frequentemente analisados na escala de bacia hidrográfica, que também é a escala em que ocorre a gestão dos recursos hídricos. Porém, as bacias hidrográficas maiores podem ser subdivididas em um conjunto de bacias hidrográficas menores, denominadas de sub-bacias, as quais são interligadas e restringem o balanço hídrico superficial (GENTINE et al., 2012).

Todo o volume gerado nas sub-bacias converge para o rio principal, onde escoam até chegar ao exutório da bacia hidrográfica. Para um modelo matemático de previsão que contemple propagação de vazões, é imprescindível que haja o monitoramento no exutório das sub-bacias a fim de quantificar as afluências geradas nestas seções fluviais, que denominamos de seções de controle. Dessa forma, a área a montante desta seção fluvial monitorada estabelece uma sub-bacia controlada, e a área a jusante desta, localizada entre esta seção e o exutório da bacia principal, estabelece uma região não

controlada. Esta região não controlada constitui, portanto, uma bacia de contribuição incremental às vazões propagadas a partir da referida seção de controle (MATOS, PEDROLLO e CASTRO, 2014).

É importante reduzir a área da bacia de contribuição incremental, pois as vazões resultantes desta área são de determinação incerta, visto que dependem principalmente das relações entre chuva e vazão. Porém, com a redução da bacia de contribuição incremental, o tempo de propagação das vazões entre as seções de controle e o exutório principal diminui, afetando o horizonte de previsão que também será menor (MATOS, PEDROLLO e CASTRO, 2014).

Andreolli, Collischonn e Tucci (2006), avaliaram o desempenho de uma rede de postos de chuva com base na previsão em tempo real, utilizando um modelo hidrológico distribuído por células, desenvolvido para aplicações em grandes bacias (COLLISCHONN, 2001). A análise foi feita na Bacia do rio Uruguai até o reservatório de Machadinho, com área de drenagem de 32.000 km². Os resultados apresentados mostraram que uma rede densa bem distribuída na bacia, associada à telemetria, para previsão de vazão em tempo real, pode trazer benefícios significativos.

Oliveira et al. (2013) avaliaram o desempenho de simulações hidrológicas com redes neurais artificiais (RNAs), do tipo vazão-vazão, em 15 bacias hidrográficas embutidas, com áreas de drenagem variando entre 967 e 71.401 km², na Região Hidrográfica do Guaíba (RS). O modelo apresentou bom desempenho, sendo possível obter coeficiente de NS de 0,7 com pouco mais de 20% de proporção de área controlada. Para obter um coeficiente de NS superior a 0,8 foi necessário mais de 35% de área controlada e para atingir um coeficiente de NS superior a 0,9 foi necessário mais de 65% de área controlada. Neste estudo identificou-se uma forte relação entre o desempenho das simulações e as dimensões das bacias de estudo, sendo observado um crescimento potencial no desempenho das simulações hidrológicas com redes neurais artificiais à medida que aumenta a proporção da área controlada.

Matos, Pedrollo e Castro (2014) avaliaram o efeito do controle de montante em sub-bacias embutidas na previsão hidrológica de curto prazo com redes neurais artificiais (RNAs) de múltiplas camadas, na Bacia de Ponte Mística (RS). As entradas nos modelos foram os dados de precipitação média e as vazões médias diárias da bacia de Ponte Mística e de suas sub-bacias. A pesquisa foi aplicada em seis bacias hidrográficas embutidas, com áreas de drenagem entre 19,5 e 9.450 km². Neste estudo, os resultados obtidos mostraram que, em relação à variação da área controlada, a

eficiência dos modelos tende a melhorar conforme aumenta a proporção da área controlada. Foi obtido coeficiente de NS de 0,97 para 58,6% de área controlada, de 0,95 para 22,9% de área controlada e de 0,94 para 6,5% de área controlada.

Veiga, Hassan e He (2015) avaliaram o desempenho de três modelos diferentes de previsão de vazão de curto prazo no rio Bow na cidade de Calgary, Alberta, Canadá. Os três tipos de abordagem de modelagem utilizada foram: o modelo “base diferença” (MBD), proposto naquele estudo; o modelo de regressão linear (MRL), e o modelo de regressão linear múltipla (RLM). Como entradas dos modelos, foram utilizadas as vazões antecedentes de duas estações hidrométricas (isto é, Banff e Seebe) localizadas a montante da estação de interesse (ou seja, Calgary), e os dados da própria estação. Foram testadas várias alternativas de combinações de dados de entrada para determinar quais as estações hidrométricas proporcionam previsões mais precisas. As análises revelaram que o uso do modelo de regressão linear múltipla (RLM) demonstrou fortes relações, ou seja, tendo R^2 (coeficiente de determinação) e RMSE (raiz quadrada do erro quadrático médio) de aproximadamente 0,93 e 14 m³/s, respectivamente, apresentando desempenho superior ao dos outros modelos. Apesar de todos os modelos testados terem produzido resultados aceitáveis, foi verificado que os resultados mais promissores foram obtidos utilizando modelos de regressão que incluíram, além dos dados de vazão antecedente na própria estação de medição (Calgary), os dados de uma estação localizada a montante desta. Ou seja, a inclusão dos dados de mais uma estação de medição, localizada a montante do local de previsão, pode contribuir para aumentar a capacidade do modelo para explicar a variação das vazões no local de previsão, melhorando o desempenho do modelo.

2.4 Modelos para previsões hidrológicas

Existem muitas abordagens que podem ser usadas nas previsões hidrológicas, e a escolha da abordagem depende de muitos fatores, tais como: tempo e orçamento disponível, política local, software de calibração do modelo disponível, capacidade de operação em tempo real, disponibilidade de dados para a calibração e para a operação do modelo (SENE, 2008). Mas o principal fator que afeta a escolha de um método ou de um modelo de previsão de inundações é a compreensão e a definição correta dos fins para os quais o método ou o modelo será utilizado e, uma vez que o escopo para o qual o modelo está sendo construído é bem definido e bem entendido, o fator que condiciona

a seleção do tipo de abordagem de modelagem é a disponibilidade de dados (WMO, 2011).

Os modelos matemáticos empregados para previsões hidrológicas, segundo diversos autores (CHAU, WU e LI, 2005; TUCCI, 2005), podem ser classificados em duas categorias principais: modelos empíricos ou modelos conceituais. Um modelo é considerado conceitual (ou de base física) (NASH e SUTCLIFFE, 1970) quando suas funções são baseadas nos processos físicos envolvidos nos sistemas hidrológicos que este representa. Já os modelos empíricos (BOX e HUNTER, 1965), conhecidos também como do tipo “caixa preta” (isto é, equações de regressão, por exemplo), utilizam dados observados para ajustar os parâmetros das suas funções, definidas através de análises estatísticas ou matemáticas, em princípio sem considerar os conceitos físicos dos processos hidrológicos.

Os modelos hidrológicos podem também ser classificados em dois outros grupos: determinísticos e estocásticos (SALAS et al., 1980; BOX, JENKINS e REINSEL, 2008).

Os modelos estocásticos são utilizados para descrever séries temporais, ou seja, fenômenos estatísticos que evoluem no tempo, de acordo com leis probabilísticas. Nestes modelos obtém-se resultados diferentes para uma mesma entrada, devido aos fatores aleatórios envolvidos nos fenômenos modelados. Entre os modelos mais utilizados como estocásticos, podem-se citar os modelos autorregressivos e os modelos baseados na cadeia de Markov (SALAS et al., 1980). Já os modelos determinísticos são aqueles em que resulta um valor exato da estimativa do comportamento futuro do fenômeno, ou seja, para a mesma entrada do modelo, é obtida sempre a mesma resposta (saída), sem levar em consideração os fatores desconhecidos envolvidos no processo (BOX, JENKINS e REINSEL, 2008).

Uma desvantagem do uso de modelos de base física, segundo Pedrollo e Pedrollo (2013), é a necessidade de grandes investimentos, nem sempre possíveis, em monitoramento de dados, como precipitação e umidade do solo, com detalhamento temporal adequado e representação espacial das características físicas da bacia. Entretanto, este tipo de modelo apresenta a vantagem de garantir certa confiabilidade, mesmo em situações ainda não observadas experimentalmente, devido ao fato de utilizar conhecimentos físicos dos sistemas em sua formulação. Além disso, permitem transferência de parâmetros para bacias não monitoradas. Por outro lado, segundo Pedrollo (2000), os modelos empíricos são mais facilmente dotados de recursos

automáticos para a atualização contínua dos parâmetros, para acompanhamento de evoluções dos processos naturais ou modificações antrópicas que afetem o comportamento do sistema hidrológico e, em muitos casos, oferecem resultados mais precisos, principalmente em condições frequentemente observadas, usadas na calibração do modelo.

2.5 Modelos com componentes autorregressivas

2.5.1 Apresentação e descrição

Segundo Salas et al. (1980), os modelos autorregressivos (AR) tem sido atrativos para aplicações em hidrologia, devido à característica de persistência que as variáveis apresentam, ou seja, o valor de uma variável no tempo presente depende dos valores desta mesma variável em tempos anteriores, e, devido à simplicidade de tais modelos. Desse modo, estes modelos podem ser utilizados para previsões das vazões ou dos níveis de um rio, quando os dados disponíveis apresentarem forte dependência temporal, o que ocorre, para estas variáveis, devido ao efeito do armazenamento.

A equação geral para um modelo AR de ordem p - AR(p) - pode ser representada pela Equação 1 (SALAS et al., 1980).

$$\hat{y}_t = \mu + a_1(y_{t-1} - \mu) + \dots + a_p(y_{t-p} - \mu) + \varepsilon_t \quad (1)$$

Onde y_t representa uma série temporal dependente com média μ ; ε_t uma série temporal independente (independente de y_t) com média zero e variância constante; a_1, \dots, a_p são um número finito p de parâmetros autorregressivos e \hat{y}_t os valores calculados ou estimados.

Os modelos autorregressivos (BOX, JENKINS e REINSEL, 2008) permitem que valores futuros de uma série sejam previstos com base apenas em seus valores presentes e passados, devido à correlação temporal existente entre as séries temporais.

Uma modificação nos modelos autorregressivos (AR) pode ser realizada, com o objetivo de aperfeiçoar os resultados, introduzindo-se uma ou mais variáveis descritivas adicionais, chamadas variáveis exógenas. Com esse acréscimo, esses modelos passam a se chamar modelos autorregressivos com variável exógena (ARX), constituindo-se em uma extensão dos modelos AR, podendo ser representados, na forma utilizada para previsão, para o caso de uma variável exógena, pela equação 2.

$$\hat{y}_{t+h} = \mu_y + \sum_{j=0}^p a_j (y_{t-j} - \mu_y) + \sum_{j=0}^m b_j (x_{t-j} - \mu_x) + \varepsilon_{t+h} \quad (2)$$

Onde o índice t é o tempo atual; h é o alcance da previsão; \hat{y}_t é a variável prevista, com média μ_y ; x é a variável exógena, com média μ_x ; ε_{t+h} representa os erros de previsão; a_j e b_j são os parâmetros das entradas do modelo autorregressivo, com antecedência j ; p e m são as ordens dos termos autorregressivos e exógenos.

Estes modelos utilizam, portanto, dados anteriores e atuais da própria variável, e de outras (variáveis exógenas), as quais afetam a variável a ser prevista, para executar as previsões para um alcance determinado. Por exemplo, na previsão de níveis fluviais em uma seção fluvial, podem ser usados níveis anteriores e atuais da própria seção e níveis anteriores e atuais de uma seção a montante desta.

2.6 Método dos mínimos quadrados recursivos

O ajuste dos parâmetros, para efeito desta pesquisa, parte da abordagem tradicional do método dos mínimos quadrados, para ajuste de um modelo para a variável y em função de outras n variáveis independentes x_j ($j = 1, 2, \dots, n$), o qual pode ser representado por uma relação linear da seguinte forma:

$$y = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n + \varepsilon_y \quad (3)$$

Onde a_j ($j = 1, 2, \dots, n$) são n parâmetros desconhecidos, mas constantes, os quais caracterizam a relação e devem ser estimados de alguma maneira. Os valores das variáveis x_j são conhecidos, mas y , por outro lado, pode ser observada somente na presença do ruído ε_y .

A sequência de erros ε_{yi} , $i = 1, 2, \dots, k$, deve ter, para modelos tradicionais, uma vez adequadamente ajustados, as seguintes propriedades estatísticas (YOUNG, 1974):

(i) Constituir uma sequência de variáveis aleatórias com média zero;

$$i. e., E\{\varepsilon_{yi}\} = 0$$

(ii) Os ε_{yi} são serialmente não correlacionados e têm variância constante σ^2 ;

$$i. e., E\{\varepsilon_{yi} \cdot \varepsilon_{yj}\} = \sigma^2 \delta_{ij}$$

Onde $\delta_{ij} \begin{cases} \delta_{ij} = 1; i = j \\ \delta_{ij} = 0; i \neq j \end{cases}$ é a função delta de Kronecker.

(iii) Os ε_{yi} são independentes das variáveis x_{ji} .

O problema se resume em estimar os valores dos parâmetros desconhecidos a_j dada a informação $y_i, x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ni}$ onde $i = 1, 2, \dots, k$.

Reescrevendo a equação 3 em forma de vetor-matriz, obtém-se a equação 4 (YOUNG, 1974):

$$y_i = x^T a + \varepsilon_y \quad (4)$$

Onde,

$$x^T = [x_1 x_2 \dots x_n]; a = [a_1 a_2 \dots a_n]^T \quad (5)$$

A técnica dos mínimos quadrados consiste na resolução das “equações normais” da análise de regressão linear, as quais resultam da minimização da função da soma dos quadrados dos erros, pela derivada desta função em relação aos parâmetros do modelo linear. As equações normais podem ser representadas, para k observações, segundo Young (1974), por:

$$\hat{a}_k = P_k b_k \quad (6)$$

Onde:

$$P_k = [\sum_{i=1}^k x_i x_i^T]^{-1}; b_k = \sum_{i=1}^k x_i y_i \quad (7)$$

Pode-se utilizar uma forma recursiva para a solução dada em 6, observando as definições dadas em 7, onde P_k e b_k podem ser relacionadas com seus valores anteriores P_{k-1} e b_{k-1} , respectivamente, pelas seguintes equações (YOUNG, 1974):

$$P_k^{-1} = P_{k-1}^{-1} + x_k x_k^T \quad (8)$$

$$b_k = b_{k-1} + x_k y_k \quad (9)$$

Por uma manipulação de matrizes, as equações 6 a 9 podem ser transformadas nas seguintes expressões recursivas para a solução de mínimos quadrados (YOUNG, 1974):

$$\hat{a}_k = \hat{a}_{k-1} - P_k \{x_k x_k^T \hat{a}_{k-1} - x_k y_k\} \quad (10)$$

$$P_k = P_{k-1} - P_{k-1} x_k [1 + x_k^T P_{k-1} x_k]^{-1} x_k^T P_{k-1} \quad (11)$$

As equações 10 e 11 constituem, portanto, uma forma recursiva para a solução de mínimos quadrados (equação 6), onde k representa a última atualização realizada e $k - 1$ a anterior.

Esse algoritmo é particularmente útil para o processamento de dados “online”, pois fornece as estimativas dos parâmetros em cada instante de amostragem, ou seja, seus valores podem ser atualizados a partir dos resultados anteriores, para cada nova observação. Além disso, o termo $[1 + x_k^T P_{k-1} x_k]$ resulta em uma quantidade escalar, o que faz com que não seja necessária a inversão de matrizes, como ocorre na técnica convencional dos mínimos quadrados.

Nesta forma, entretanto, o algoritmo é completamente determinístico, uma vez que não faz uso de pressupostos estatísticos (i, ii, iii) sobre a natureza dos erros ε_{y_i} de observação. Young (1974) considera que, para incorporar esta informação no algoritmo, as várias hipóteses utilizadas na formulação do problema de regressão linear simples devem ser satisfeitas, e desenvolve considerações, a partir disso, para a inicialização dos valores de P_0 e b_0 , pela relação existente entre a matriz de variância-covariância $P_k^* \triangleq E\{\bar{a}_k \bar{a}_k^T\}$ e a matriz P_k .

Porém, em previsões hidrológicas, é suficiente e mais conveniente, para a estimativa inicial de P_0 e de b_0 , o uso da técnica tradicional dos mínimos quadrados sobre uma parcela das séries de dados, pois inicia-se a verificação com adaptação já a partir de valores próximos aos desejados.

Uma vez que a matriz P_k é continuamente decrescente ao longo do tempo, a capacidade de correção dos parâmetros (equação 10) tende a reduzir, significando que o modelo já adquiriu todo o conhecimento do processo. Para preservar a capacidade de adaptação, pode-se usar um fator de esquecimento. Koivo e Tantt (1983) propõe um fator λ de esquecimento maior que zero e menor ou igual a um, tal que $P_k = P_{k-1}/\lambda$, o qual é aplicado a cada nova atualização.

Aplicações mais recentes do algoritmo dos mínimos quadrados recursivos (MQR) para previsões hidrológicas podem ser encontradas nos estudos realizados por Romanowicz, Young e Beven (2006) e Romanowicz et al. (2008).

Alguns estudos com aplicação da técnica dos mínimos quadrados recursivos foram realizados por pesquisadores do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e alguns deles são descritos brevemente a seguir.

Lanna e Valença (1985) utilizaram modelos do tipo ARIMAX para previsão de níveis de cheia em tempo atual na cidade de Blumenau (SC). Como dados de entrada do modelo, foram utilizados os níveis anteriores e as vazões registradas em Apiúna, um posto localizado a montante do local de previsão. Foi utilizada a técnica recursiva dos mínimos quadrados para o ajuste dos parâmetros do modelo ARIMAX, sendo seus parâmetros atualizados antes de cada previsão. As previsões foram realizadas para antecipações de 2 a 24 horas. Os resultados deste estudo demonstraram as potencialidades da utilização de modelos com estrutura matemática relativamente simples, acoplados a procedimentos de calibração mais sofisticados, para previsões hidrológicas de curto prazo. Foi apontado este método como uma alternativa a ser considerada para a execução de previsões hidrológicas no contexto de sistemas de previsão e alerta de inundações, pois podem ser obtidas previsões confiáveis contando-se com poucos dados na calibração do modelo.

Pedrollo e Lanna (1991) compararam o desempenho de dois tipos diferentes de modelos para previsão de cheias em tempo atual em sistemas fluviais com contribuições laterais relevantes. Foram utilizados modelos empíricos lineares ajustados pela técnica recursiva dos mínimos quadrados e um modelo empírico-conceitual. Para a calibração do modelo empírico-conceitual foi utilizada uma técnica de estimação conjunta, sendo que a parcela conceitual teve seus parâmetros ajustados por tentativas, enquanto que a parcela empírica teve seus parâmetros estimados pela técnica dos mínimos quadrados recursivos. Os modelos foram aplicados à bacia do Alto Iguaçu, em União da Vitória (PR)/Porto União (SC). Os resultados demonstraram que a característica mais importante para o incremento da qualidade das previsões dos modelos foi, em situação de igualdade de variáveis utilizadas, a calibração dos parâmetros em tempo atual. A utilização da técnica recursiva dos mínimos quadrados mostrou-se vantajosa tanto para o modelo empírico quanto para o modelo empírico-conceitual. Naquele estudo recomenda-se o desenvolvimento de um programa operacional para os modelos empíricos ajustados, capaz de calibrar em tempo atual seus parâmetros, com a técnica dos mínimos quadrados recursivos, para ser utilizado em situações de inundações.

2.7 Avaliação da qualidade das previsões

2.7.1 Considerações gerais

Uma vantagem dos modelos para operação em tempo atual é que as observações do rio estão geralmente disponíveis para comparar com os resultados do modelo e, se as observações são confiáveis, as previsões podem ser atualizadas a fim de levar em conta as diferenças entre os valores observados e os previstos, para reduzir as incertezas associadas com os resultados (SENE, 2008).

Uma forma de avaliar as incertezas nos resultados previstos pode ser feita pela simples análise visual dos erros de previsão, a qual fornece informações importantes sobre os resultados obtidos permitindo tomar decisões sobre os ajustes apropriados a fazer e, até mesmo, escolher o modelo mais adequado para as previsões. Apesar de ser possível realizar este tipo de avaliação, esta abordagem apresenta algumas desvantagens, como dispêndio de tempo e falta de objetividade, a qual pode gerar discordâncias entre diferentes analistas. Em virtude disso, na prática, a avaliação da qualidade das previsões tem sido realizada automaticamente, por meio de testes estatísticos com coeficientes numéricos, onde procura-se verificar a precisão dos resultados obtidos, quando confrontados com as observações correspondentes de uma ou mais séries amostrais (PEDROLLO, 2000).

2.7.2 Coeficientes de avaliação da qualidade dos modelos

Para avaliar a qualidade das previsões em hidrologia utilizam-se medidas de desempenho pelas quais avalia-se a qualidade das previsões com base no erro entre os valores previstos e os observados. Para isso, pode ser utilizado o coeficiente de Nash Sutcliffe (NS) (NASH e SUTCLIFFE, 1970):

$$NS = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (y_t - \hat{y}_t)^2}{\sum_{t=1}^N (y_t - \bar{y})^2} \quad (12)$$

Onde:

y_t = valor observado, no intervalo de tempo t , da variável a ser prevista;

\hat{y}_t = valor previsto de y para o intervalo de tempo t ;

\bar{y} = valor médio dos valores de y observados;

N = número de observações.

O coeficiente NS, expresso pela equação 12, é frequentemente utilizado para avaliar a capacidade preditiva de modelos hidrológicos e corresponde à proporção da variância total que é explicada pelo modelo. Quanto mais próximo da unidade for o valor obtido, melhores serão os resultados das previsões, indicando um modelo com alta proporção da variância explicada, embora não necessariamente com alta precisão.

2.7.3 Medidas de avaliação por meio de Quantis

De acordo com Pedrollo (2005), pode ser mais significativo o uso de quantis associados a frequências escolhidas para avaliar a qualidade dos resultados de um modelo de previsão ou de simulação, ao invés das estatísticas tradicionais, baseadas na média e na variação em torno da média dos erros. A experiência mostra que, frequentemente, ocorrem erros grandes em uma ou mais previsões de níveis, e justamente durante eventos extremos, mesmo quando as estatísticas médias, ou mesmo o coeficiente de NS, são muito favoráveis. Para análise de inundações, as quais não ultrapassam mais do que algumas semanas por ano, os erros das previsões de níveis fluviais estão, geralmente, associados a frequências de não excedência iguais ou acima de 0,90, como por exemplo, E0,99, E0,95, e E0,90, os quais representam, respectivamente, os valores que não foram excedidos pelos erros com frequências de 0,99, 0,95 e 0,90, com a amostragem utilizada (Figura 5).

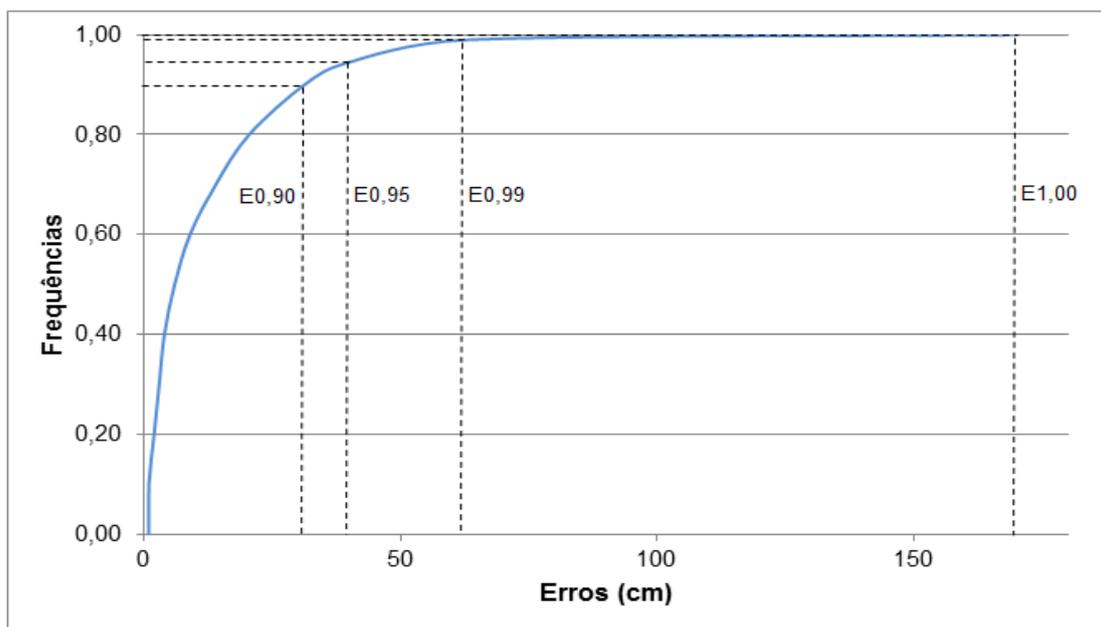


Figura 5: Erros e frequências de não excedência.
Fonte: Adaptado de Pedrollo (2005).

Por exemplo, o $E_{0,95}$ representa o erro que não é ultrapassado com proporção de 0,95 dos registros amostrais. Ou, por outro lado, o erro que foi igualado ou ultrapassado com proporção de 0,05 (ou 5% dos registros amostrais). Este índice é útil para explicar a importância do modelo para a previsão, pois indica qual será a precisão esperada com o modelo nas previsões. Neste estudo será utilizado também este índice, para os erros absolutos ($EA(0,95)$).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A pesquisa foi aplicada na região da bacia hidrográfica do Rio Uruguai, localizada aproximadamente entre os paralelos $26^{\circ}12'$ e $31^{\circ}30'$ de latitude Sul e os meridianos $49^{\circ}15'$ e $57^{\circ}12'$ de longitude a Oeste de Greenwich. Foram escolhidas sete sub-bacias hidrográficas, todas embutidas, conforme é apresentado na Figura 6, sendo a maior delas, a bacia de Uruguiana, a qual apresenta uma área de drenagem acumulada de 190.000 km², e a menor, a bacia de Iraí, que apresenta uma área de drenagem de 61.900 km².

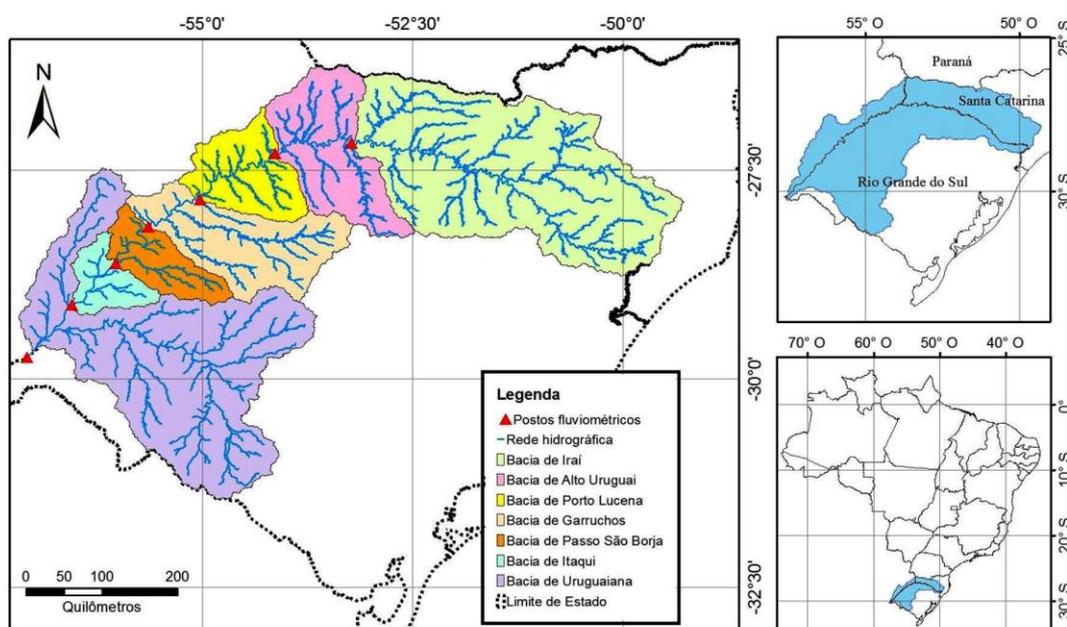


Figura 6: Bacia hidrográfica do rio Uruguai e as sub-bacias embutidas.

Fonte: Autor.

A bacia hidrográfica do rio Uruguai conta com 82 estações fluviométricas e 152 pluviométricas convencionais em operação, pertencentes à Rede Hidrometeorológica Nacional, sob responsabilidade da Agência Nacional das Águas (ANA) e operada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Superintendência Regional de Porto Alegre (CPRM-SUREG/PA).

Para realizar as previsões de níveis na bacia hidrográfica do rio Uruguai foram escolhidas sete estações fluviométricas pertencentes à ANA com série longa de dados disponível. A escolha das estações para previsão foi realizada levando-se em conta as estações escolhidas no projeto “Sistema de Alerta Hidrológico na Bacia do Rio

Uruguai”, instituído em 2014 pela CPRM. Este projeto prevê a implantação de um sistema de alerta hidrológico para atender, inicialmente, cinco municípios: Porto Lucena, Garruchos, São Borja, Itaqui e Uruguaiana, correspondendo a uma população de aproximadamente 240.000 habitantes.

No projeto mencionado anteriormente, foi proposta a instalação de novas estações para o Sistema de Alerta Hidrológico, com o intuito de estabelecer uma rede de estações telemétricas, com sensores de chuva e nível, sendo que, entre as estações propostas, estão incluídas as estações escolhidas para previsão nesse estudo. Ou seja, as estações fluviométricas utilizadas nesse estudo, conforme apresentado em projeto pela CPRM, irão tornar-se telemétricas, facilitando a aquisição de dados para as previsões.

A bacia do rio Uruguai está situada nos territórios do Brasil, do Uruguai e da Argentina, possuindo uma área total de aproximadamente 385.000 km², sendo que apenas 45% desta área, ou seja, 174.412 km² situam-se em território brasileiro (MMA, 2006). A porção da bacia situada em território nacional, que conforme o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) corresponde à região hidrográfica do rio Uruguai, é dividida entre dois estados, sendo que 73% de sua área situam-se no Rio Grande do Sul e 27% em Santa Catarina.

O rio Uruguai se origina da confluência dos rios Pelotas e Canoas, donde percorre, a partir deste ponto, uma distância de 2.200 km até sua foz, no estuário do rio da Prata. No primeiro trecho, o rio Uruguai corre na direção leste-oeste dividindo os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, em seu trecho nacional. Após a confluência com o rio Peperi-Guaçu, o rio muda sua direção para sudoeste e passa a delimitar a fronteira entre o Brasil e a Argentina, e após a afluência do rio Quaraí, deixa o território nacional, e passa a definir a fronteira entre o Uruguai e a Argentina, até a sua foz (MMA, 2006).

Os principais afluentes do rio Uruguai, no primeiro trecho, onde o rio divide os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, são os rios do Peixe, Irani, Chapecó e Antas (margem direita ou catarinense) e Apuaê (ou Ligeiro), Inhandava (ou Forquilha), Passo Fundo, da Várzea e Guarita (margem esquerda ou gaúcha). No trecho que delimita a fronteira Brasil e Argentina, os principais afluentes pela margem esquerda (território brasileiro) são os rios Turvo, Santa Rosa, Santo Cristo, Ijuí, Icamaquã, Piratini, Butuí e Ibicuí (MMA, 2006).

Segundo a Lei Estadual n°10.350 de 30 de dezembro de 1994, que instituiu o Sistema Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Sul, foi

Quadro 2: Postos fluviométricos escolhidos neste estudo e sua respectiva localização nas bacias da Região Hidrográfica do Uruguai.

Bacia Hidrográfica	Posto Fluviométrico	Municípios
Turvo – Santa Rosa – Santo Cristo (U030)	Porto Lucena	Porto Lucena
	Alto Uruguai	Três Passos
Piratinim (U040)	Passo São Borja	São Borja
	Garruchos	São Borja
Ibicuí (U050)	Itaqui	Itaqui
	Uruguaiana	Uruguaiana
Várzea (U100)	Iraí	Iraí

Fonte: Adaptado de Pereira (2012).

A região hidrográfica do Uruguai está localizada predominantemente na Bacia Sedimentar do Paraná, uma vasta região sedimentar da América do Sul. Na sua porção sul/sudeste apresenta rochas mais antigas, pertencentes ao Escudo Sul-Rio-Grandense (MMA, 2006).

O quadro 3 apresenta a geomorfologia característica das bacias da Região Hidrográfica do Uruguai onde estão inseridos os postos utilizados neste estudo.

Quadro 3: Geomorfologia da Região Hidrográfica do Uruguai onde estão inseridos os postos utilizados neste estudo.

Geomorfologia	Bacias
Planalto de Araucárias	U100, U030, U040 e U050.
Planalto da Campanha Gaúcha	U040 e U050.
Planícies Aluviais	U050
Depressão Central Gaúcha	U050

Fonte: Adaptado de Pereira (2012).

O Rio Uruguai apresenta, após a confluência com o rio Canoas, uma declividade média de 0,9 m/km até Itá, baixando para 0,3 m/km no trecho subsequente até Porto Xavier, e, posteriormente para 0,1 m/km até Uruguaiana (PEREIRA, 2012).

A bacia do rio Uruguai apresenta, de acordo com a classificação de Köppen, dois tipos fundamentais de clima, fortemente influenciados pela morfologia, subtropical úmido com verão quente (Cfa) e subtropical úmido com verão ameno (Cfb). Em ambos a temperatura média do mês mais frio oscila entre -3° a 18°C. Nas áreas de relevo mais baixo, próximas ao rio Uruguai, onde a temperatura média do mês mais quente é superior a 22 °C ("verão quente"), o clima é classificado como Cfa e nas áreas mais altas da bacia, onde a temperatura média do mês mais quente é inferior a 22°C ("verão ameno"), o clima é Cfb (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

As normais climatológicas publicadas pelo INMET (INMET, 2016), referentes ao período de 1961-1990, correspondem aos valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas.

Em relações aos dados de precipitação acumulada mensal e anual, foram selecionadas apenas três estações localizadas na bacia do Rio Uruguai, pois as outras localidades dos postos de níveis fluviométricos utilizados neste estudo, não possuem estações do INMET.

Na figura 8 são apresentados os dados das normais climatológicas do INMET referentes à precipitação acumulada mensal para o período mais recente publicado (1961-1990), para três postos localizados na bacia do Rio Uruguai: Iraí, Itaqui e Uruguaiana.

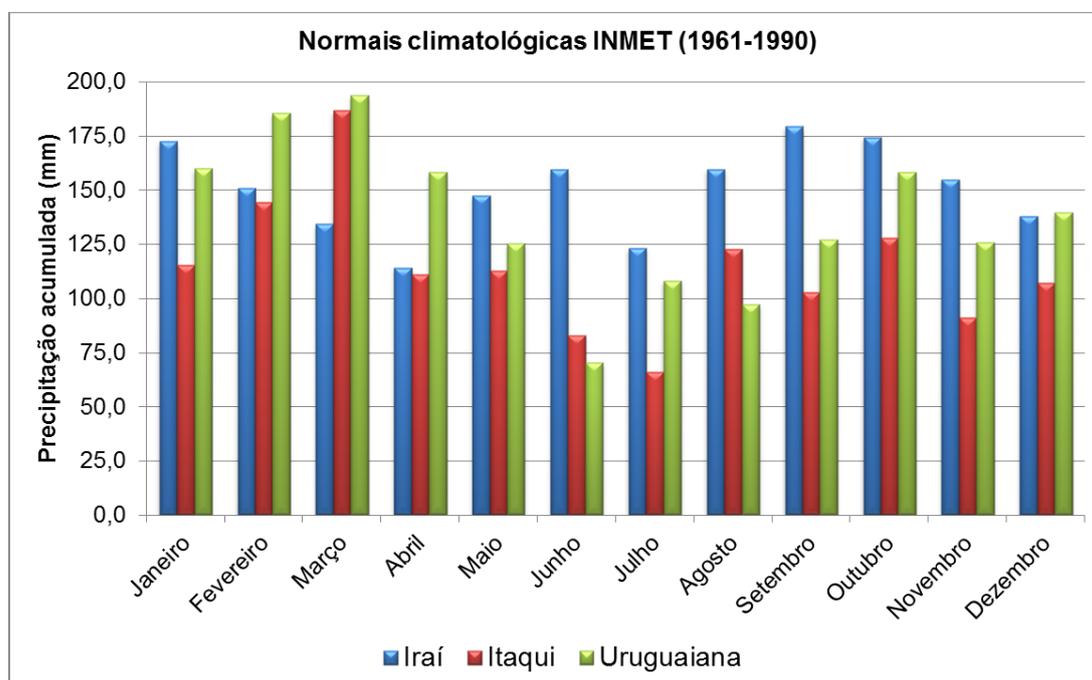


Figura 8: Gráfico das precipitações acumuladas mensais (mm) nas estações de Iraí, Itaqui e Uruguaiana registradas nas Normais Climatológicas publicadas pelo INMET, referentes ao período de 1961 a 1990.

Fonte: Autor.

A precipitação média anual registrada no período, para o posto de Iraí, localizado mais a montante na bacia, foi de 1.806,7 mm. Já para os postos localizados mais a jusante na bacia, a precipitação média anual foi de 1.369,4 mm em Itaqui e de 1.647,4 mm em Uruguaiana.

Nos postos de Itaqui e Uruguaiana, março foi o mês mais chuvoso do período, com precipitações acumuladas mensais de 186,5 mm e de 193,6 mm, respectivamente, enquanto que no posto de Iraí, o mês mais chuvoso foi setembro, com precipitação de 179,2 mm.

3.2 Dados fluviométricos

As séries históricas de níveis fluviométricos observados foram fornecidos pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Estas séries históricas possuem duas leituras diárias, sendo realizadas sempre às 7:00 horas e às 17:00 horas.

O posto fluviométrico de Uruguaiana foi definido, neste estudo, como o exutório da bacia considerada, e da mesma forma, os postos de Itaquí, Passo São Borja, Garruchos, Porto Lucena, Alto Uruguai e Iraí são os exutórios das respectivas sub-bacias de controle de montante. O quadro 4 apresenta a localização e a área dos postos fluviométricos e o quadro 5 apresenta as características dos dados de níveis utilizados neste estudo.

Quadro 4: Postos Fluviométricos utilizados nesse estudo.

Código	Nome	Área (km ²)	Latitude	Longitude	Município (RS)
74100000	Iraí	61.900	27°10'30.461"S	53°13'45.944"W	Iraí
74500000	Alto Uruguai	82.300	27°18'3.269"S	54°8'23.057"W	Três Passos
74800000	Porto Lucena	95.200	27°50'56.519"S	55°1'39.587"W	Porto Lucena
75550000	Garruchos	116.000	28°10'42.114"S	55°38'35.657"W	São Borja
75780000	Passo São Borja	125.000	28°37'5.797"S	56°2'7.865"W	São Borja
75900000	Itaquí	131.000	29°6'56.952"S	56°33'16.34"W	Itaquí
77150000	Uruguaiana	190.000	29°44'30.253"S	57°5'34.645"W	Uruguaiana

Quadro 5: Postos fluviométricos com seus respectivos n° de registros disponíveis, período de dados, níveis máximos e mínimos para o período analisado.

Código	Nome	Dado (h)	N° de registros	Série histórica	Nível mínimo (cm)	Nível máximo (cm)
74100000	Iraí	7	7.967	06/11/1992 a 30/04/2015	91	1.382
		17	7.960		89	1.578
74500000	Alto Uruguai	7	8.814	23/01/1991 a 30/06/2015	-8	2.790
		17	8.814		-15	2.835
74800000	Porto Lucena	7	8.058	01/01/1991 a 30/06/2015	2	1.368
		17	8.056		2	1.300
75550000	Garruchos	7	8.809	01/01/1991 a 30/06/2015	-48	2.184
		17	8.808		-49	2.185
75780000	Passo São Borja	7	8.705	01/01/1991 a 30/06/2015	24	1.588
		17	8.709		24	1.586
75900000	Itaquí	7	8.185	01/01/1991 a 30/06/2015	-32	1.330
		17	8.179		-33	1.328
77150000	Uruguaiana	7	8.152	08/01/1991 a 30/06/2015	20	1.284
		17	8.246		20	1.288

A CPRM realiza levantamento do perfil transversal uma vez ao ano em cada estação fluviométrica. Os perfis transversais, de cada uma das estações fluviométricas

selecionadas neste estudo, são apresentadas no APÊNDICE A. Esses dados são referentes ao levantamento mais recente, realizado pela CPRM no ano de 2015.

No APÊNDICE B são apresentados os gráficos com os níveis das 7h de cada posto pluviométrico ao longo do período da série histórica analisada.

3.3 Métodos

Foram desenvolvidos modelos, segundo as formulações propostas, para previsão de níveis nos postos de Uruguaiana, Itaquí, Passo São Borja, Garruchos, Porto Lucena, Alto Uruguai e Iraí. Para cada modelo foram testadas várias alternativas utilizando dados de níveis da própria estação de previsão e de cada uma das estações de controle de montante, consideradas, variando, assim, a proporção da área controlada.

As três dimensões principais que compõe a pesquisa (metodológica, temporal e espacial) são descritas a seguir:

a) Metodológica: Compreende a técnica utilizada para a aplicação dos modelos, com a série de verificação, após terem sido calibrados (ajuste preliminar) com uma série de ajuste, com uso das equações 6 e 7 (ver pág. 36).

- **Sem recursividade:** Os modelos são utilizados para a previsão, com seus parâmetros fixos, obtidos no ajuste preliminar.

- **Com recursividade:** Os modelos são utilizados para a previsão, com seus parâmetros sendo recursivamente ajustados, durante a verificação, com as equações 10 e 11 (ver pág. 36).

- **Com recursividade e fator de esquecimento:** Os modelos são utilizados para a previsão, com seus parâmetros sendo recursivamente ajustados, durante a verificação, com as equações 10 e 11 (ver pág. 36). Porém, a matriz P_k é continuamente afetada, também, por um fator de esquecimento. Neste trabalho, adotou-se um fator f , com valor positivo, aplicado segundo a formulação:

$$P_k = P_{k-1}(1 + f) \quad (13)$$

Esta formulação apresenta coerência para a interpretação, pois os fatores zero, maior que zero e muito maior que zero indicam, respectivamente, nenhum esquecimento, pouco esquecimento ou muito esquecimento.

O valor ideal para f foi pesquisado preliminarmente, com os parâmetros fixos, e com uma série de dados diferente da série de ajuste e diferente da série de verificação.

Assim, quando f é igual a zero, resulta a técnica dos mínimos quadrados recursivos sem esquecimento, enquanto valores maiores implicam em mais esquecimento.

Deseja-se analisar, portanto, se o emprego da técnica recursiva dos mínimos quadrados, com e sem o fator de esquecimento (MQR e MQR+f.e.), é suficiente para que a qualidade de suas previsões possa superar a qualidade dos resultados obtidos com a técnica dos mínimos quadrados sem recursividade (MQ).

b) Temporal: Compreende a experimentação com diferentes alcances de previsão. O alcance máximo que pode ser obtido, com uma dada confiabilidade e precisão, depende do tempo de resposta do sistema e da precisão desejada. A melhor forma de realizar-se esta verificação é o ajuste e a simulação de diversas alternativas. Sendo assim, nesta etapa serão testados seis diferentes alcances, efetuados com base sempre no tempo atual (tempo t) das 07:00 horas:

- **Primeiro modelo:** testado para previsões com alcance de dez horas à frente, ou seja, às 17:00 horas do dia t (alcance de 10 horas).
- **Segundo modelo:** testado para previsões um dia à frente, ou seja, às 7:00 horas do dia seguinte $t+1$ (alcance de 24 horas);
- **Terceiro modelo:** testado para previsões às 17:00 horas do dia seguinte $t+1$ (alcance de 34 horas);
- **Quarto modelo:** testado para previsões dois dias à frente, ou seja, às 7:00 horas do dia $t+2$ (alcance de 48 horas);
- **Quinto modelo:** testado para previsões às 17:00 horas dois dias à frente $t+2$ (alcance de 58 horas);
- **Sexto modelo:** testado para previsões três dias à frente, ou seja, às 7:00 horas do dia $t+3$ (alcance de 72 horas);

c) Espacial: Compreende a experimentação para diferentes seções (áreas da bacia).

Inicialmente, foi feita a aquisição dos dados hidrológicos e a escolha dos aplicativos/softwarewares empregados para tratamento dos dados, elaboração de mapas etc. Os programas comerciais utilizados para a realização deste trabalho foram o Microsoft Office 2007, o ArcGis 9.3 e o Google Earth.

Os modelos, os recursos de manipulação dos dados e as técnicas recursivas foram integralmente programados no ambiente do Matlab R2010a para efeito desta pesquisa. Todas as séries de dados foram examinadas para a correção de erros

grosseiros de anotação, tais como o deslocamento do ponto decimal. Primeiramente, foi feita a leitura dos dados e a seleção das variáveis para o modelo.

A formatação consiste em organizar os registros, que consistem nas entradas e saídas do modelo a cada realização individual. Esta formatação depende inicialmente da identificação do deslocamento temporal de cada variável, por meio do vetor (d) que contém o número de intervalos para deslocamento temporal de cada variável, segundo as condições: a) se o valor for < 0 : A linha é deslocada para a direita, com dados vindos do passado; b) se o valor for $= 0$: a variável permanece, sem deslocamento, ocupando uma linha da matriz de dados resultante; e c) se o sinal for > 0 : a variável é de previsão, e ocorre no futuro. Portanto, deslocamento para a esquerda. Após a formatação, os dados ficam dispostos em uma matriz, com cada coluna correspondendo a um registro temporal, e cada linha a uma variável, com a variável de saída do modelo na última linha. Esta disposição permite que registros (colunas) com alguma falha (assinalada pela expressão NaN – “not a number”) possam ser eliminados do processamento, sem interferir na estrutura sequencial temporal necessária para a aplicação de modelos com componentes antecedentes e com procedimentos recursivos.

Foi realizada a divisão da série de registros, sendo utilizados os primeiros 1.000 registros para o ajuste preliminar, os 2.000 registros seguintes para a escolha do fator de esquecimento e o restante para a verificação. Para a etapa de verificação, onde foi utilizado o restante dos registros, houve uma diferença no número de registros entre as alternativas (pois cada série apresenta um padrão específico de falhas), porém com diferenças pequenas, tendo-se em conta o grande número de registros utilizados.

Os testes para a escolha do fator de esquecimento, para identificar qual o valor que proporciona resultados melhores para as previsões, indicaram o fator de 0,005 para todos os modelos, pois este fator proporcionou, em geral, melhores resultados. O fato de ter resultado um único valor para o fator, para os modelos testados, diminui um grau de complexidade a ser considerado, facilitando as comparações.

A verificação é, portanto, executada sem recursividade (com os parâmetros fixos, ajustados com a primeira série), com recursividade (utilizando os mínimos quadrados recursivos durante a verificação, mas com fator de esquecimento $f = 0$), e com recursividade e fator de esquecimento ($f = 0,005$).

Os procedimentos de verificação são utilizados para simular as condições de operação dos modelos matemáticos, em situações práticas, enquanto é efetuada, em tempo atual, a aquisição dos dados necessários.

Em ordem de complexidade, os procedimentos de operação podem ser descritos (admitindo-se variações), segundo as instruções estruturadas a seguir:

Procedimento sem recursividade:

Para cada previsão individual,

- *Aquisição do registro de dados de entrada do modelo.*
- *Recuperação do modelo e dos parâmetros fixos conhecidos.*
- *Execução da previsão.*
- *Possível divulgação da previsão.*

Fim de cada previsão

Cálculo dos erros e testes de desempenho com a série total de verificação.

Procedimento com recursividade:

Adoção de f (fator de esquecimento):

zero (sem esquecimento) ou 0,005 (com esquecimento).

Para cada previsão individual,

- *Aquisição dos registros de dados de entrada do modelo, inclusive o último valor observado da variável a ser prevista.*
- *Recuperação do valor previsto anteriormente, correspondente ao último valor observado da variável, e cálculo do erro ocorrido.*
- *Armazenamento do erro ocorrido.*
- *Recuperação do modelo, da matriz P e dos parâmetros atuais do modelo.*
- *Atualização dos parâmetros do modelo, utilizando o registro de entrada e a saída observada da previsão anterior, e da matriz P , utilizando o mesmo registro de entrada, e também o fator f .*
- *Execução do modelo com os novos parâmetros.*
- *Armazenamento do valor previsto.*
- *Possível divulgação da previsão.*

Fim de cada previsão

Utilização do conjunto dos erros ocorridos em toda a série de verificação, para cálculo das estatísticas de desempenho.

As alternativas de entradas utilizadas como controle de montante em cada um dos seis postos onde foram realizadas as previsões são apresentadas nos quadros de 6 a 11.

Quadro 6: Alternativas de entradas usadas como controle de montante para previsões de níveis em Uruguiana.

Alternativas	1	2	3	4	5	6	7	Área controlada (km ²)	% área controlada
Itaqui								131.000	68,9
Passo São Borja								125.000	65,8
Garruchos								116.000	61,1
Porto Lucena								95.200	50,1
Alto Uruguai								82.300	43,3
Iraí								61.900	32,6
Sem controle								0	0

Quadro 7: Alternativas de entradas usadas como controle de montante para previsões de níveis em Itaqui.

Alternativas	1	2	3	4	5	6	Área controlada (km ²)	% área controlada
Passo São Borja							125.000	95,4
Garruchos							116.000	88,5
Porto Lucena							95.200	72,7
Alto Uruguai							82.300	62,8
Iraí							61.900	47,3
Sem controle							0	0

Quadro 8: Alternativas de entradas usadas como controle de montante para previsões de níveis em Passo São Borja.

Alternativas	1	2	3	4	5	Área controlada (km ²)	% área controlada	
Garruchos						116.000	92,8	
Porto Lucena						95.200	76,2	
Alto Uruguai						82.300	65,8	
Iraí						61.900	49,5	
Sem controle							0	0

Quadro 9: Alternativas de entradas usadas como controle de montante para previsões de níveis em Garruchos.

Alternativas	1	2	3	4	Área controlada (km ²)	% área controlada	
Porto Lucena					95.200	82,1	
Alto Uruguai					82.300	70,9	
Iraí					61.900	53,4	
Sem controle						0	0

Quadro 10: Alternativas de entradas usadas como controle de montante para previsões de níveis em Porto Lucena.

Alternativas	1	2	3	Área controlada (km ²)	% área controlada	
Alto Uruguai				82.300	86,4	
Iraí				61.900	65,0	
Sem controle					0	0

Quadro 11: Alternativas de entradas usadas como controle de montante para previsões de níveis em Alto Uruguai.

Alternativas	1	2	Área controlada (km ²)	% da área controlada
Iraí			61.900	75,2
Sem controle				0

Cada uma das alternativas anteriores, de tipos de entradas, foi experimentada com alternativas do número de componentes antecedentes, para avaliar sua influência na previsão, e permitir a escolha da alternativa adequada.

Para simplificar as análises, sempre que foram utilizados os níveis de um dia, seja o dia atual, sejam os anteriores ($t-1$, $t-2$, etc.), para representarem as componentes do próprio posto para o qual estão sendo feitas as previsões, este mesmo número de dias foi adotado para os postos de montante, que correspondem às variáveis exógenas do modelo. O tempo atual, para efeito dos ajustes e testes do modelo (mas, não necessariamente para sua utilização prática proposta), foi sempre às 07:00 h de cada dia. A Figura 9 ilustra, esquematicamente, os alcances e os horizontes correspondentes das previsões testadas.

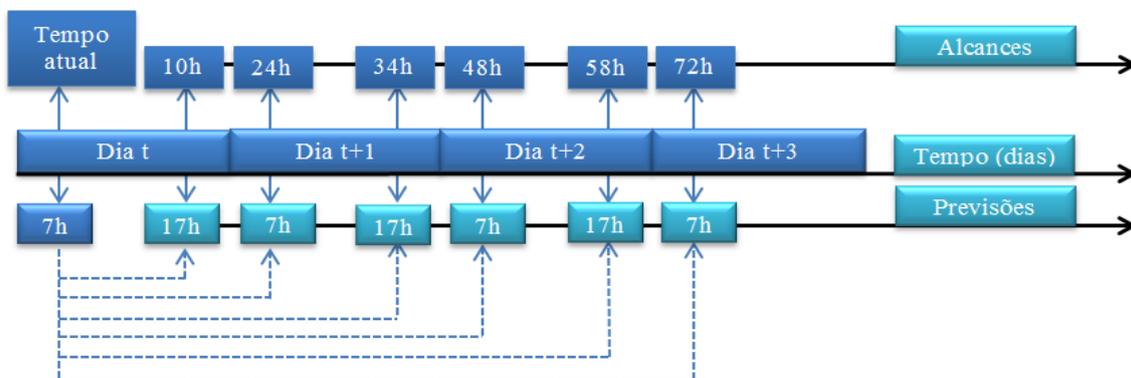


Figura 9: Alcances utilizados nas previsões.

Fonte: Autor.

Para se determinar preliminarmente até quantos dias anteriores contribuiriam para a melhoria do modelo, foram feitos correlogramas entre as séries de níveis de cada uma das alternativas de controle, com defasagem máxima de oito dias. As melhores intercorrelações entre os postos de jusante (para os quais pretende-se fazer as previsões) e os de montante (que definem cada bacia controlada), fornecem as estimativas dos tempos de deslocamento. Estes tempos constituem, nesta pesquisa, os limites para a experimentação das componentes dos dias anteriores, inclusive das autorregressivas.

Para efetuar a análise de intercorrelações, para a estimativa dos tempos de deslocamento entre os postos fluviométricos, optou-se por concatenar as duas séries de dados originais disponíveis, as quais correspondem aos dados das 7:00 e das 17:00 horas e, interpolar a série resultante para obter estimativas dos dados com espaçamento de 12 horas, ou seja, dados de 7:00 e de 19:00 horas. Embora conte-se com certa imprecisão, por, cerca de metade dos registros em cada série, ser estimada, os valores

calculados (19:00h) são sempre muito próximos dos valores existentes nas séries originais (17:00h), não havendo possibilidade de erros significativos, uma vez que as autocorrelações indicam, para todas as estações, persistência pronunciada.

As componentes antecedentes, tanto as autorregressivas quanto as dos níveis dos postos de controle de montante, formam, a cada previsão individual, um registro, representado por um vetor destes dados, cujas ocorrências temporais progridem a partir do presente (tempo atual) em direção ao passado, com antecedências formando uma série de 14h, 24h, 38h, 48h, etc., segundo a Figura 10. Para evitar complexidade desnecessária aos objetivos, sempre que foram utilizados os dados de um certo dia (t-1, t-2, etc.), significa que ambas as leituras disponíveis (07:00 e 17:00 h) foram utilizadas em conjunto, e nunca somente a componente das 07:00h de um dia, ou somente a componente das 17:00h deste mesmo dia.

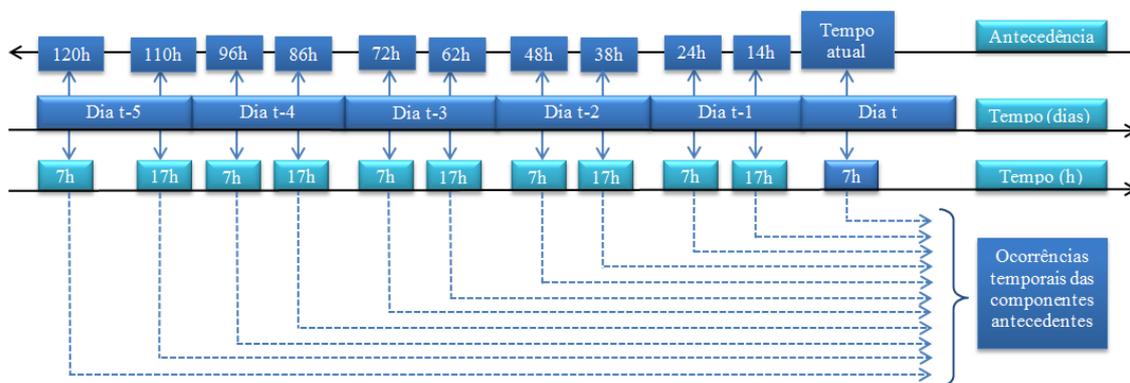


Figura 10: Componentes antecedentes utilizadas nas previsões.

Fonte: Autor.

As análises dos resultados, quanto à eficiência de cada modelo, e da técnica de aplicação (parâmetros fixos (MQ), MQR e MQR+f.e.) foram efetuadas, principalmente com base no EA(0,95), devido à pouca sensibilidade observada, nesta etapa da pesquisa, do NS para comparações, visto que os modelos apresentam, em geral, proporções altas de variâncias explicadas em relação às variâncias totais dos níveis que se pretende prever. Também, optou-se por análises simples, baseadas na identificação dos melhores resultados absolutos (pela comparação dos EA(0,95)), sem a realização de testes de significância, para verificar se um resultado é significativamente melhor, ou se a diferença observada pode ser devida unicamente à aleatoriedade natural. Acredita-se que, devido ao grande número de modelos testados, esta possível aleatoriedade não irá distorcer as conclusões gerais.

4. RESULTADOS

4.1 Bacia de Uruguiana

Na figura 11 é apresentado o gráfico com os tempos de viagem da onda de cheia estimados pelos intercorrelogramas entre Uruguiana e os seus respectivos postos de controle de montante. No apêndice C é apresentada uma tabela com os resultados das intercorrelações com defasagem de 12 horas para o posto de Uruguiana.

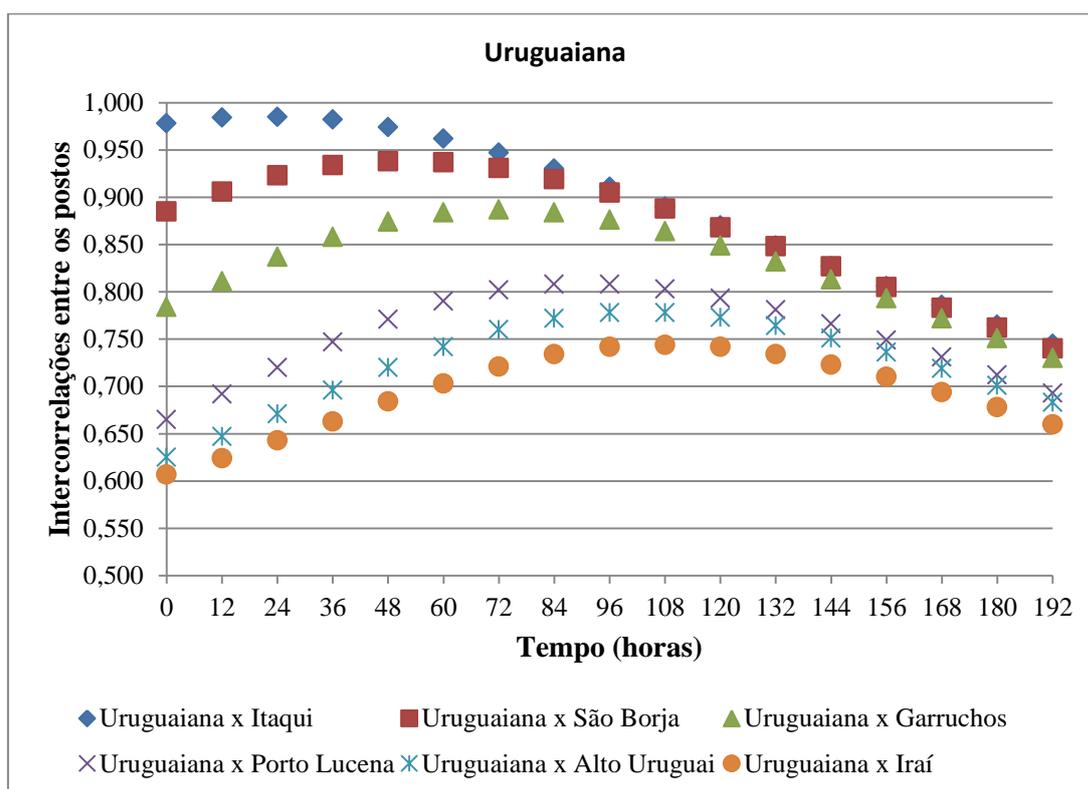


Figura 11: Tempo de viagem da onda de cheia entre Uruguiana e os seus respectivos postos de controle de montante.

Fonte: Autor.

Na figura 11 pode-se notar que a maior intercorrelação entre:

- Uruguiana e Itaqui: ocorre com defasagem de 24 h (1 dia);
- Uruguiana e Passo São Borja: ocorre com defasagem de 48 h (2 dias);
- Uruguiana e Garruchos: ocorre com defasagem de 72 h (3 dias);
- Uruguiana e Porto Lucena: ocorre com defasagem de 96 h (4 dias);
- Uruguiana e Alto Uruguai: ocorre com defasagem entre 96 h (4 dias) e 120 h (5 dias);
- Uruguiana e Iraí: ocorre com defasagem entre 96 h (4 dias) e 120 h (5 dias).

Portanto, para a bacia de Uruguaiana, antecedências de cinco dias seriam suficientes para atender o critério dos tempos de viagem entre os postos mais distantes.

As alternativas (Quadro 6), quanto à proporção da bacia controlada, foram ordenadas em ordem decrescente, resultando: 1) com controle de montante do posto de Itaquí (68,9%); 2) com controle de montante do posto de Passo São Borja (65,8%); 3) com controle do posto de montante de Garruchos (61,1%); 4) com controle do posto de montante de Porto Lucena (50,1%); 5) com controle do posto de montante de Alto Uruguai (43,3%); 6) com controle do posto de montante de Iraí (32,6%) e 7) sem controle de montante (0%).

Nas tabelas de 1 a 6 são apresentados os resultados dos melhores modelos obtidos para cada alternativa. Os resultados completos das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizados para a verificação da previsão em Uruguaiana podem ser visualizados no Apêndice C. Cada tabela mostra os resultados para cada um dos seis alcances adotados.

Tabela 1: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Uruguaiana com alcance de 10 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQR+f.e.	t-1	68,9	36,73	0,992
2	MQR+f.e.	t	65,8	39,19	0,988
3	MQ	t-2	61,1	40,25	0,988
4	MQ	t	50,1	42,99	0,987
5	MQ	t-1	43,3	41,93	0,987
6	MQ	t-1	32,6	44,29	0,984
7	MQ	t-2	0	43,79	0,986

Tabela 2: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Uruguaiana com alcance de 24 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQR+f.e.	t-1	68,9	47,70	0,987
2	MQ	t-2	65,8	52,45	0,983
3	MQR	t-2	61,1	57,34	0,979
4	MQ	t-3	50,1	62,28	0,976
5	MQ	t-4	43,3	62,22	0,977
6	MQR	t-4	32,6	65,84	0,972
7	MQR+f.e.	t-2	0	67,69	0,972

Tabela 3: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Uruguaiana com alcance de 34 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQR+f.e.	t-1	68,9	56,79	0,983
2	MQR+f.e.	t-1	65,8	64,49	0,976
3	MQR	t-4	61,1	70,36	0,971
4	MQ	t-4	50,1	79,28	0,964
5	MQ	t-2	43,3	80,50	0,965
6	MQR	t-2	32,6	83,19	0,956
7	MQR	t-2	0	89,75	0,956

Tabela 4: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Uruguaiana com alcance de 48 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQ	t-5	68,9	71,80	0,970
2	MQR	t-2	65,8	76,03	0,968
3	MQR	t-4	61,1	82,94	0,962
4	MQ	t-5	50,1	93,96	0,951
5	MQ	t-4	43,3	95,08	0,951
6	MQR+f.e.	t-2	32,6	100,12	0,940
7	MQR+f.e.	t-2	0	113,69	0,934

Tabela 5: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Uruguaiana com alcance de 58 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQR+f.e.	t-1	68,9	87,57	0,960
2	MQ	t-5	65,8	87,74	0,958
3	MQR	t-3	61,1	93,87	0,949
4	MQ	t-5	50,1	105,88	0,937
5	MQ	t-4	43,3	108,75	0,935
6	MQR+f.e.	t-3	32,6	116,66	0,922
7	MQR+f.e.	t-2	0	133,99	0,910

Tabela 6: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Uruguaiana com alcance de 72 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQR+f.e.	t-1	68,9	110,93	0,937
2	MQ	t-5	65,8	107,63	0,942
3	MQR+f.e.	t-3	61,1	111,61	0,936
4	MQ	t-4	50,1	121,67	0,917
5	MQR	t-4	43,3	124,09	0,914
6	MQR+f.e.	t-3	32,6	132,82	0,899
7	MQR+f.e.	t-1	0	156,91	0,877

Para o alcance de 10 horas (Tabela 1), os coeficientes de NS variaram entre 0,984 e 0,992. Os melhores desempenhos, tanto para os modelos fixos (MQ) quanto com uso de técnicas adaptativas, ocorrem com antecedências de t a $t-2$ dias. Até a alternativa 2, os procedimentos adaptativos completos (MQR+f.e.) proporcionaram qualidade ligeiramente superior das previsões, com EA(0,95)s entre 36,73 e 39,19 cm, enquanto que, para as alternativas 3, 4, 5, 6 e 7 (menores proporções de área controlada), não apresentaram melhorias em relação aos modelos com parâmetros fixos (MQ), cujos EA(0,95)s foram acima de 40 cm, com máximo para a alternativa 6, com 44,29 cm.

O melhor modelo, para o alcance de 10 horas, foi encontrado com a alternativa 1, que utiliza, além dos dados do próprio local de previsão (Uruguaiana), dados da maior bacia de controle de montante (Itaqui) (com dados a partir do dia $t-1$), sendo encontrado coeficiente de NS de 0,992 e EA(0,95) de 36,73 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização do procedimento adaptativo completo (MQR+f.e.).

Para o alcance de 24 horas (Tabela 2), os coeficientes de NS variaram entre 0,972 e 0,987. Os melhores desempenhos, tanto para os modelos fixos (MQ), quanto para os modelos com técnicas adaptativas ocorrem para dados com antecedência de $t-1$ a $t-4$ dias, sendo que a maioria destes ocorre com dados com antecedência de $t-2$ dias. Procedimentos adaptativos completos (MQR+f.e.) foram importantes para as alternativas 1 e 7, e uso somente de MQR para as alternativas 3 e 6. Os EA(0,95)s dos melhores modelos variaram entre 47,70 cm (alternativa 1) e 67,69 cm (alternativa 7). Os NSs respectivos variaram de 0,987 a 0,972.

O melhor modelo, para o alcance de 24 horas, foi encontrado com a alternativa 1, com dados a partir do dia $t-1$, sendo encontrados os coeficiente de NS de 0,987 e EA(0,95) de 47,70 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização do procedimento adaptativo completo (MQR+f.e.).

Para o alcance de 34 horas (Tabela 3), os coeficientes de NS variaram entre 0,956 e 0,983. A técnica adaptativa completa (MQR+f.e.) resultou melhor para as alternativas 1 e 2, enquanto que a MQR simples, para as alternativas 3, 6 e 7. Para as demais (alternativas 4 e 5), os melhores resultados foram os dos modelos fixos (MQ). Os EA(0,95)s dos melhores modelos variaram de 56,79 cm (alternativa 1) a 89,75 cm (alternativa 7), com, respectivamente, NSs de 0,983 a 0,956.

O melhor modelo, para o alcance de 34 horas, foi encontrado com a alternativa 1, com dados a partir do dia $t-1$, sendo encontrado coeficiente de NS de 0,983 e

EA(0,95) de 56,79 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização do procedimento adaptativo completo (MQR+f.e.).

Para o alcance de 48 horas (Tabela 4), os coeficientes de NS variaram entre 0,934 e 0,970. Os melhores desempenhos com os modelos fixos (MQ) ocorreram, em geral, com dados com antecedência de $t-4$ ou $t-5$ dias antecedentes, enquanto que os melhores desempenhos com modelos adaptativos ocorreram com antecedências de $t-2$ e $t-4$ dias, principalmente, com antecedência de $t-2$ dias. As alternativas 2 e 3 apresentaram melhores desempenhos com o MQR, enquanto que as alternativas 6 e 7 apresentaram melhor desempenho com os recursos adaptativos completos (MQR+f.e.). Para as demais (alternativas 1, 4 e 5), os melhores resultados foram os dos modelos fixos (MQ). Os EA(0,95)s dos melhores modelos variaram, crescendo sempre com a redução da área controlada, de 71,80 cm (alternativa 1) a 113,69 cm (alternativa 7), respectivamente, com NSs variando de 0,970 a 0,934.

O melhor modelo, para o alcance de 48 horas, foi encontrado com a alternativa 1, com a utilização dos dados a partir do dia $t-5$, sendo encontrado coeficiente de NS de 0,970 e EA(0,95) de 71,80 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização dos MQ sem recursividade.

Para o alcance de 58 horas (Tabela 5) os coeficientes de NS variaram entre 0,910 e 0,960. Os melhores desempenhos com os modelos fixos (MQ) ocorreram com dados antecedentes de $t-4$ e $t-5$ dias, enquanto que, com técnicas adaptativas, ocorreram com dados antecedentes de $t-1$ a $t-3$ dias. As alternativas 1, 6 e 7 apresentaram melhores resultados com técnicas adaptativas completas (MQR+f.e.), enquanto que a alternativa 3 apresentou melhores resultados com a técnica dos MQR apenas. Para as demais (alternativas 2, 4 e 5), os melhores resultados foram os dos modelos fixos (MQ). Os EA(0,95)s/NSs dos melhores modelos variaram entre 87,57cm/0,960 para a alternativa 1, aumentando/reduzindo com a diminuição da bacia controlada, até 133,99cm/0,910 para a alternativa 7, sem bacia de montante controlada.

O melhor modelo, para o alcance de 58 horas, foi encontrado com a alternativa 1, com dados a partir do dia $t-1$, sendo encontrado coeficiente de NS de 0,960 e EA(0,95) de 87,57 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização do procedimento adaptativo completo (MQR+f.e.).

Para o alcance de 72 horas (Tabela 6) os coeficientes de NS variaram entre 0,877 e 0,942. Os melhores desempenhos com os modelos fixos (MQ) ocorreram com $t-4$ e $t-5$ dias de dados antecedentes. Os modelos adaptativos foram melhores, principalmente,

com dados de $t-1$, $t-3$ e $t-4$ dias antecedentes. As alternativas 1, 3, 6 e 7 foram melhores com os recursos adaptativos completos (MQR+f.e.), e a alternativa 5 com MQR simples. Para as demais (alternativas 2 e 4), os melhores resultados foram os dos modelos fixos (MQ). Os EA(0,95)s/NSs dos melhores modelos variaram entre 110,93cm/0,937 para a alternativa 1, com a maior bacia de montante controlada, até 156,91cm/0,877 para a alternativa 7, sem bacia de montante controlada.

Os melhor modelo, para o alcance de 72 horas, foi encontrado com a alternativa 2, que utiliza, além dos dados do próprio local de previsão (Uruguiana), dados da segunda maior bacia de controle de montante (Passo São Borja) (com dados a partir do dia $t-5$), sendo encontrado coeficiente de NS de 0,942 e EA(0,95) de 107,63 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização do modelo fixo (MQ).

Observa-se que, em geral, os melhores desempenhos com técnicas adaptativas ocorrem com menores antecedências do que os melhores desempenhos com modelos fixos (MQ), o que indica que estas técnicas são importantes para substituir as informações, quando estas são insuficientes para representar os processos. Da mesma forma, com maior insuficiência de informações pela redução da bacia de montante controlada, os processos adaptativos e, em casos mais difíceis, o uso também do fator de esquecimento, passam a ser importantes.

Quando os modelos já possuem informações suficientes para representar os processos de curto prazo, não precisam dos recursos adaptativos, que servem, justamente, para suprir deficiências de informações sobre os processos dinâmicos temporalmente. No caso das bacias controladas serem menores, os recursos adaptativos deveriam ter tido sempre maior importância, segundo nossas hipóteses, pela maior carência de informações. Isto nem sempre ocorre, como observou-se para o alcance de 10 horas. Talvez seja mais difícil caracterizar a importância de processos que não são muito relevantes quando a qualidade das previsões já é, de qualquer forma, muito boa, pois existe uma variabilidade aleatória das estatísticas, mesmo com modelos equivalentes, e as diferenças reais de qualidade devem resultar em diferenças maiores do que as aleatórias, nas estatísticas, para serem adequadamente percebidas. Por outro lado, quando os resultados são insatisfatórios, como ocorre com o alcance de 72 horas, as técnicas adaptativas não são suficientes para fazer muita diferença.

As figuras de 12 a 17 apresentam os resultados dos melhores modelos obtidos para cada alcance. Nas figuras são apresentados os níveis observados e calculados, e a

diferença entre eles, para o período de 13/06/2014 a 22/08/2014. Neste período o maior nível atingido em Uruguiana foi de 11,87 m às 17h, no dia 06/07/2014.

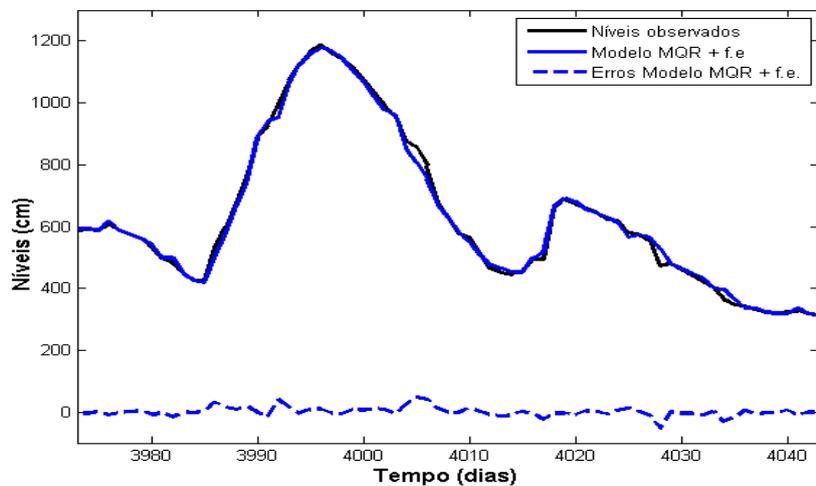


Figura 12: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 10 h (com dados a partir de $t-1$), no período de 13/06/2014 a 22/08/2014, no posto de Uruguiana.

Fonte: Autor.

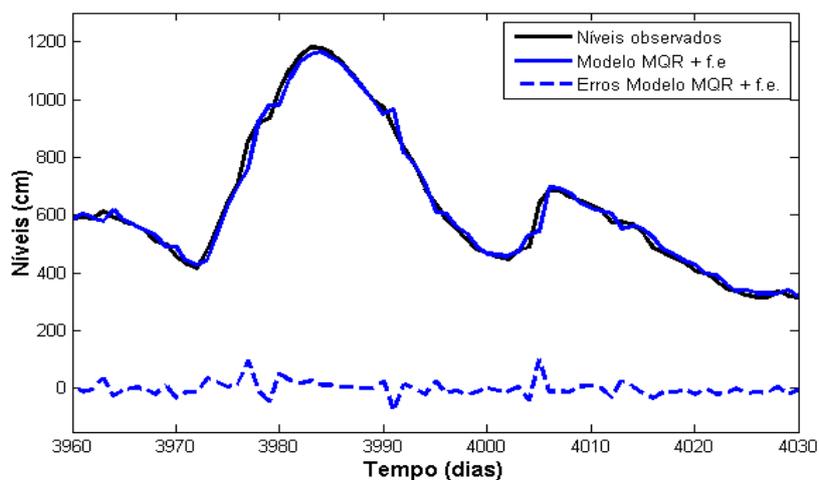


Figura 13: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 24 h (com dados a partir de $t-1$), no período de 13/06/2014 a 22/08/2014, no posto de Uruguiana.

Fonte: Autor.

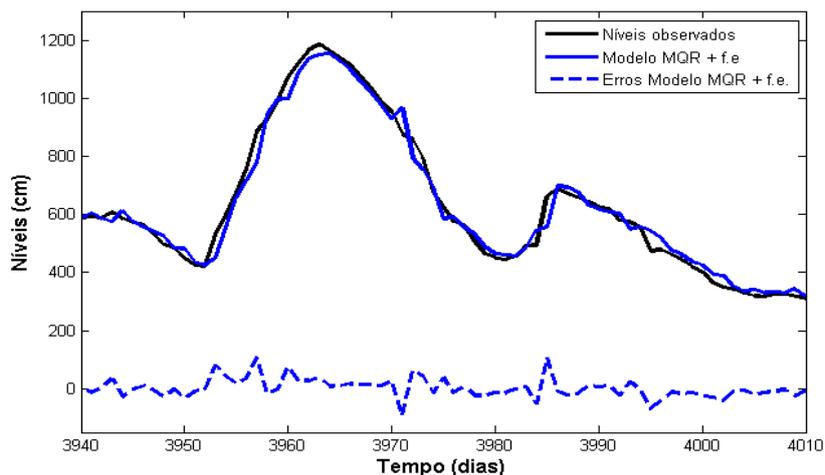


Figura 14: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 34 h (com dados a partir de $t-1$), no período de 13/06/2014 a 22/08/2014, no posto de Uruguaiana.

Fonte: Autor.

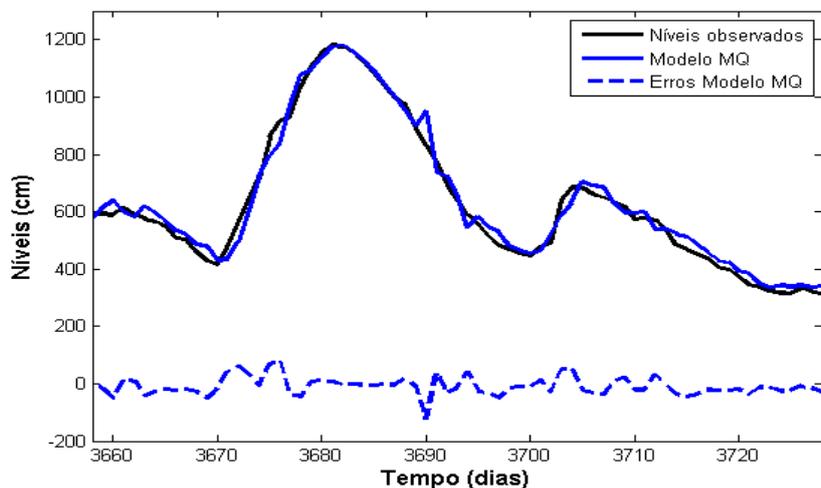


Figura 15: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 48 h (com dados a partir de $t-5$), no período de 13/06/2014 a 22/08/2014, no posto de Uruguaiana.

Fonte: Autor.

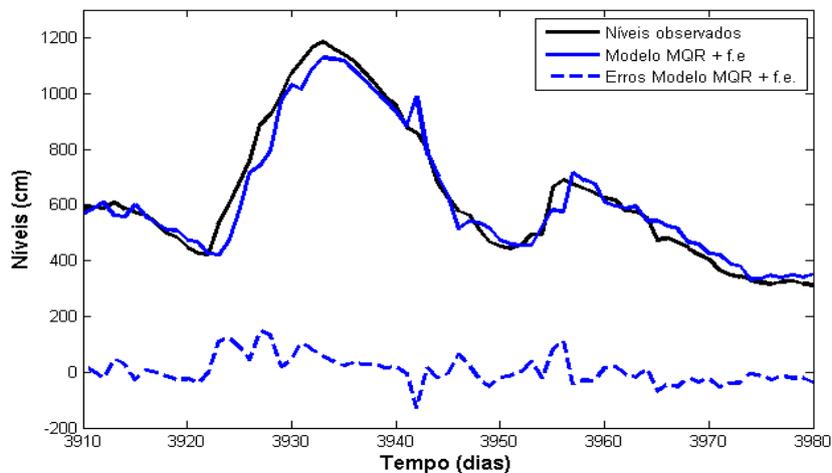


Figura 16: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 58 h (com dados a partir de $t-1$), no período de 13/06/2014 a 22/08/2014, no posto de Uruguaiana.

Fonte: Autor.

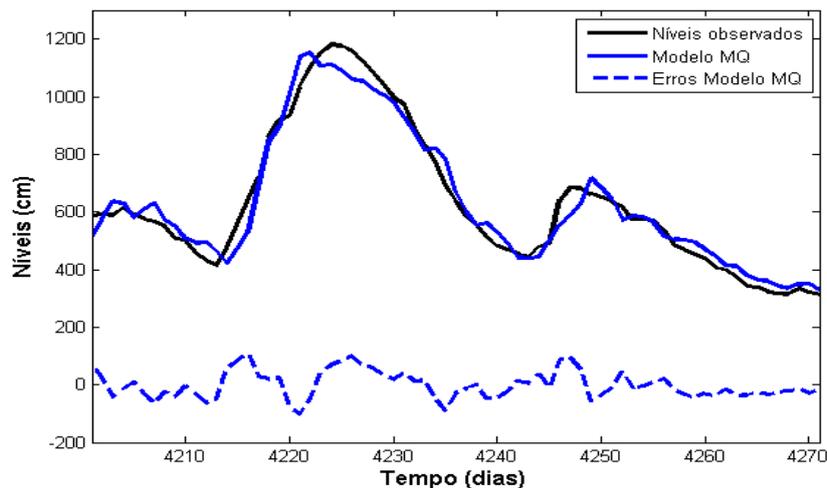


Figura 17: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 72 h (com dados a partir de t-5), no período de 13/06/2014 a 22/08/2014, no posto de Uruguiana.

Fonte: Autor.

Pela análise gráfica, observando as figuras de 12 a 17, nota-se que os modelos apresentaram previsões muito boas, com valores bem próximos aos observados, tanto na ascensão, quanto no pico e na recessão do hidrograma, até o alcance de 48 h. A partir do alcance de 48 h, a qualidade do modelo começa a diminuir, observando-se uma pequena defasagem na subida do hidrograma e uma maior dificuldade do modelo em representar o pico.

Analisando-se as diferenças entre os níveis observados e calculados, é possível observar que as maiores ocorrem nos picos e ascensões do hidrograma. Pode-se observar, também, que as diferenças entre os valores observados e os calculados aumentam com o aumento do alcance de previsão.

4.2 Bacia de Itaqui

Na figura 18 é apresentado o gráfico com os tempos de viagem da onda de cheia estimados pelos intercorrelogramas entre Itaqui e os seus respectivos postos de controle de montante. No apêndice D é apresentada uma tabela com os resultados das intercorrelações com defasagem de 12 horas para o posto de Itaqui.

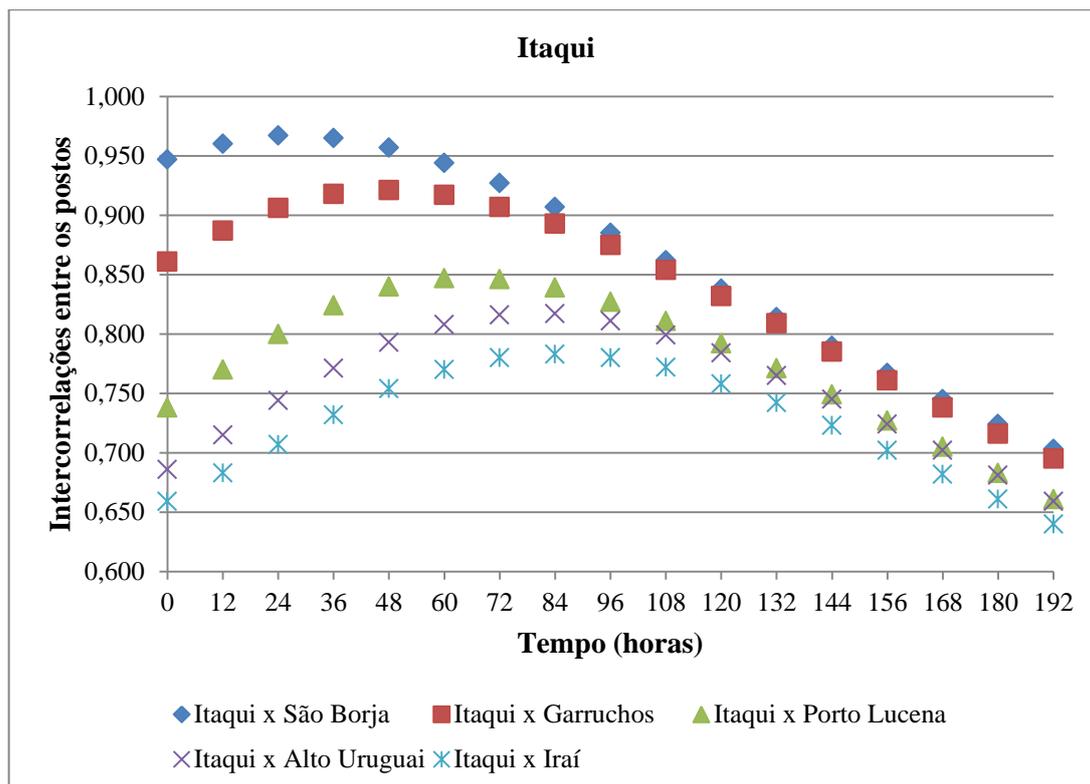


Figura 18: Tempo de viagem da onda de cheia entre Itaqui e os seus respectivos postos de controle de montante.

Fonte: Autor.

Na figura 18 pode-se notar que a maior intercorrelação entre:

- Itaqui e Passo São Borja: ocorre com defasagem de 24 h (1 dia);
- Itaqui e Garruchos: ocorre com defasagem de 48 h (2 dias);
- Itaqui e Porto Lucena: ocorre com defasagem entre 48 h (2 dias) e 72 h (3 dias);
- Itaqui e Alto Uruguai: ocorre com defasagem entre 72 h (3 dias) e 96 h (4 dias);
- Itaqui e Iraí: ocorre com defasagem entre 72 h (3 dias) e 96 h (4 dias).

Portanto, para a bacia de Itaquí, antecedências de quatro dias seriam suficientes para atender o critério dos tempos de viagem entre os postos mais distantes.

As alternativas (Quadro 7), quanto à proporção da bacia controlada, foram ordenadas em ordem decrescente, resultando: 1) com controle de montante do posto de Passo São Borja (95,4%); 2) com controle do posto de montante de Garruchos (88,5%); 3) com controle do posto de montante de Porto Lucena (72,7%); 4) com controle do posto de montante de Alto Uruguai (62,8%); 5) com controle do posto de montante de Iraí (47,3%) e 6) sem controle de montante (0%).

Nas tabelas de 7 a 12 são apresentados os resultados dos melhores modelos obtidos para cada alternativa. Os resultados completos das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizados para a verificação da previsão em Itaquí podem ser visualizados no Apêndice D. Cada tabela mostra os resultados para cada um dos seis alcances adotados.

Tabela 7: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Itaquí com alcance de 10 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQ	t-2	95,4	12,73	0,999
2	MQ	t-1	88,5	13,41	0,999
3	MQR	t-1	72,7	14,79	0,999
4	MQR	t-4	62,8	15,29	0,996
5	MQR	t-2	47,3	16,20	0,997
6	MQ	t-2	0	15,67	0,998

Tabela 8: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Itaquí com alcance de 24 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQ	t-2	95,4	29,33	0,995
2	MQ	t-2	88,5	30,50	0,995
3	MQR	t-1	72,7	36,64	0,993
4	MQ	t-2	62,8	38,56	0,992
5	MQR	t-2	47,3	41,61	0,990
6	MQ	t-2	0	41,87	0,990

Tabela 9: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Itaqui com alcance de 34 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQ	t-1	95,4	48,09	0,988
2	MQ	t-2	88,5	47,82	0,989
3	MQ	t-1	72,7	54,77	0,986
4	MQR	t-3	62,8	56,95	0,983
5	MQR	t-3	47,3	61,64	0,978
6	MQR+f.e.	t-1	0	66,31	0,976

Tabela 10: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Itaqui com alcance de 48 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQ	t-3	95,4	76,69	0,971
2	MQ	t-3	88,5	73,20	0,976
3	MQR+f.e.	t-2	72,7	79,26	0,972
4	MQ	t-2	62,8	81,68	0,969
5	MQR	t-3	47,3	87,25	0,960
6	MQR+f.e.	t-2	0	96,88	0,948

Tabela 11: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Itaqui com alcance de 58 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQ	t-2	95,4	102,02	0,953
2	MQ	t-2	88,5	94,56	0,961
3	MQR+f.e.	t-2	72,7	98,58	0,956
4	MQR+f.e.	t-2	62,8	100,19	0,948
5	MQR+f.e.	t-3	47,3	104,22	0,941
6	MQR+f.e.	t-2	0	121,23	0,918

Tabela 12: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Itaqui com alcance de 72 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQ	t-2	95,4	135,31	0,920
2	MQ	t-4	88,5	125,16	0,932
3	MQR+f.e.	t-2	72,7	127,86	0,929
4	MQ	t-3	62,8	125,85	0,928
5	MQR+f.e.	t-2	47,3	133,42	0,918
6	MQR+f.e.	t-2	0	157,26	0,878

Para o alcance de 10 horas (Tabela 7), os coeficientes de NS variaram entre 0,996 e 0,999. Os melhores desempenhos para os modelos fixos (MQ) ocorrem com antecedências de $t-1$ a $t-2$ dias, enquanto que, com técnicas adaptativas, com antecedências entre $t-1$ a $t-4$ dias. As alternativas 1, 2 e 6 apresentaram melhores

desempenhos com o uso do modelo fixo (MQ), enquanto que as alternativas 3, 4 e 5 apresentaram melhor desempenho com o uso dos MQR. O uso dos recursos adaptativos completos (MQR+f.e.), para este alcance, não proporcionou melhoria no desempenho dos modelos em relação à utilização das outras técnicas mais simples. Os EA(0,95)s dos melhores modelos crescem com a redução da área controlada, até a alternativa 5, entre 12,73 cm (alternativa 1) e 16,20 cm (alternativa 5).

O melhor modelo, para o alcance de 10 horas, foi encontrado com a alternativa 1, que utiliza além dos dados do próprio local de previsão (Itaqui), dados da maior bacia de controle de montante (Passo São Borja) (com a utilização dos dados a partir do dia $t-2$), sendo encontrado coeficiente de NS de 0,999 e EA(0,95) de 12,73 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização dos MQ.

Para o alcance de 24 horas (Tabela 8), os coeficientes de NS variaram entre 0,990 e 0,995. Os melhores desempenhos para os modelos fixos (MQ) ocorrem com antecedências de $t-2$ dias, enquanto que os melhores desempenhos com o uso de técnicas adaptativas ocorrem com antecedências entre $t-1$ a $t-2$ dias. As alternativas 1, 2, 4 e 6 apresentaram melhores desempenhos com o uso do modelo fixo (MQ), enquanto que as alternativas 3 e 5 apresentaram melhor desempenho com o uso dos MQR. O uso dos recursos adaptativos completos (MQR+f.e.), para este alcance, não proporcionou melhoria no desempenho dos modelos em relação à utilização das outras técnicas mais simples. Os EA(0,95)s dos melhores modelos crescem com a redução da área controlada, entre 29,33 cm (alternativa 1) e 41,87 cm (alternativa 6). Os NSs respectivos variam de 0,995 a 0,990.

O melhor modelo, para o alcance de 24 horas, foi encontrado com a alternativa 1, com a utilização dos dados a partir do dia $t-2$, sendo encontrado coeficiente de NS de 0,995 e EA(0,95) de 29,33 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização dos MQ.

Para o alcance de 34 horas (Tabela 9), os coeficientes de NS variaram entre 0,976 e 0,989. Os melhores desempenhos para os modelos fixos (MQ) ocorrem com antecedências de $t-1$ e $t-2$ dias. Os melhores desempenhos com o uso de técnicas adaptativas ocorrem com antecedências de $t-1$ e $t-3$ dias, sendo que a maioria destes ocorre com dados com antecedência de $t-3$ dias. As alternativas 1 a 3 apresentaram melhores desempenhos com o uso do modelo fixo (MQ), enquanto que as alternativas 4 e 5 apresentaram melhor desempenho com o uso dos MQR. A alternativa 6 apresentou melhor desempenho com os recursos adaptativos completos (MQR+f.e.). Os EA(0,95)s dos melhores modelos crescem com a redução da área controlada, a partir da alternativa

2 até a 6, entre 47,82 cm (alternativa 2) e 66,31 cm (alternativa 6). Os NSs respectivos variam de 0,989 a 0,976.

O melhor modelo, para o alcance de 34 horas, foi encontrado com a alternativa 2, com a utilização dos dados a partir do dia $t-2$, sendo encontrado coeficiente de NS de 0,989 e EA(0,95) de 47,82 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização dos MQ.

Para o alcance de 48 horas (Tabela 10), os coeficientes de NS variaram entre 0,948 e 0,976. Os melhores desempenhos tanto para os modelos fixos (MQ), quanto com técnicas adaptativas, ocorrem com antecedências de $t-2$ e $t-3$ dias. As alternativas 1, 2 e 4 apresentaram melhores desempenhos com o uso do modelo fixo (MQ), enquanto que a alternativa 5 apresentou melhor desempenho com o uso dos MQR. As alternativas 3 e 6 apresentaram melhores desempenhos com os recursos adaptativos completos (MQR+f.e.). Os EA(0,95)s dos melhores modelos crescem com a redução da área controlada, a partir da alternativa 2 até a 6, entre 73,20 cm (alternativa 2) e 96,88 cm (alternativa 6). Os NSs respectivos variam de 0,976 a 0,948.

O melhor modelo, para o alcance de 48 horas, foi encontrado com a alternativa 2, com a utilização dos dados a partir do dia $t-3$, sendo encontrado coeficiente de NS de 0,976 e EA(0,95) de 73,20 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização do modelo com os MQ.

Para o alcance de 58 horas (Tabela 11), os coeficientes de NS variaram entre 0,918 e 0,961. Os melhores desempenhos para os modelos fixos (MQ) ocorrem com antecedências de $t-2$ dias, enquanto que, com técnicas adaptativas, com antecedências entre $t-2$ e $t-3$ dias. Porém, os melhores desempenhos, tanto para os modelos fixos (MQ) quanto com uso de técnicas adaptativas, concentram-se nos modelos com dados antecedentes de $t-2$ dias. As alternativas 1 e 2 apresentaram melhores desempenhos com o uso do modelo fixo (MQ), enquanto que as alternativas 3 a 6 com o uso dos recursos adaptativos completos (MQR+f.e.). Os EA(0,95)s dos melhores modelos crescem com a redução da área controlada, a partir da alternativa 2 até a 6, entre 94,56 cm (alternativa 2) e 121,23 cm (alternativa 6). Os NSs respectivos variam de 0,961 a 0,918.

O melhor modelo, para o alcance de 58 horas, foi encontrado com a alternativa 2, com a utilização dos dados a partir do dia $t-2$, sendo encontrado coeficiente de NS de 0,961 e EA(0,95) de 94,56 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização dos MQ.

Para o alcance de 72 horas (Tabela 12), os coeficientes de NS variaram entre 0,878 e 0,932. Os melhores desempenhos para os modelos fixos (MQ) ocorrem com antecedências de $t-2$ a $t-4$ dias, enquanto que, com técnicas adaptativas, com

antecedências de $t-2$ dias. As alternativas 1, 2 e 4 apresentaram melhores desempenhos com o uso do modelo fixo (MQ), enquanto que as alternativas 3, 5 e 6 apresentaram melhor desempenho com o uso dos recursos adaptativos completos (MQR+f.e.).

O melhor modelo, para o alcance de 72 horas, foi encontrado com a alternativa 2, com a utilização dos dados a partir do dia $t-4$, sendo encontrado coeficiente de NS de 0,932 e EA(0,95) de 125,16 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização dos MQ.

Observa-se que para os menores alcances (10 horas e 24 horas), os recursos adaptativos completos (MQR + f.e) não foram importantes, não apresentando melhoria em relação ao uso dos MQ e dos MQR. Ou seja, quando os modelos já possuem informações suficientes para representar os processos de curto prazo, não precisam dos recursos adaptativos, que servem, justamente, para suprir deficiências de informações sobre os processos dinâmicos temporalmente.

O uso da técnica adaptativa completa (MQR + f.e.) só começou a ser importante com o aumento do alcance de previsão, a partir do alcance de 34 horas, e para a alternativa que utiliza os dados da menor área de montante controlada (alternativa 6), isto ocorre pela maior carência de informações, que é suprida pela técnica adaptativa.

Também foi observado que a partir do alcance de 34 horas, os melhores modelos foram obtidos com a alternativa 2, a qual utiliza dados da segunda maior bacia de controle de montante. Isto ocorre, pois com o aumento do alcance de previsão, as informações que são importantes para as previsões demoram mais tempo para chegar ao exutório da bacia principal.

Para todos os alcances, os melhores modelos foram obtidos com os modelos fixos, com dados a partir de 2 dias anteriores ($t-2$) até 4 dias anteriores ($t-4$). Porém, com o uso de recursos adaptativos sempre se obtém resultados muito semelhantes, ou seja, pouco inferiores aos melhores resultados, porém com menor uso de dados anteriores.

As figuras de 19 a 24 apresentam os resultados dos melhores modelos obtidos para cada alcance. Nas figuras são apresentados os níveis observados e calculados, e a diferença entre eles, para o período de 01/10/2008 a 10/12/2008. Neste período o maior nível atingido em Itaquí foi de 10,81 m às 17h, no dia 04/11/2008.

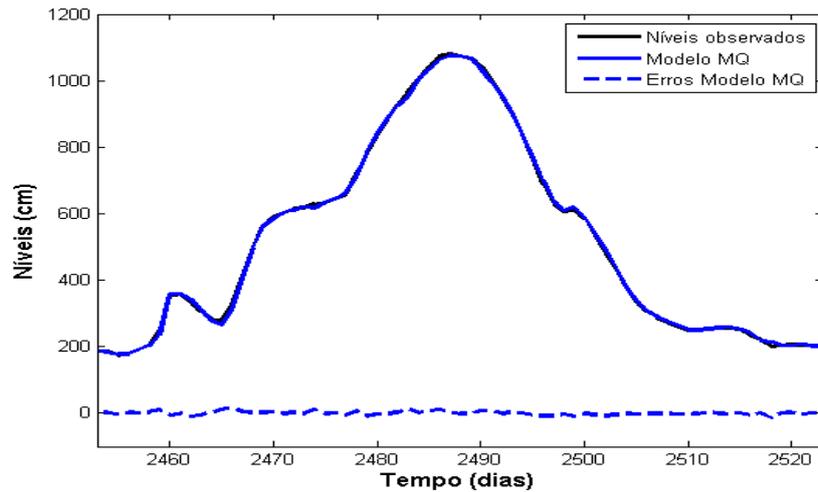


Figura 19: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 10 h (com dados a partir de t-2), no período de 01/10/2008 a 10/12/2008, no posto de Itaquí.

Fonte: Autor.

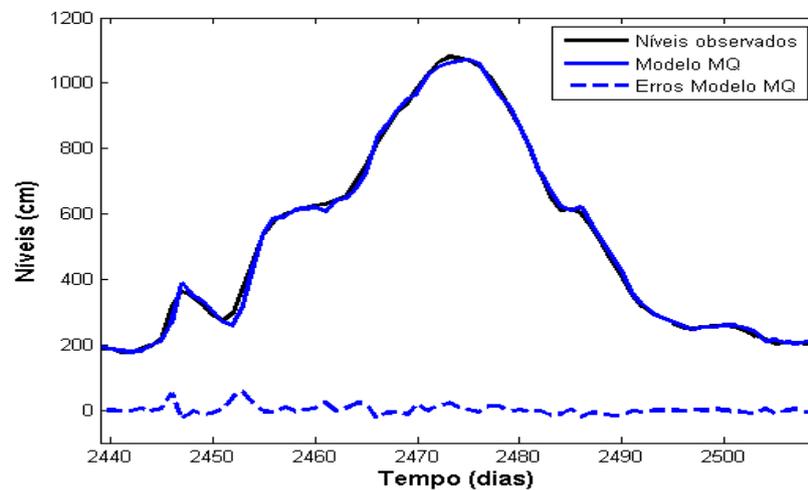


Figura 20: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 24 h (com dados a partir de t-2), no período de 01/10/2008 a 10/12/2008, no posto de Itaquí.

Fonte: Autor.

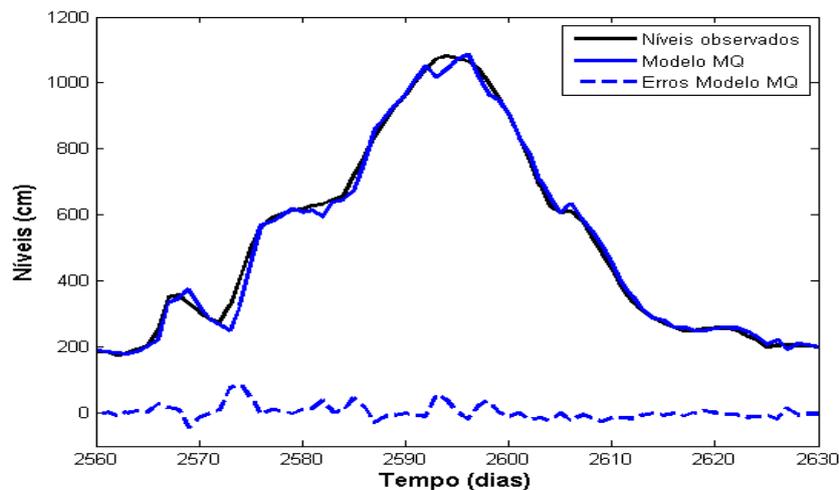


Figura 21: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 34 h (com dados a partir de t-2), no período de 01/10/2008 a 10/12/2008, no posto de Itaquí.

Fonte: Autor.

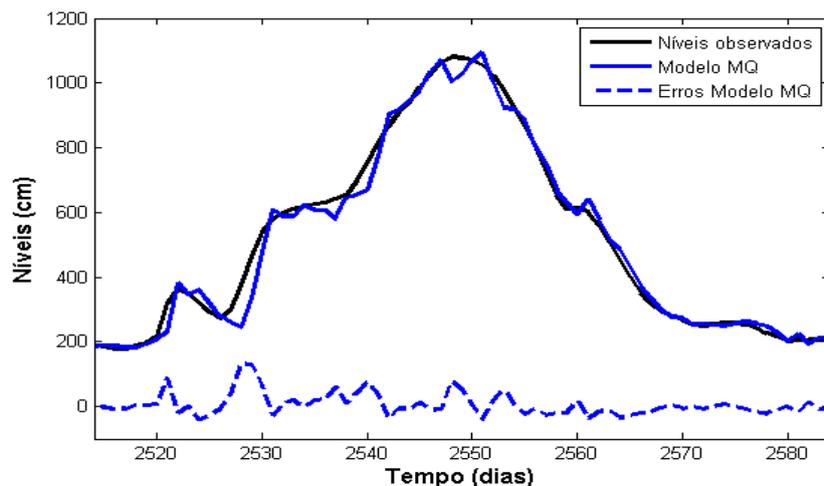


Figura 22: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 48 h (com dados a partir de $t-3$), no período de 01/10/2008 a 10/12/2008, no posto de Itaquí.

Fonte: Autor.

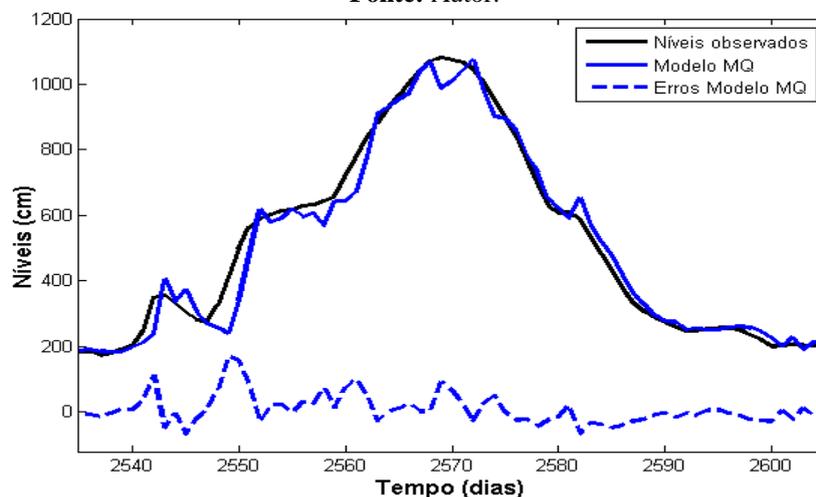


Figura 23: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 58 h (com dados a partir de $t-2$), no período de 01/10/2008 a 10/12/2008, no posto de Itaquí.

Fonte: Autor.

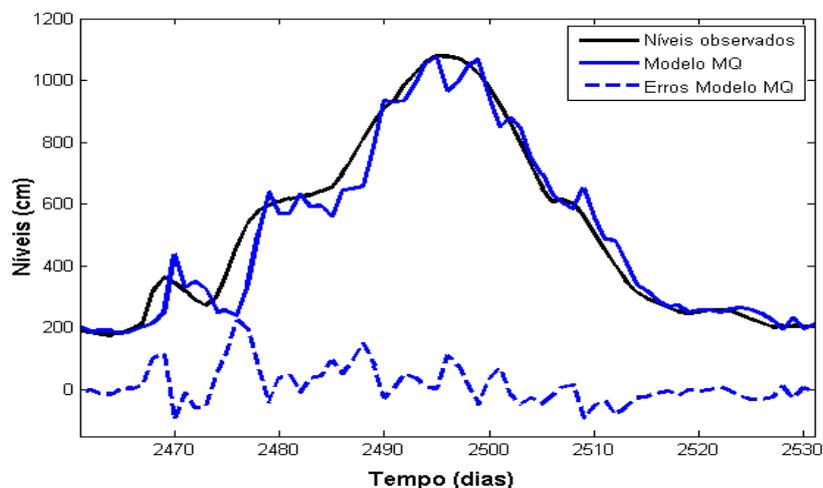


Figura 24: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 72 h (com dados a partir de $t-4$), no período de 01/10/2008 a 10/12/2008, no posto de Itaquí.

Fonte: Autor.

Observando o desempenho dos melhores modelos graficamente, pelas figuras de 19 a 24, nota-se um excelente ajuste entre a previsão realizada e o nível observado até o alcance de 24 horas. A partir do alcance de 34 horas começam a aumentar as diferenças entre os níveis observados e calculados, ocorrendo maiores erros principalmente na ascensão do hidrograma e também no pico.

4.3 Bacia de Passo São Borja

Na figura 25 é apresentado o gráfico com os tempos de viagem da onda de cheia estimados pelos intercorrelogramas entre Passo São Borja e os seus respectivos postos de controle de montante.

No apêndice E é apresentada uma tabela com os resultados das intercorrelações com defasagem de 12 horas para o posto de Passo São Borja.

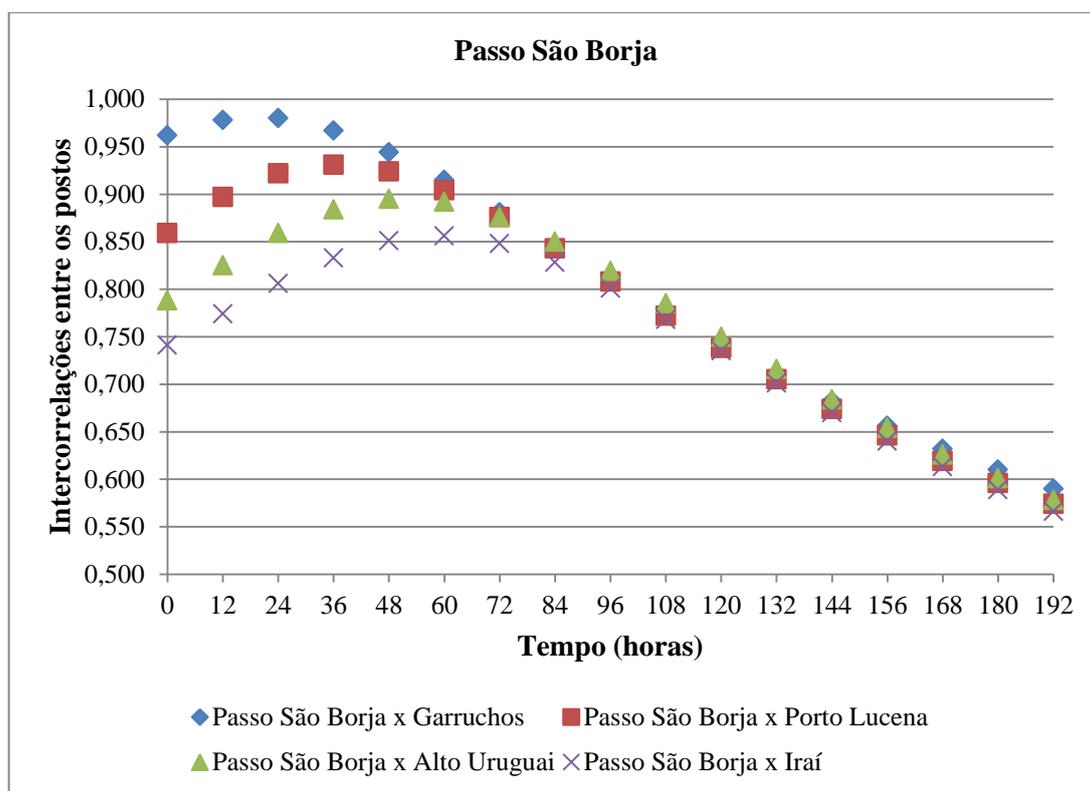


Figura 25: Tempo de viagem da onda de cheia entre Passo São Borja e os seus respectivos postos de controle de montante.

Fonte: Autor.

Na figura 25 pode-se notar que a maior intercorrelação entre:

- Passo São Borja e Garruchos: ocorre com defasagem de 24 h (1 dia);
- Passo São Borja e Porto Lucena: ocorre com defasagem entre 24 h (1 dia) e 48 h (2 dias);
- Passo São Borja e Alto Uruguai: ocorre com defasagem de 48 h (2 dias);
- Passo São Borja e Iraí: ocorre com defasagem entre 48 h (2 dias) e 72 h (3 dias).

Portanto, para a bacia de Passo São Borja, antecedências de três dias seriam suficientes para atender o critério dos tempos de viagem entre os postos mais distantes.

As alternativas (Quadro 8), quanto à proporção da bacia controlada, foram ordenadas em ordem decrescente, resultando: 1) com controle do posto de montante de Garruchos (92,8%); 2) com controle do posto de montante de Porto Lucena (76,2%); 3) com controle do posto de montante de Alto Uruguai (65,8%); 4) com controle do posto de montante de Iraí (49,5%) e 5) sem controle de montante (0%).

Nas tabelas de 13 a 18 são apresentados os resultados dos melhores modelos obtidos para cada alternativa. Os resultados completos das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizados para a verificação da previsão em Passo São Borja podem ser visualizados no Apêndice E. Cada tabela mostra os resultados para cada um dos seis alcances adotados.

Tabela 13: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Passo São Borja com alcance de 10 horas.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQ	t-1	92,8	22,12	0,997
2	MQR+f.e.	t-1	76,2	26,41	0,996
3	MQR+f.e.	t-2	65,8	27,65	0,995
4	MQR	t-2	49,5	29,43	0,994
5	MQR+f.e.	t-1	0	29,10	0,992

Tabela 14: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Passo São Borja com alcance de 24 horas.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQR	t-3	92,8	49,57	0,989
2	MQ	t-1	76,2	51,94	0,986
3	MQ	t-3	65,8	58,16	0,983
4	MQR	t-2	49,5	61,70	0,979
5	MQ	t-2	0	67,95	0,974

Tabela 15: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Passo São Borja com alcance de 34 horas.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQ	t-1	92,8	82,48	0,967
2	MQR+f.e.	t-3	76,2	80,07	0,969
3	MQR+f.e.	t-2	65,8	86,09	0,965
4	MQR+f.e.	t-2	49,5	90,49	0,959
5	MQ	t-3	0	106,21	0,942

Tabela 16: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Passo São Borja com alcance de 48 horas.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQR	t-1	92,8	130,80	0,928
2	MQR+f.e.	t-3	76,2	117,64	0,934
3	MQR	t-1	65,8	116,95	0,933
4	MQR	t-2	49,5	126,41	0,922
5	MQR	t-2	0	159,94	0,886

Tabela 17: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Passo São Borja com alcance de 58 horas.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQR	t-1	92,8	165,37	0,885
2	MQR+f.e.	t-3	76,2	156,66	0,894
3	MQR+f.e.	t-2	65,8	142,67	0,901
4	MQR	t-3	49,5	154,31	0,894
5	MQR+f.e.	t-1	0	196,85	0,834

Tabela 18: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Passo São Borja com alcance de 72 horas.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQR	t-3	92,8	210,26	0,821
2	MQR+f.e.	t-3	76,2	200,59	0,834
3	MQR+f.e.	t-3	65,8	186,27	0,843
4	MQR	t-2	49,5	186,06	0,839
5	MQ	t-3	0	235,38	0,772

Para o alcance de 10 horas (Tabela 13) os coeficientes de NS variaram entre 0,992 e 0,997. Os melhores desempenhos, tanto para os modelos fixos (MQ) quanto com uso de técnicas adaptativas, ocorrem com antecedências de $t-1$ e $t-2$ dias. A alternativa 1 apresentou melhor desempenho com o modelo fixo (MQ), enquanto que a alternativa 4 apresentou melhor desempenho com os MQR. As alternativas 2, 3 e 5, apresentaram melhor desempenho com os recursos adaptativos completos (MQR+f.e.). Os EA(0,95)s dos melhores modelos crescem com a redução da área controlada, até a alternativa 4, entre 22,12 cm (alternativa 1) e 29,43 cm (alternativa 4), respectivamente, com NSs variando de 0,997 a 0,992.

O melhor modelo, para o alcance de 10 horas, foi encontrado com a alternativa 1, que utiliza além dos dados do próprio local de previsão (Passo São Borja), dados da maior bacia de controle de montante (Garruchos), com a utilização dos dados a partir do dia $t-1$, sendo encontrado coeficiente de NS de 0,997 e EA(0,95) de 22,12 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização do modelo fixo (MQ).

Para o alcance de 24 horas (Tabela 14) os coeficientes de NS variaram entre 0,974 e 0,989. Os melhores desempenhos, tanto para os modelos fixos (MQ) quanto com uso de técnicas adaptativas, ocorrem com antecedências de $t-1$ a $t-3$ dias. As alternativas 2, 3 e 5 apresentaram melhor desempenho com o modelo fixo (MQ), enquanto que as alternativas 1 e 4 apresentaram melhor desempenho com os MQR. O uso dos recursos adaptativos completos (MQR+f.e.), para este alcance, não proporcionou melhoria no desempenho dos modelos em relação à utilização das outras técnicas mais simples. Os EA(0,95)s dos melhores modelos crescem com a redução da área controlada, entre 49,57 cm (alternativa 1) e 67,95 cm (alternativa 5). Os NSs respectivos variam de 0,989 a 0,974.

O melhor modelo, para o alcance de 24 horas, foi encontrado com a alternativa 1, com a utilização dos dados a partir do dia $t-3$, sendo encontrado coeficiente de NS de 0,989 e EA(0,95) de 49,57 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização dos MQR.

Para o alcance de 34 horas (Tabela 15) os coeficientes de NS variaram entre 0,942 e 0,967. Os melhores desempenhos, tanto para os modelos fixos (MQ) quanto com uso de técnicas adaptativas, ocorrem com antecedências de $t-1$ a $t-3$ dias. As alternativas 1 e 5 apresentaram melhor desempenho com o modelo fixo (MQ), enquanto que as alternativas 2, 3 e 4 apresentaram melhor desempenho com o uso dos recursos adaptativos completos (MQR+f.e.). Os EA(0,95)s dos melhores modelos crescem com a redução da área controlada, a partir da alternativa 2, entre 80,07 cm (alternativa 2) e 106,21 cm (alternativa 5). Os NSs respectivos variam de 0,969 a 0,942.

O melhor modelo, para o alcance de 34 horas, foi encontrado com a alternativa 2, com a utilização dos dados a partir do dia $t-3$, sendo encontrado coeficiente de NS de 0,969 e EA(0,95) de 80,07 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização do procedimento adaptativo completo (MQR+f.e.).

Para o alcance de 48 horas (Tabela 16) os coeficientes de NS variaram entre 0,886 e 0,934. Os melhores desempenhos, tanto para os modelos fixos (MQ) quanto com uso de técnicas adaptativas, ocorrem com antecedências de $t-1$ a $t-3$ dias. As alternativas 1, 3, 4 e 5 apresentaram melhor desempenho com os MQR, enquanto que a alternativa 2 apresentou melhor desempenho com o uso dos recursos adaptativos completos (MQR+f.e.).

O melhor modelo, para o alcance de 48 horas, foi encontrado com a alternativa 3, com a utilização dos dados a partir do dia $t-1$, sendo encontrado coeficiente de NS de

0,93 e EA(0,95) de 116,95 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização dos MQR.

Para o alcance de 58 horas (Tabela 17) os coeficientes de NS variaram entre 0,834 e 0,901. Os melhores desempenhos, tanto para os modelos fixos (MQ) quanto com uso de técnicas adaptativas, ocorrem com antecedências de $t-1$ a $t-3$ dias. As alternativas 1 e 4 apresentaram melhor desempenho com os MQR, enquanto que as demais alternativas (2, 3 e 5) apresentaram melhor desempenho com o uso dos recursos adaptativos completos (MQR+f.e.).

Os melhor modelo, para o alcance de 58 horas, foi encontrados com a alternativa 3, com a utilização dos dados a partir de $t-2$ dias, sendo encontrado coeficiente de NS de 0,901 e EA(0,95) de 142,67 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização do procedimento adaptativo completo (MQR+f.e.).

Para o alcance de 72 horas (Tabela 18) os coeficientes de NS variaram entre 0,772 e 0,843. Os melhores desempenhos, tanto para os modelos fixos (MQ), quanto com técnicas adaptativas ocorrem com antecedências de $t-2$ e $t-3$ dias. As alternativas 1 e 4 apresentaram melhor desempenho com os MQR, enquanto que a alternativa 5 apresentou melhor desempenho com o uso do MQ. O uso dos recursos adaptativos completos (MQR + f.e.) proporcionou melhor desempenho para as alternativas 2 e 3. O menor erro EA(0,95) encontrado para este alcance, foi obtido com a alternativa 4, sendo encontrado EA(0,95) de 186,06 cm com a utilização dos dados a partir do dia $t-2$. Este resultado foi encontrado com a utilização dos MQR.

Observa-se que, em geral, conforme aumentou o alcance (de 10 horas para 34 horas), o melhor modelo foi obtido com o uso de recursos cada vez mais sofisticados. Para o alcance de 10 horas, o melhor modelo foi obtido com o uso dos MQ, enquanto que para o alcance de 24 horas, foi obtido o melhor desempenho com o uso dos MQR. Já para o alcance de 34 horas foi obtido o melhor desempenho com a técnica adaptativa completa (MQR + f.e.). Também foi observado que, conforme aumentou o alcance (de 10 horas para 24 horas) foi obtido melhor desempenho com as alternativas localizadas mais a montante do local de previsão, sendo que para os alcances de 10 e 24 horas foram obtidos os melhores desempenhos com a alternativa 1 e, para o alcance de 34 horas, com a alternativa 2. Além disso, foi observado que à medida que aumentou o alcance da previsão (de 10 para 34 horas), os melhores resultados foram sendo obtidos com a utilização de dados com antecedência maior, sendo obtido para o alcance de 10 horas, o melhor modelo com a utilização de dados de até um dia anterior ($t-1$) e, para os

alcances de 24 e 34 horas, os melhores modelos com a utilização dos dados de até 3 dias anteriores ($t-3$).

Para os maiores alcances foi observada uma tendência semelhante à verificada para os menores alcances, pois os melhores modelos para os alcances de 48 e 58 horas foram obtidos com a alternativa 3, localizadas mais a montante e, para o alcance de 72 horas, com a alternativa 4. Para todos os maiores alcances (48 a 72 horas) foi importante a utilização de dados com antecedências de 1 até 2 dias e a utilização das técnicas adaptativas. Porém, para estes alcances, embora os recursos adaptativos tenham proporcionado melhorias para a maior parte das alternativas, os resultados das previsões foram insatisfatórios e as técnicas adaptativas não foram suficientes para fazer muita diferença.

As figuras de 26 a 31 apresentam os resultados dos melhores modelos obtidos para cada alcance. Nas figuras são apresentados os níveis observados e calculados, e a diferença entre eles, para o período de 07/05/2005 a 16/07/2005. Neste período o maior nível atingido em Passo São Borja foi de 13,72 m às 17h, no dia 21/06/2005.

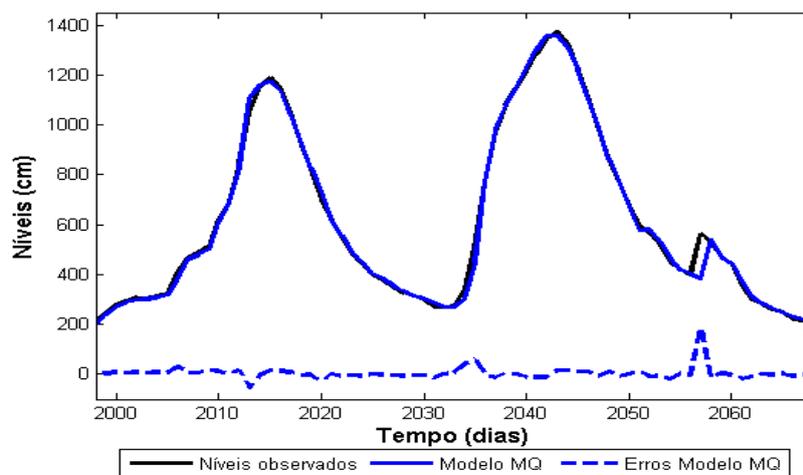


Figura 26: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 10 h (com dados a partir de $t-1$), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Passo São Borja.

Fonte: Autor.

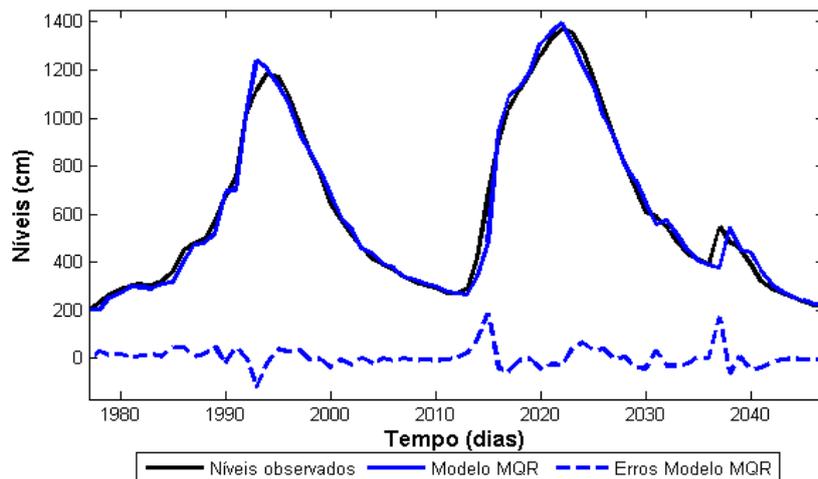


Figura 27: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 24 h (com dados a partir de $t-3$), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Passo São Borja.

Fonte: Autor.

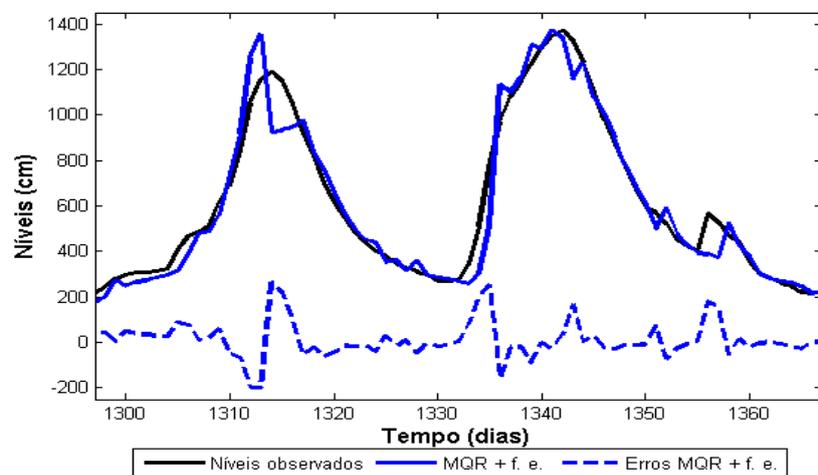


Figura 28: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 34 h (com dados a partir de $t-3$), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Passo São Borja.

Fonte: Autor.

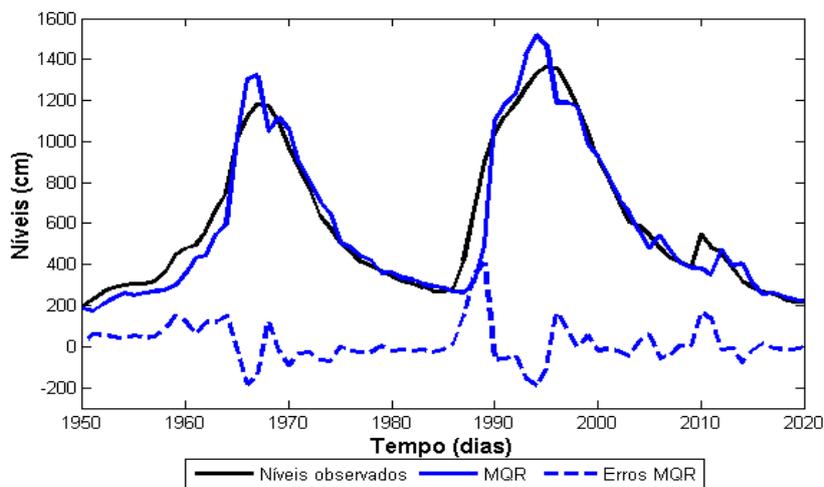


Figura 29: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 48 h (com dados a partir de $t-1$), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Passo São Borja.

Fonte: Autor.

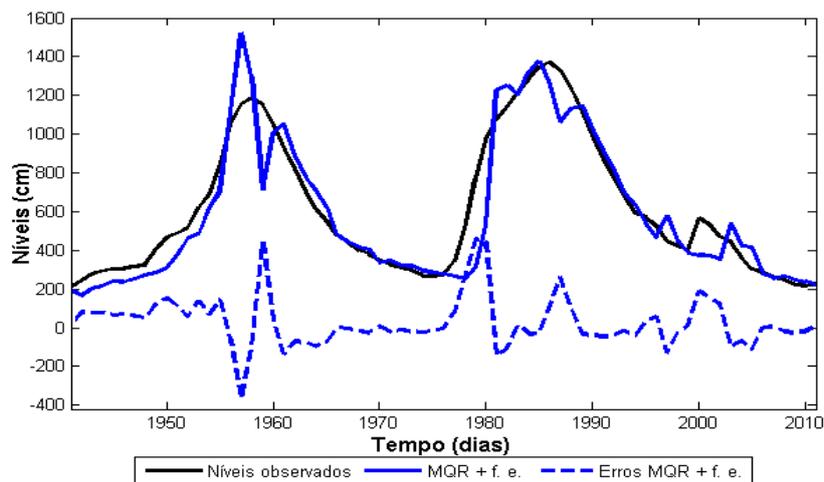


Figura 30: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 58 h (com dados a partir de $t-2$), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Passo São Borja.

Fonte: Autor.

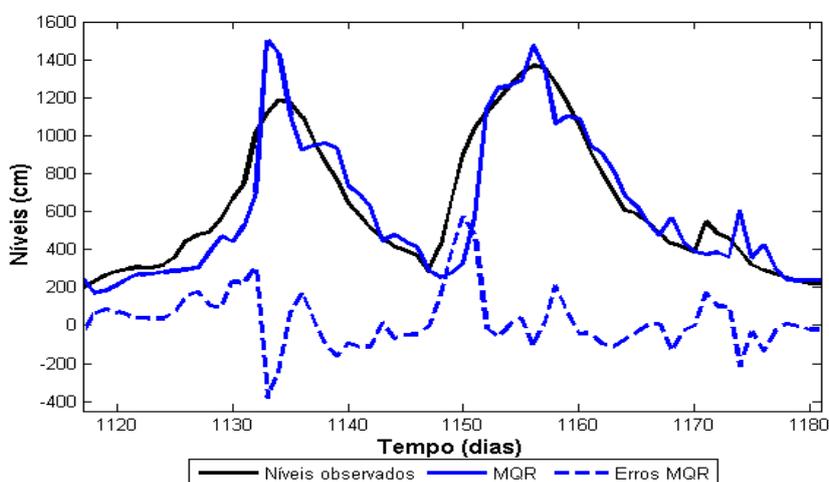


Figura 31: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 72 h (com dados a partir de $t-2$), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Passo São Borja.

Fonte: Autor.

Conforme pode ser observado nos gráficos das figuras de 26 a 31, os modelos para previsões até o alcance de 24 horas apresentam um ótimo ajuste tanto na ascensão, quanto no pico e na recessão do hidrograma. Os valores calculados são muito próximos aos observados para estes modelos, com diferenças muito pequenas. A partir do alcance de 34 h a qualidade dos modelos começa a se deteriorar, observando-se um aumento na diferença entre os valores observados e calculados pelo modelo, com maiores erros nos picos e ascensões do hidrograma. Também é possível observar que, a partir do alcance de 34 h ocorre uma superestimação do primeiro pico e uma pequena defasagem temporal na subida do hidrograma.

4.4 Bacia de Garruchos

Na figura 32 é apresentado o gráfico com os tempos de viagem da onda de cheia estimados pelos intercorrelogramas entre Garruchos e os seus respectivos postos de controle de montante.

No apêndice F é apresentada uma tabela com os resultados das intercorrelações com defasagem de 12 horas para o posto de Garruchos.

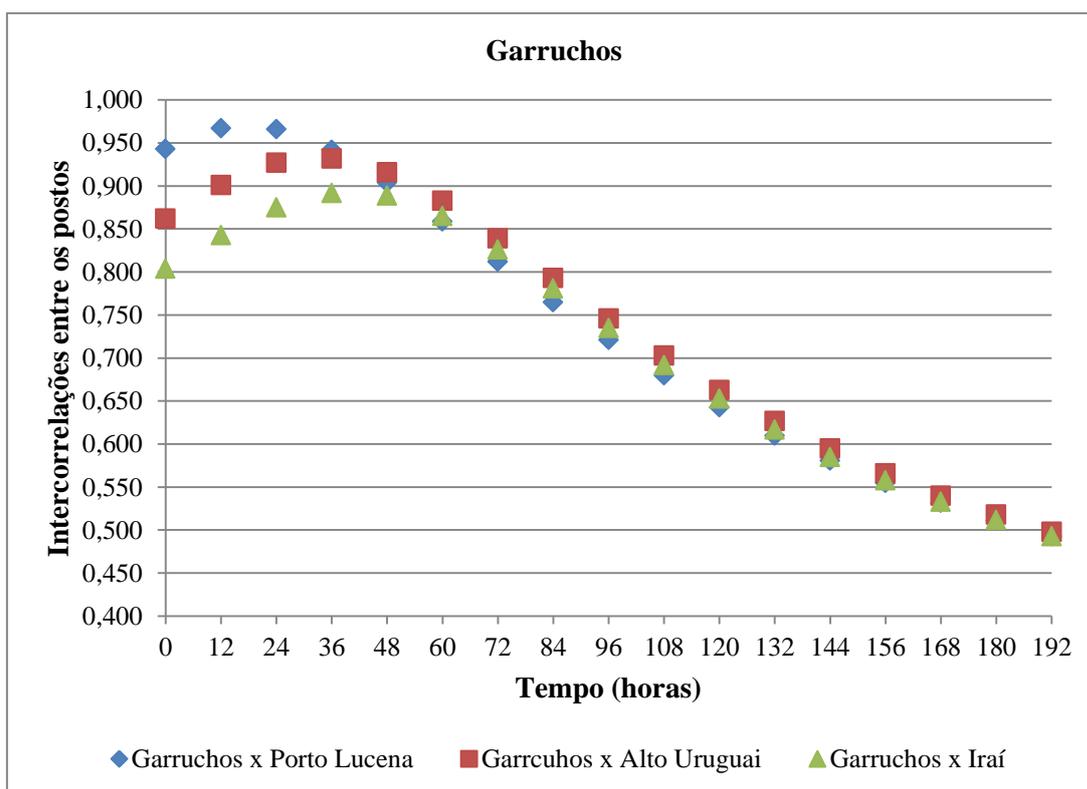


Figura 32: Tempo de viagem da onda de cheia entre Garruchos e os seus respectivos postos de controle de montante.

Fonte: Autor.

Na figura 32 pode-se notar que a maior intercorrelação entre:

- Garruchos e Porto Lucena: ocorre com defasagem de 12 h;
- Garruchos e Alto Uruguai: ocorre com defasagem entre 24 h (1 dia) e 48 h (2 dias);
- Garruchos e Iraí: ocorre com defasagem entre 24 h (1 dia) e 48 h (2 dias).

Portanto, para a bacia de Garruchos, antecedências de dois dias seriam suficientes para atender o critério dos tempos de viagem entre os postos mais distantes.

As alternativas (Quadro 9), quanto à proporção da bacia controlada, foram ordenadas em ordem decrescente, resultando: 1) com controle do posto de montante de Porto Lucena (82,1%); 2) com controle do posto de montante de Alto Uruguai (70,9%); 3) com controle do posto de montante de Iraí (53,4%) e 4) sem controle de montante (0%).

Nas tabelas 19 a 24 são apresentados os resultados dos melhores modelos obtidos para cada alternativa. Os resultados completos das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizados para a verificação da previsão em Garruchos podem ser visualizados no Apêndice F. Cada tabela mostra os resultados para cada um dos seis alcances adotados.

Tabela 19: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Garruchos com alcance de 10 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQR	t-1	82,1	34,29	0,995
2	MQR	t-1	70,9	40,47	0,993
3	MQR	t-2	53,4	41,59	0,992
4	MQR+f.e.	t-1	0	46,80	0,990

Tabela 20: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Garruchos com alcance de 24 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQR+f.e.	t-1	82,1	132,47	0,930
2	MQR+f.e.	t-1	70,9	112,32	0,948
3	MQR	t-2	53,4	122,96	0,941
4	MQR	t-1	0	166,80	0,894

Tabela 21: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Garruchos com alcance de 34 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQR+f.e.	t-1	82,1	132,47	0,930
2	MQR+f.e.	t-1	70,9	112,32	0,948
3	MQR	t-2	53,4	122,96	0,941
4	MQR	t-1	0	166,80	0,894

Tabela 22: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Garruchos com alcance de 48 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQR+f.e.	t-1	82,1	207,70	0,842
2	MQR	t-1	70,9	162,64	0,888
3	MQR	t-2	53,4	166,74	0,884
4	MQR	t-2	0	228,50	0,801

Tabela 23: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Garruchos com alcance de 58 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQ	t-2	82,1	253,46	0,767
2	MQR	t-1	70,9	204,25	0,831
3	MQR	t-2	53,4	207,09	0,830
4	MQR+f.e.	t-1	0	270,77	0,737

Tabela 24: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Garruchos com alcance de 72 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQR	t-1	82,1	306,95	0,676
2	MQR	t-1	70,9	268,91	0,733
3	MQR	t-2	53,4	265,68	0,729
4	MQR	t-2	0	321,01	0,638

Para o alcance de 10 horas (Tabela 19) os coeficientes de NS variaram entre 0,990 e 0,995. Até a alternativa 3, o uso dos MQR proporcionou qualidade ligeiramente superior das previsões, com EA(0,95)s entre 34,29 e 41,59 cm, enquanto que, para a alternativa 4 (menor proporção de área controlada), o melhor modelo foi obtido com o uso do procedimento adaptativo completo (MQR+f.e.). Os EA(0,95)s dos melhores modelos crescem com a redução da área controlada, entre 34,29 cm (alternativa 1) e 46,80 cm (alternativa 4). Os NSs respectivos variam de 0,995 a 0,990.

O melhor modelo, para o alcance de 10 horas, foi encontrado com a alternativa 1, que utiliza além dos dados do próprio local de previsão (Garruchos), dados da maior bacia de controle de montante (Porto Lucena) (com a utilização dos dados a partir do dia anterior $t-1$), sendo encontrado coeficiente de NS de 0,995 e EA(0,95) de 34,29 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização dos MQR.

Para o alcance de 24 horas (Tabela 20) os coeficientes de NS variaram entre 0,945 e 0,972. Procedimentos adaptativos completos (MQR+f.e.) foram importantes para as alternativas 1 e 4, enquanto que o uso somente de MQR, para as alternativas 2 e 3. Os EA(0,95)s dos melhores modelos crescem com a redução da área controlada, a partir da alternativa 2, entre 87,29 cm (alternativa 2) e 118,83 cm (alternativa 4). Os NSs respectivos variam de 0,972 a 0,945.

O melhor modelo, para o alcance de 24 horas, foi encontrado com a alternativa 2, com a utilização dos dados a partir do dia $t-2$, sendo encontrado coeficiente de NS de 0,972 e EA(0,95) de 87,29 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização dos MQR.

Para o alcance de 34 horas (Tabela 21) os coeficientes de NS variaram entre 0,894 e 0,948. Até a alternativa 2, os procedimentos adaptativos completos (MQR+f.e.) proporcionaram qualidade ligeiramente superior das previsões, com EA(0,95)s entre 132,47 e 112,32 cm, enquanto que, para as alternativas 3 e 4 (menores proporções de área controlada), não apresentaram melhorias em relação aos modelos recursivos sem esquecimento (MQR), cujos EA(0,95)s foram acima de 122,96 cm, com máximo para a alternativa 4, com 166,80 cm. Os EA(0,95)s dos melhores modelos crescem com a redução da área controlada, a partir da alternativa 2, entre 112,32 cm (alternativa 2) e 166,80 cm (alternativa 4). Os NSs respectivos variam de 0,948 a 0,894.

O melhor modelo, para o alcance de 34 horas, foi encontrado com a alternativa 2, com a utilização dos dados a partir do dia anterior ($t-1$), sendo encontrado coeficiente de NS de 0,948 e EA(0,95) de 112,32 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização do procedimento adaptativo completo (MQR+f.e.).

Para o alcance de 48 horas (Tabela 22) os coeficientes de NS variaram entre 0,801 e 0,888. Os procedimentos adaptativos completos (MQR+f.e.) foram importantes somente para a alternativa 1, enquanto que para as demais alternativas (2 a 4) o uso dos MQR proporcionou melhores desempenhos para os modelos. Os EA(0,95)s dos melhores modelos crescem com a redução da área controlada, a partir da alternativa 2, entre 162,64 cm (alternativa 2) e 228,50 cm (alternativa 4). Os NSs respectivos variam de 0,888 a 0,801.

O melhor modelo, para o alcance de 48 horas, foi encontrado com a alternativa 2, com a utilização dos dados a partir do dia anterior ($t-1$), sendo encontrado coeficiente de NS de 0,899 e EA(0,95) de 162,64 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização dos MQR.

Para o alcance de 58 horas (Tabela 23) os coeficientes de NS variaram entre 0,737 e 0,831. Para a alternativa 1, o melhor desempenho dos modelos foi obtido com o uso do modelo fixo (MQ), enquanto que, para as alternativas 2 e 3, o uso dos MQR proporcionou melhores resultados. O uso dos procedimentos adaptativos completos (MQR+f.e.) proporcionou melhoria no desempenho dos modelos somente para a alternativa 4 (com a menor proporção de área de montante controlada). Os EA(0,95)s dos melhores modelos crescem com a redução da área controlada, a partir da alternativa 2, entre 204,25 cm (alternativa 2) e 270,77 cm (alternativa 4). Os NSs respectivos variam de 0,831 a 0,737.

O melhor modelo, para o alcance de 58 horas, foi encontrado com a alternativa 2, com a utilização dos dados a partir do dia anterior ($t-1$), sendo encontrado coeficiente de NS de 0,831 e EA(0,95) de 204,25 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização dos MQR.

Para o alcance de 72 horas (Tabela 24) os coeficientes de NS variaram entre 0,638 e 0,733. Para todas as alternativas, os melhores modelos foram obtidos com o uso dos MQR. Os EA(0,95)s dos melhores modelos crescem com a redução da área controlada, a partir da alternativa 3, entre 265,68 cm (alternativa 3) e 321,01 cm (alternativa 4). Os NSs respectivos variam de 0,729 a 0,638.

O melhor modelo, para o alcance de 72 horas, foi encontrado com a alternativa 3, sendo encontrados coeficientes de NS de 0,729 e EA(0,95) de 265,68 cm para a configuração com dados a partir do dia $t-2$. Este resultado foi encontrado com a utilização dos MQR.

Pode-se observar que os melhores modelos para todos os alcances, foram obtidos com o uso dos recursos adaptativos, com o uso dos MQR+f.e. para o alcance de 34h e, para os demais, com o uso dos MQR.

As figuras de 33 a 38 apresentam os resultados dos melhores modelos obtidos para cada alcance. Nas figuras são apresentados os níveis observados e calculados, e a diferença entre eles, para o período de 07/05/2005 a 16/07/2005. Neste período o maior nível atingido em Garruchos foi de 16,98 m às 17h, no dia 20/06/2005.

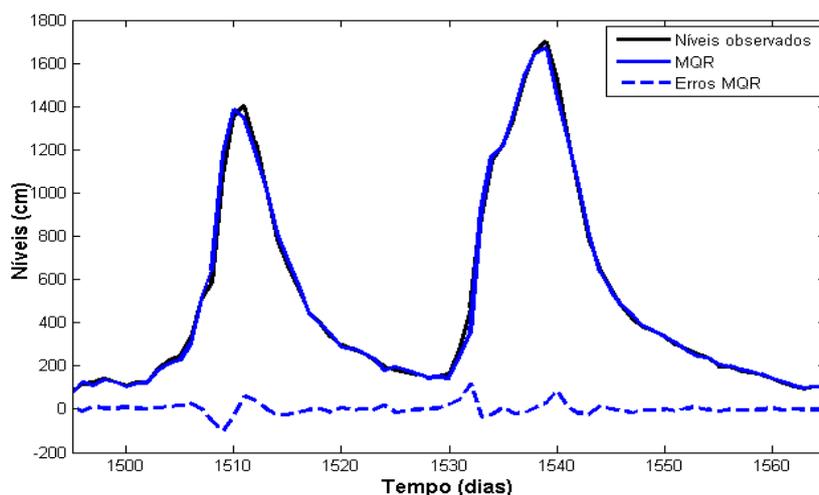


Figura 33: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 10 h (com dados a partir de $t-1$), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Garruchos.

Fonte: Autor.

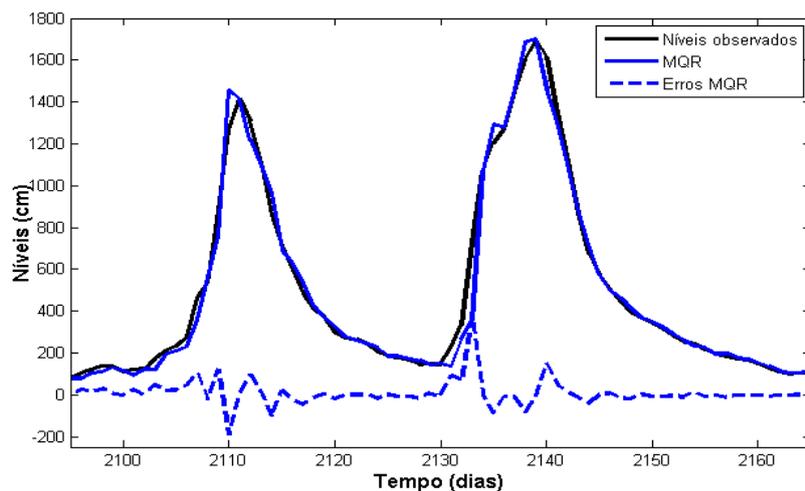


Figura 34: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 24 h (com dados a partir de $t-2$), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Garruchos.

Fonte: Autor.

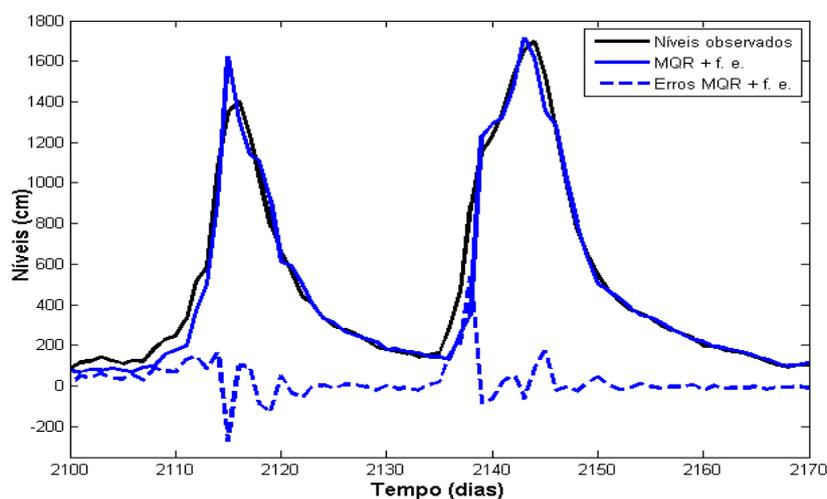


Figura 35: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 34 h (com dados a partir de $t-1$), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Garruchos.

Fonte: Autor.

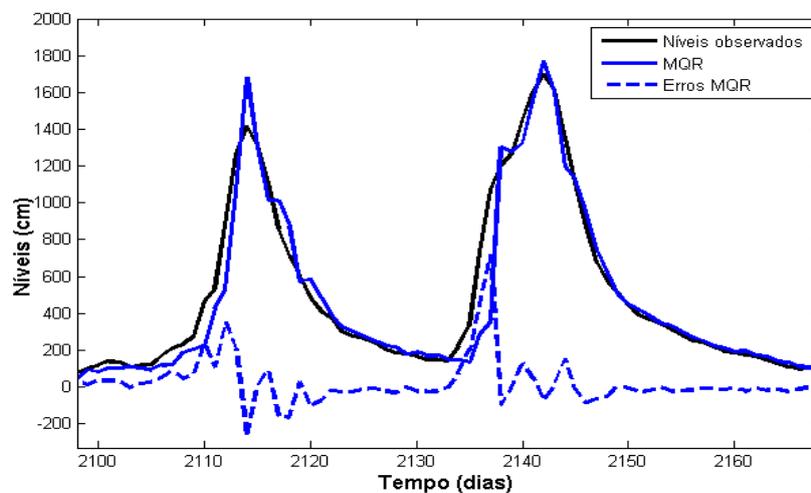


Figura 36: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 48 h (com dados a partir de $t-1$), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Garruchos.

Fonte: Autor.

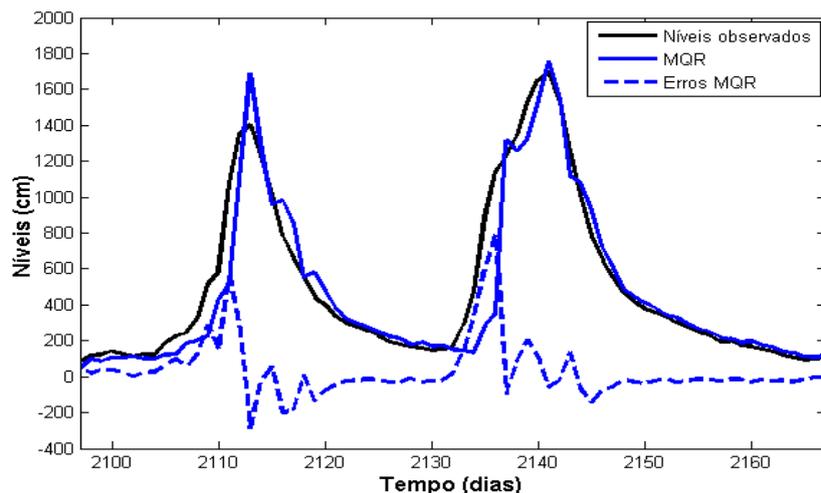


Figura 37: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 58 h (com dados a partir de $t-1$), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Garruchos.

Fonte: Autor.

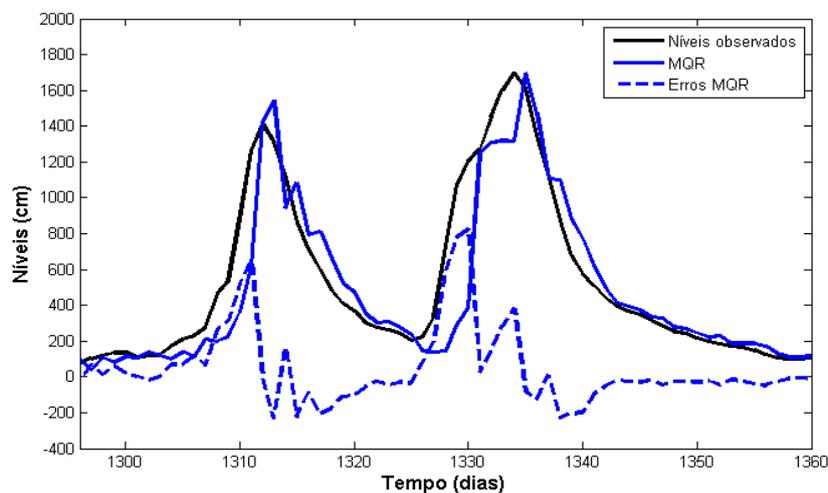


Figura 38: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 72 h (com dados a partir de $t-2$), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Garruchos.

Fonte: Autor.

Observando o desempenho dos melhores modelos graficamente, pelas figuras de 33 a 38, nota-se que até o alcance de 24h os modelos tiveram bom desempenho tanto na subida do hidrograma quanto na previsão do pico para esta antecedência. É possível observar que os níveis calculados foram muito parecidos com os observados, porém as maiores diferenças ocorreram nos picos e ascensões do hidrograma. A partir do alcance de 34h o modelo tende a superestimar o primeiro pico e começa a ocorrer uma pequena defasagem temporal na ascensão do hidrograma.

4.5 Bacia de Porto Lucena

Na figura 39 é apresentado o gráfico com os tempos de viagem da onda de cheia estimados pelos intercorrelogramas entre Porto Lucena e os seus respectivos postos de controle de montante.

No apêndice G é apresentada uma tabela com os resultados das intercorrelações com defasagem de 12 horas para o posto de Porto Lucena.

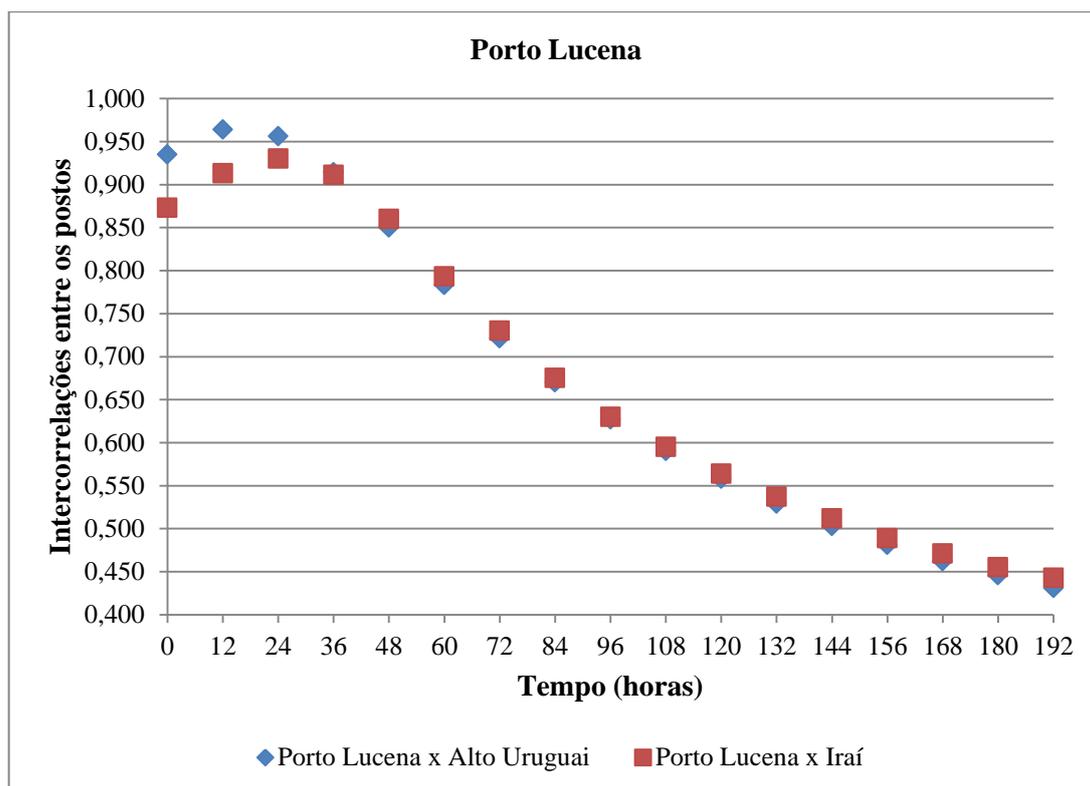


Figura 39: Tempo de viagem da onda de cheia entre Porto Lucena e os seus respectivos postos de controle de montante.

Fonte: Autor.

Na figura 39 pode-se notar que a maior intercorrelação entre:

- Porto Lucena e Alto Uruguai: ocorre com defasagem de 12 h;
- Porto Lucena e Iraí: ocorre com defasagem de 24 h (1 dia).

Portanto, para a bacia de Porto Lucena, antecedência de um dia seria suficiente para atender o critério dos tempos de viagem entre os postos mais distantes.

As alternativas (Quadro 10), quanto à proporção da bacia controlada, foram ordenadas em ordem decrescente, resultando: 1) com controle do posto de montante de

Alto Uruguai (86,4%); 2) com controle do posto de montante de Iraí (65,0%) e 3) sem controle de montante (0%).

Nas tabelas de 25 a 30 são apresentados os resultados dos melhores modelos obtidos para cada alternativa. Os resultados completos das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizados para a verificação da previsão em Porto Lucena podem ser visualizados no Apêndice G. Cada tabela mostra os resultados para cada um dos seis alcances adotados.

Tabela 25: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Porto Lucena com alcance de 10 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQR+f.e.	t-1	86,4	25,10	0,987
2	MQR	t-1	65,0	28,93	0,984
3	MQR	t-1	0	32,72	0,977

Tabela 26: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Porto Lucena com alcance de 24 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQR+f.e.	t-1	86,4	50,13	0,941
2	MQR	t-1	65,0	57,83	0,934
3	MQR+f.e.	t-1	0	76,82	0,873

Tabela 27: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Porto Lucena com alcance de 34 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQR+f.e.	t-1	86,4	76,46	0,862
2	MQR+f.e.	t-1	65	75,20	0,880
3	MQR+f.e.	t-1	0	103,60	0,769

Tabela 28: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Porto Lucena com alcance de 48 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQR	t-1	86,4	114,93	0,719
2	MQR+f.e.	t-1	65	108,12	0,748
3	MQR+f.e.	t-1	0	138,19	0,620

Tabela 29: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Porto Lucena com alcance de 58 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQ	t	86,4	136,68	0,586
2	MQR+f.e.	t-1	65	131,62	0,630
3	MQ	t-1	0	150,91	0,511

Tabela 30: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Porto Lucena com alcance de 72 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQ	t	86,4	154,05	0,479
2	MQR+f.e.	t-1	65,0	161,36	0,501
3	MQ	t	0	163,52	0,428

Para o alcance de 10 horas (Tabela 25), os coeficientes de NS variaram entre 0,977 e 0,987. Os melhores desempenhos, tanto para os modelos fixos (MQ) quanto com uso de técnicas adaptativas, ocorrem com antecedências de $t-1$ dias. O uso dos procedimentos adaptativos completos (MQR+f.e.) proporcionou melhor desempenho para a alternativa 1, enquanto que, para as alternativas 2 e 3 (menores proporções de área controlada), não apresentaram melhorias em relação aos modelos com MQR. Os EA(0,95)s dos melhores modelos crescem com a redução da área controlada, entre 25,10 cm (alternativa 1) e 32,72 cm (alternativa 3). Os NSs respectivos variam de 0,987 a 0,977.

O melhor modelo, para o alcance de 10 horas, foi encontrado com a alternativa 1, que utiliza além dos dados do próprio local de previsão (Porto Lucena), dados da maior bacia de controle de montante (Alto Uruguai) (com a utilização dos dados a partir do dia anterior $t-1$), sendo encontrado coeficiente de NS de 0,987 e EA(0,95) de 25,10 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização do procedimento adaptativo completo (MQR+f.e.).

Para o alcance de 24 horas (Tabela 26), os coeficientes de NS variaram entre 0,873 e 0,941. Os melhores desempenhos, tanto para os modelos fixos (MQ) quanto com uso de técnicas adaptativas, ocorrem com antecedências de $t-1$ dias. O uso dos procedimentos adaptativos completos (MQR+f.e.) proporcionou melhor desempenho para as alternativas 1 e 3, enquanto que, para a alternativa 2, o melhor desempenho foi obtido com o uso dos MQR. Os EA(0,95)s dos melhores modelos crescem com a redução da área controlada, entre 50,13 cm (alternativa 1) e 76,82 cm (alternativa 3). Os NSs respectivos variam de 0,941 a 0,873.

O melhor modelo, para o alcance de 24 horas, foi encontrado com a alternativa 1, com a utilização dos dados a partir do dia anterior ($t-1$), sendo encontrado coeficiente de NS de 0,941 e EA(0,95) de 50,13 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização do procedimento adaptativo completo (MQR+f.e.).

Para o alcance de 34 horas (Tabela 27), os coeficientes de NS variaram entre 0,769 e 0,862. Os melhores modelos, para todas as alternativas, foram obtidos com o uso dos procedimentos adaptativos completos (MQR+f.e.), com EA(0,95)s entre 75,20 cm e 103,60 cm. Os NSs respectivos variam entre 0,880 a 0,769.

O melhor modelo, para o alcance de 34 horas, foi encontrado com a alternativa 2, com a utilização dos dados a partir do dia anterior $t-1$, sendo encontrado coeficiente de NS de 0,880 e EA(0,95) de 75,20 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização do procedimento adaptativo completo (MQR+f.e.).

Para o alcance de 48 horas (Tabela 28), os coeficientes de NS variaram entre 0,620 e 0,748. O uso dos procedimentos adaptativos completos (MQR+f.e.) proporcionou melhor desempenho para as alternativas 2 e 3, enquanto que, para a alternativa 1 o melhor desempenho foi obtido com o uso dos MQR.

Os melhor modelo, para o alcance de 48 horas, foi encontrado com a alternativa 2, com a utilização dos dados a partir do dia anterior $t-1$, sendo encontrado coeficiente de NS de 0,748 e EA(0,95) de 108,12 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização do procedimento adaptativo completo (MQR+f.e.).

Para o alcance de 58 horas (Tabela 29), os coeficientes de NS variaram entre 0,511 e 0,630. O uso do procedimento adaptativo completo (MQR+f.e.) proporcionou melhor desempenho para a alternativa 2, enquanto que, para as alternativas 1 e 3 o melhor desempenho foi obtido com o uso do modelo fixo (MQ).

Os melhor modelo, para o alcance de 58 horas, foi encontrado com a alternativa 2, com a utilização dos dados a partir do dia anterior ($t-1$), sendo encontrado coeficiente de NS de 0,630 e EA(0,95) de 131,62 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização do procedimento adaptativo completo (MQR+f.e.).

Para o alcance de 72 horas (Tabela 30), os coeficientes de NS variaram entre 0,428 e 0,501. Os melhores desempenhos para os modelos fixos (MQ) ocorrem com a utilização de dados somente do dia atual (t), enquanto que, para os modelos adaptativos, com antecedências de $t-1$ dias. O uso dos procedimentos adaptativos completos (MQR+f.e.) proporcionou melhor desempenho para a alternativa 2, enquanto que, para as alternativas 1 e 3 o melhor desempenho foi obtido com o uso do modelo fixo (MQ). Os EA(0,95)s dos melhores modelos crescem com a redução da área controlada, entre 154,05 cm (alternativa 1) e 163,52 cm (alternativa 3). Os NSs respectivos variam de 0,479 a 0,428.

Os melhor modelo, para o alcance de 72 horas, foi encontrados com a alternativa 1, com a utilização dos dados somente do dia atual t , sendo encontrado coeficiente de NS de 0,479 e EA(0,95) de 154,05 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização do modelo fixo (MQ).

As figuras de 40 a 45 apresentam os resultados dos melhores modelos obtidos para cada alcance. Nas figuras são apresentados os níveis observados e calculados, e a diferença entre eles, para o período de 07/05/2005 a 16/07/2005. Neste período o maior nível atingido em Porto Lucena foi de 10,45 m às 17h, no dia 19/06/2005.

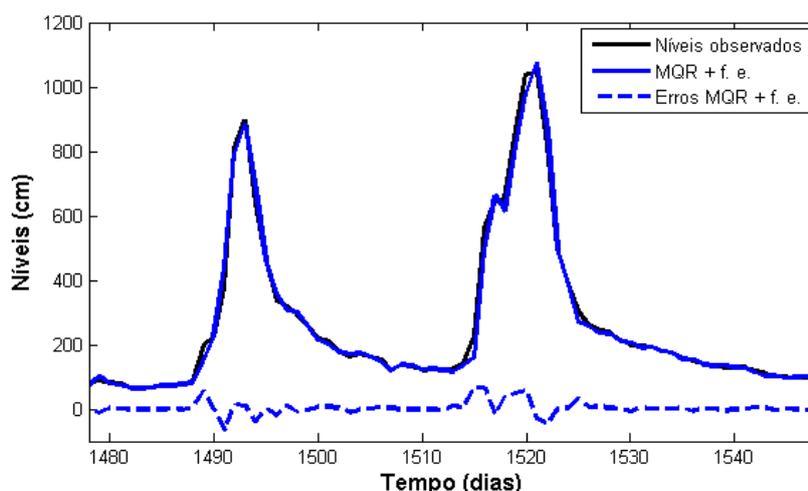


Figura 40: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 10 h (com dados a partir de $t-1$), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Porto Lucena.

Fonte: Autor.

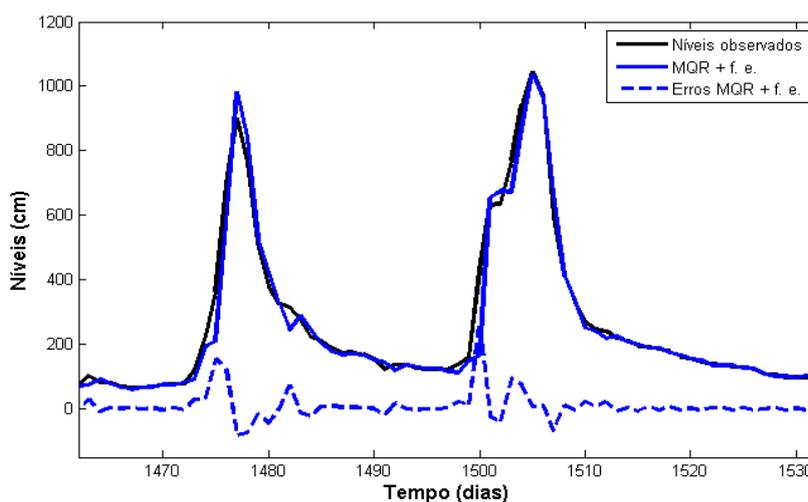


Figura 41: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 24 h (com dados a partir de $t-1$), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Porto Lucena.

Fonte: Autor.

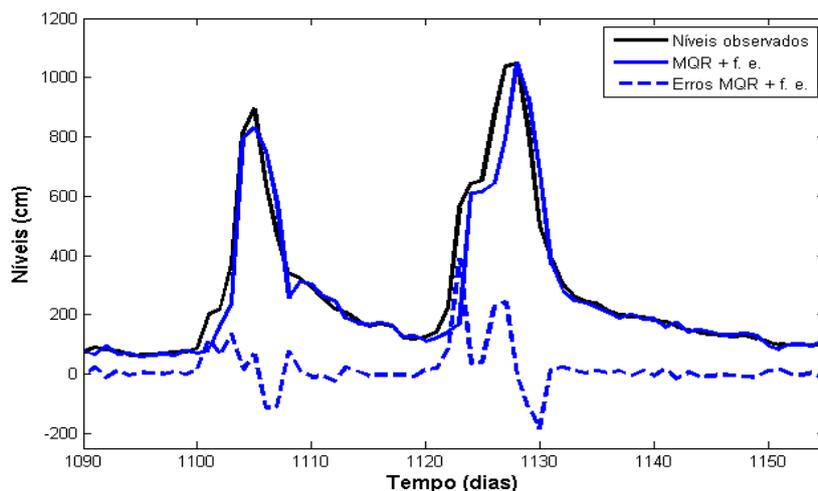


Figura 42: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 34 h (com dados a partir de t-1), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Porto Lucena.

Fonte: Autor.

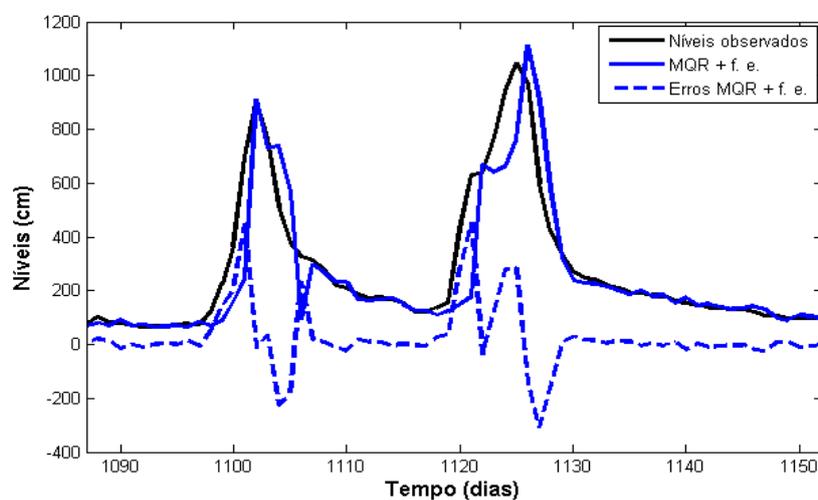


Figura 43: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 48 h (com dados a partir de t-1), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Porto Lucena.

Fonte: Autor.

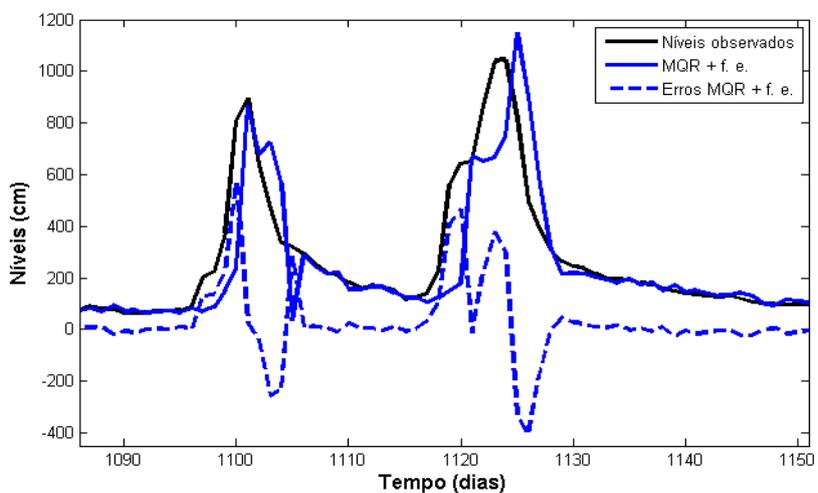


Figura 44: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 58 h (com dados a partir de t-1), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Porto Lucena.

Fonte: Autor.

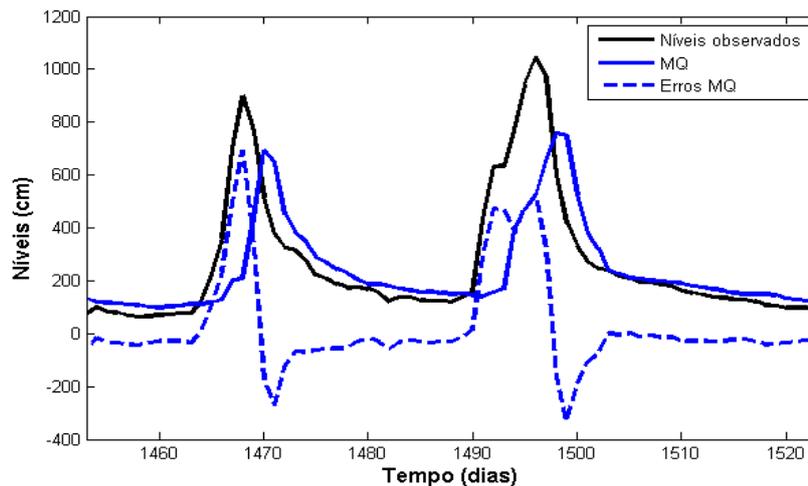


Figura 45: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 72 h (com dados do dia atual t), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Porto Lucena.

Fonte: Autor.

Observando-se os gráficos apresentados nas figuras de 40 a 45, pode-se dizer que os modelos tiveram bom desempenho tanto na subida do hidrograma quanto na previsão do pico até o alcance de 24h, com maiores diferenças entre os níveis observados e calculados para as ascensões e picos do hidrograma. A partir do alcance de 34, porém, as diferenças entre os valores calculados e observados começam a aumentar e começa a ocorrer uma defasagem temporal na fase de ascensão do hidrograma. É possível observar que para os alcances de 48 h e 58 h o segundo pico foi superestimado, enquanto que para o alcance de 72 horas os picos foram subestimados.

4.6 Bacia de Alto Uruguai

Na figura 46 é apresentado o gráfico com os tempos de viagem da onda de cheia estimados pelos intercorrelogramas entre Alto Uruguai e os seus respectivos postos de controle de montante.

No apêndice H é apresentada uma tabela com os resultados das intercorrelações com defasagem de 12 horas para o posto de Alto Uruguai.

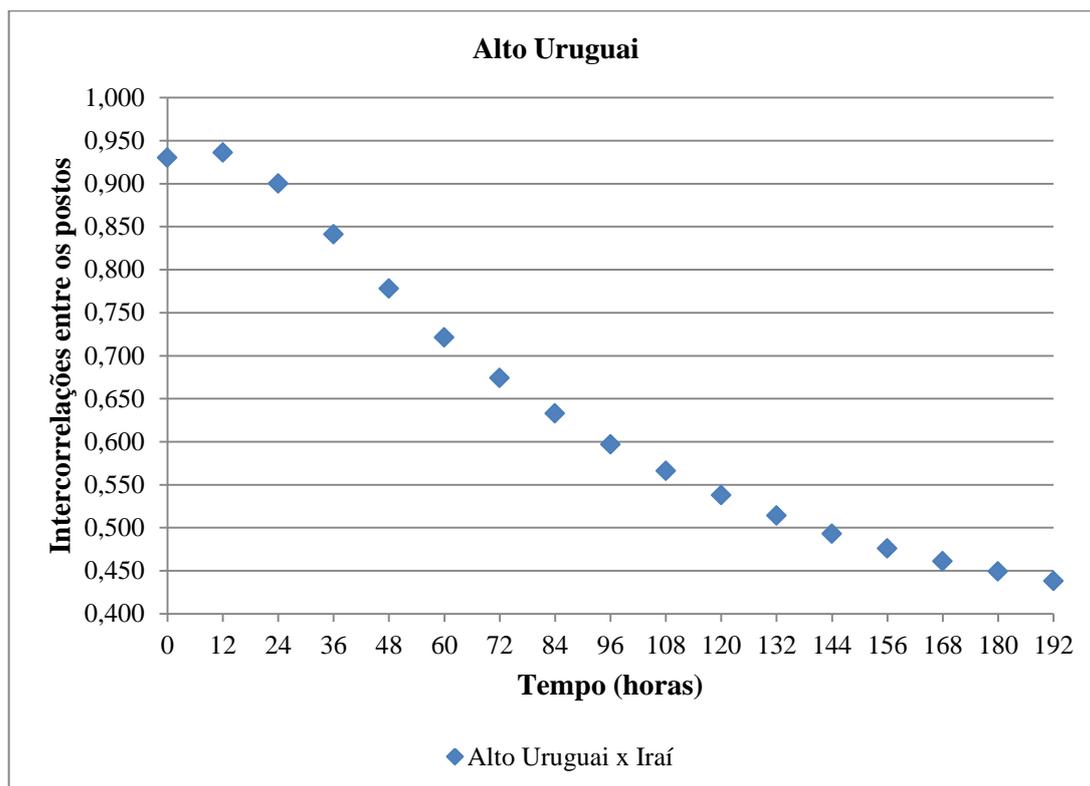


Figura 46: Tempo de viagem da onda de cheia entre Alto Uruguai e o posto de controle de montante de Iraí.

Fonte: Autor.

Na figura 46 pode-se notar que a maior intercorrelação entre Alto Uruguai e Iraí ocorre com defasagem de 12 h.

Portanto, para a bacia de Alto Uruguai, antecedência de um dia seria suficiente para atender o critério do tempo de viagem da onda de cheia entre os postos.

As alternativas (Quadro 11), quanto à proporção da bacia controlada, foram ordenadas em ordem decrescente, resultando: 1) com controle do posto de montante de Iraí (75,2%) e 2) sem controle de montante (0%).

Nas tabelas de 31 a 36 são apresentados os resultados dos melhores modelos obtidos para cada alternativa. Os resultados completos das estatísticas de desempenho

das alternativas dos modelos utilizados para a verificação da previsão em Alto Uruguai podem ser visualizados no Apêndice H. Cada tabela mostra os resultados para cada um dos seis alcances adotados.

Tabela 31: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Alto Uruguai com alcance de 10 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQR+f.e.	t-1	75,2	74,33	0,956
2	MQ	t-1	0	80,85	0,943

Tabela 32: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Alto Uruguai com alcance de 24 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQR+f.e.	t-1	75,2	134,36	0,846
2	MQR	t-1	0	146,33	0,819

Tabela 33: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Alto Uruguai com alcance de 34 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQR+f.e.	t-1	75,2	182,66	0,712
2	MQ	t-1	0	182,99	0,690

Tabela 34: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Alto Uruguai com alcance de 48 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQR+f.e.	t-1	75,2	229,98	0,561
2	MQ	t-1	0	232,82	0,582

Tabela 35: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Alto Uruguai com alcance de 58 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQR+f.e.	t-1	75,2	265,86	0,465
2	MQ	t	0	258,19	0,495

Tabela 36: Resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada uma das alternativas utilizadas para a verificação da previsão em Alto Uruguai com alcance de 72 h.

Alternativa	Técnicas	Componentes	% Área controlada	EA(0,95) cm	NS
1	MQR+f.e.	t-1	75,2	286,00	0,377
2	MQ	t-1	0	276,79	0,428

Para o alcance de 10 horas (Tabela 31), os coeficientes de NS variaram entre 0,943 e 0,956. Os melhores desempenhos, tanto para os modelos fixos (MQ) quanto com uso de técnicas adaptativas, ocorrem com antecedência de $t-1$ dias. O melhor

modelo, para a alternativa 1, foi obtido com o uso do procedimento adaptativo completo (MQR+f.e.), enquanto que, para a alternativa 2, o melhor modelo foi obtido com o uso do modelo fixo (MQ). Os EA(0,95)s dos melhores modelos crescem com a redução da área controlada, entre 74,33 cm (alternativa 1) e 80,85 cm (alternativa 2). Os NSs respectivos variam de 0,956 a 0,943.

O melhor modelo, para o alcance de 10 horas, foi encontrado com a alternativa 1, que utiliza, além dos dados do próprio local de previsão (Alto Uruguai), dados da bacia de controle de montante (Iraí), com a utilização dos dados a partir do dia $t-1$, sendo encontrado coeficiente de NS de 0,956 e EA(0,95) de 74,33 cm. Este resultado foi encontrado com a utilização do procedimento adaptativo completo (MQR+f.e.).

Para o alcance de 24 horas (Tabela 32), os coeficientes de NS variaram entre 0,819 e 0,846. Os EA(0,95)s dos melhores modelos crescem com a redução da área controlada, entre 134,36 cm (alternativa 1) e 146,33 cm (alternativa 2). Os NSs respectivos variam de 0,845 a 0,819. Portanto, o melhor modelo, para este alcance, foi encontrado com a alternativa 1, com a utilização dos dados a partir do dia $t-1$ e com a utilização do procedimento adaptativo completo (MQR+f.e.).

Para o alcance de 34 horas (Tabela 33), os coeficientes de NS variaram entre 0,690 e 0,712. Os melhores desempenhos para a maioria dos modelos, tanto os modelos fixos (MQ), quanto os que utilizam técnicas adaptativas, foram obtidos com antecedência de $t-1$ dias. O melhor modelo, para a alternativa 1, foi obtido com o uso do procedimento adaptativo completo (MQR+f.e.), enquanto que, para a alternativa 2, o melhor modelo foi obtido com o uso do modelo fixo (MQ) sem recursividade. Os EA(0,95)s dos melhores modelos crescem com a redução da área controlada, entre 182,66 cm (alternativa 1) e 182,99 cm (alternativa 2). Os NSs respectivos variam de 0,712 a 0,690. Portanto, o melhor modelo, para este alcance, foi encontrado com a alternativa 1, com a utilização dos dados a partir do dia $t-1$ e com a utilização do procedimento adaptativo completo (MQR+f.e.).

Para o alcance de 48 horas (Tabela 34) os coeficientes de NS variaram entre 0,561 e 0,582. Os melhores desempenhos para a maioria dos modelos, tanto os modelos fixos (MQ), quanto os que utilizam técnicas adaptativas, foram obtidos com antecedência de $t-1$ dias. O melhor modelo, para a alternativa 1, foi obtido com o uso do procedimento adaptativo completo (MQR+f.e.), enquanto que, para a alternativa 2, o melhor modelo foi obtido com o uso do modelo fixo (MQ) sem recursividade. Os EA(0,95)s dos melhores modelos crescem com a redução da área controlada, entre

229,98 cm (alternativa 1) e 232,82 cm (alternativa 2). Os NSs respectivos variam de 0,561 a 0,582. Portanto, o melhor modelo, para este alcance, foi encontrado com a alternativa 1, com a utilização dos dados a partir do dia $t-1$ e com a utilização do procedimento adaptativo completo (MQR+f.e.).

Para o alcance de 58 horas (Tabela 35) os coeficientes de NS variaram entre 0,465 e 0,495. O melhor modelo, para a alternativa 1, foi obtido com o uso do procedimento adaptativo completo (MQR+f.e.), enquanto que, para a alternativa 2, o melhor modelo foi obtido com o uso do modelo fixo (MQ). Os EA(0,95)s dos melhores modelos variam entre 258,19 cm (alternativa 2) e 265,86 cm (alternativa 1). Os NSs respectivos variam de 0,495 a 0,465. Portanto, o melhor modelo, para este alcance, foi encontrado com a alternativa 2, com a utilização dos dados somente do dia atual e com a utilização do modelo fixo (MQ).

Para o alcance de 72 horas (Tabela 36) os coeficientes de NS variaram entre 0,377 e 0,428. Os melhores desempenhos para a maioria dos modelos, tanto os modelos fixos (MQ), quanto os que utilizam técnicas adaptativas, foram obtidos com antecedência de $t-1$ dias. O melhor modelo, para a alternativa 1, foi obtido com o uso do procedimento adaptativo completo (MQR+f.e.), com EA(0,95) de 286,00 cm e NS de 0,377, enquanto que, para a alternativa 2, o melhor modelo foi obtido com o uso do modelo fixo (MQ) sem recursividade, com EA(0,95) de 276,79 e NS de 0,428. Portanto, o melhor modelo, para este alcance, foi encontrado com a alternativa 2.

Observa-se que, em geral, com exceção do alcance de 58 horas (alternativa 2), ocorre um aumento considerável do desempenho dos melhores modelos para todas as alternativas, com a introdução de componentes antecedentes do dia anterior ($t-1$), em relação à alternativa de se usar apenas as componentes do tempo atual (t), o que atesta a importância das condições de armazenamento, representadas por estas componentes.

Sabe-se que para previsões de níveis em tempo atual, os valores anteriormente observados da variável a ser prevista desempenham um papel importante para a obtenção de boas previsões. Porém, a utilização de dados de níveis com diferentes defasagens (níveis de dias anteriores) está condicionada ao tempo de concentração da bacia. Apesar da bacia de montante apresentar uma área controlada de 75,2%, não foi possível obter uma grande melhoria nos resultados utilizando os dados de níveis desta bacia. Isto se deve ao pequeno tempo de viagem da onda de cheia entre os postos, ou seja, as vazões em Iraí que irão afetar os níveis em Alto Uruguai ainda não ocorreram.

As figuras de 47 a 52 apresentam os resultados dos melhores modelos obtidos para cada alcance. Nas figuras são apresentados os níveis observados e calculados, e a diferença entre eles, para o período de 07/05/2005 a 16/07/2005. Neste período o maior nível atingido em Alto Uruguai foi de 18,50 m às 17h, no dia 18/06/2005.

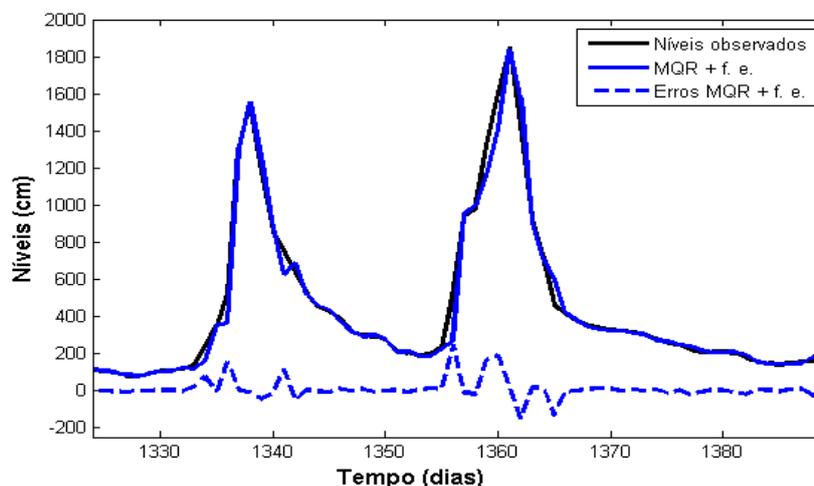


Figura 47: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 10 h (com dados a partir de t-1), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Alto Uruguai.

Fonte: Autor.

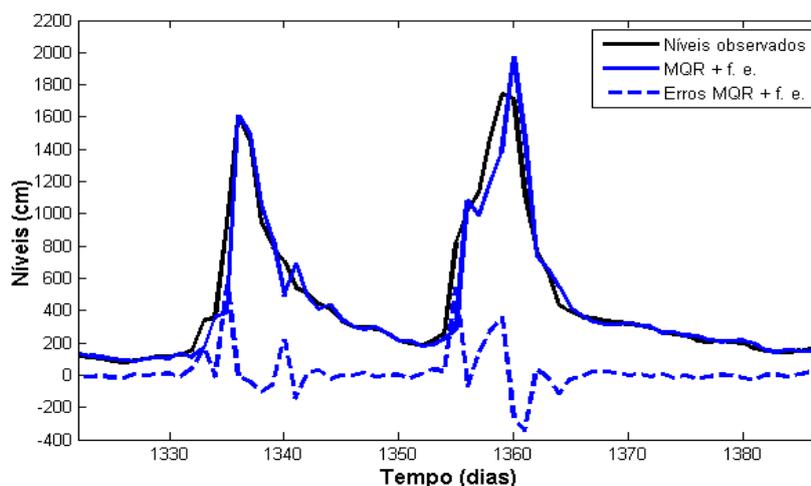


Figura 48: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 24 h (com dados a partir de t-1), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Alto Uruguai.

Fonte: Autor.

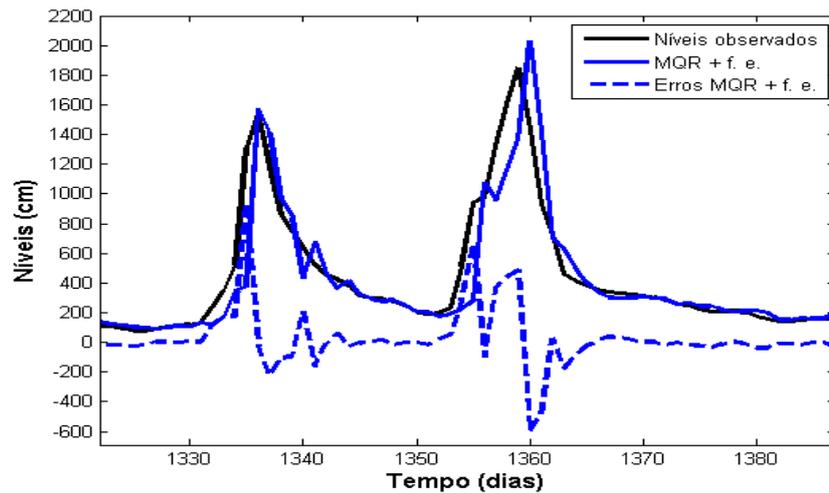


Figura 49: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 34 h (com dados a partir de $t-1$), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Alto Uruguai.

Fonte: Autor.

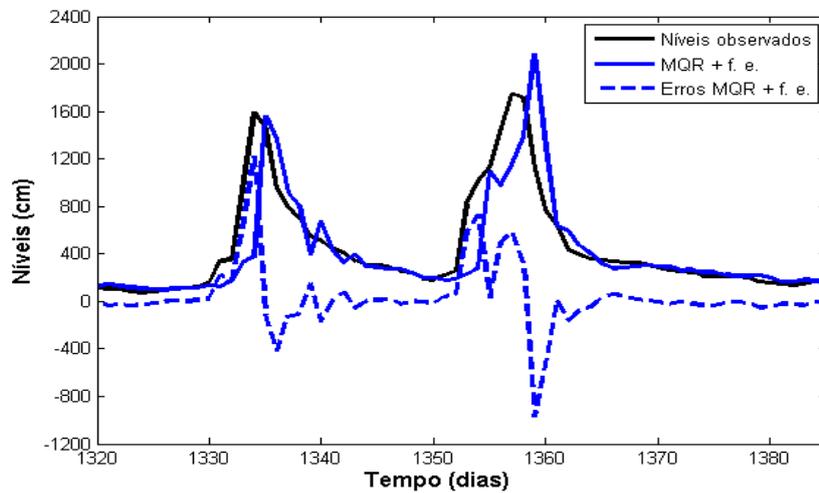


Figura 50: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 48 h (com dados a partir de $t-1$), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Alto Uruguai.

Fonte: Autor.

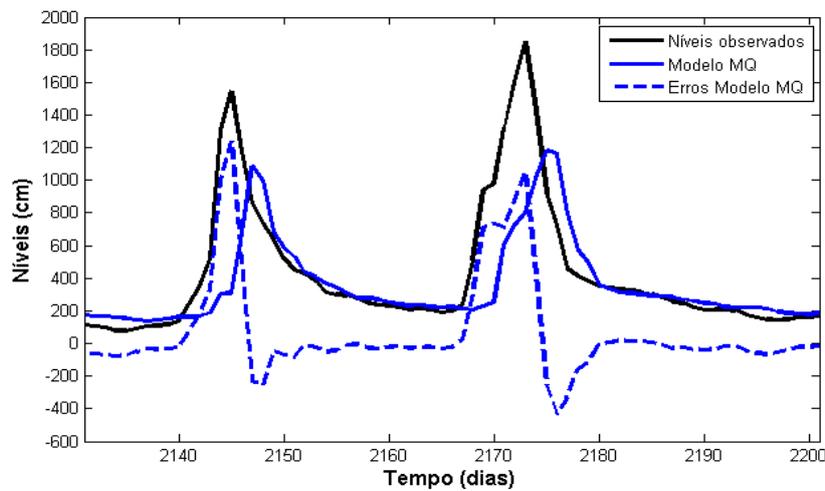


Figura 51: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 58 h (com dados do dia atual t), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Alto Uruguai.

Fonte: Autor.

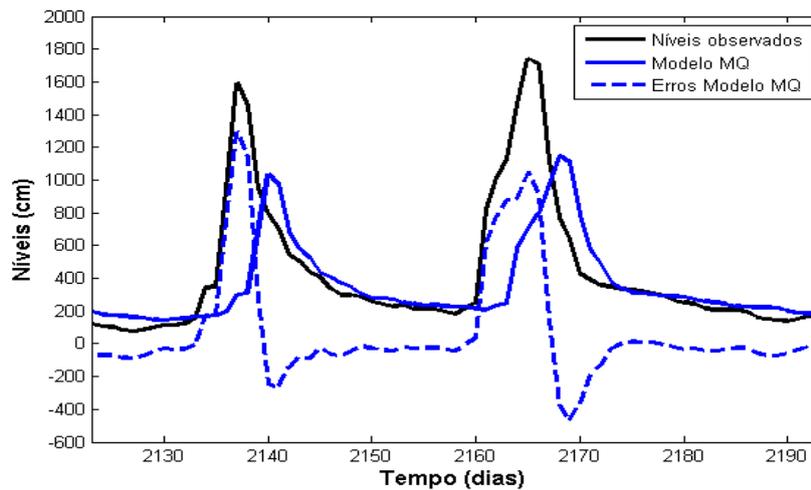


Figura 52: Gráfico dos níveis observados e calculados na etapa de verificação, para o alcance de 72 h (com dados a partir de t-1), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Alto Uruguai.

Fonte: Autor.

Nas figuras de 47 a 52, pode-se observar que os modelos tiveram bom desempenho tanto na subida do hidrograma quanto na previsão do pico até o alcance de 10h, com maiores diferenças entre os níveis observados e calculados para as ascensões e picos do hidrograma. A partir do alcance de 24 h, porém, as diferenças entre os valores calculados e observados começam a aumentar e começou a ocorrer uma defasagem temporal na fase de ascensão do hidrograma. Pode-se notar também que o segundo pico é superestimado a partir do alcance de 24 h até o alcance de 48 h. Porém, a partir do alcance de 58 h os picos foram subestimados.

4.7 Análise geral dos resultados

Nas tabelas de 37 a 42 são apresentados os melhores resultados para cada bacia e para cada alcance.

Tabela 37: Resumo dos resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada alcance para previsão em Uruguaiana.

Alcance (h)	Alternativa	Técnicas	Componentes	NS	% Área controlada	EA(0,95) cm
10	1	MQR+f.e.	t-1	0,992	68,9	36,73
24	1	MQR+f.e.	t-1	0,987	68,9	47,70
34	1	MQR+f.e.	t-1	0,983	68,9	56,79
48	1	MQ	t-5	0,970	68,9	71,80
58	1	MQR+f.e.	t-1	0,960	68,9	87,57
72	2	MQ	t-5	0,942	65,8	107,63

Tabela 38: Resumo dos resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada alcance para previsão em Itaquí.

Alcance (h)	Alternativa	Técnicas	Componentes	NS	% Área controlada	EA(0,95) cm
10	1	MQ	t-2	0,999	95,4	12,73
24	1	MQ	t-2	0,995	95,4	29,33
34	2	MQ	t-2	0,989	88,5	47,82
48	2	MQ	t-3	0,976	88,5	73,20
58	2	MQ	t-2	0,961	88,5	94,56
72	2	MQ	t-4	0,932	88,5	125,16

Tabela 39: Resumo dos resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada alcance para previsão em São Borja.

Alcance (h)	Alternativa	Técnicas	Componentes	NS	% Área controlada	EA(0,95) cm
10	1	MQ	t-1	0,997	92,8	22,12
24	1	MQR	t-3	0,989	92,8	49,57
34	2	MQR+f.e.	t-3	0,969	76,2	80,07
48	3	MQR	t-1	0,933	65,8	116,95
58	3	MQR+f.e.	t-2	0,901	65,8	142,67
72	4	MQR	t-2	0,839	49,5	186,06

Tabela 40: Resumo dos resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada alcance para previsão em Garruchos.

Alcance (h)	Alternativa	Técnicas	Componentes	NS	% Área controlada	EA(0,95) cm
10	1	MQR	t-1	0,995	82,1	34,29
24	2	MQR	t-2	0,972	70,9	87,29
34	2	MQR+f.e.	t-1	0,948	70,9	112,32
48	2	MQR	t-1	0,888	70,9	162,64
58	2	MQR	t-1	0,831	70,9	204,25
72	3	MQR	t-2	0,729	53,4	265,68

Tabela 41: Resumo dos resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada alcance para previsão em Porto Lucena.

Alcance (h)	Alternativa	Técnicas	Componentes	NS	% Área controlada	EA(0,95) cm
10	1	MQR+f.e.	t-1	0,987	86,4	25,10
24	1	MQR+f.e.	t-1	0,941	86,4	50,13
34	2	MQR+f.e.	t-1	0,880	65	75,20
48	2	MQR+f.e.	t-1	0,748	65	108,12
58	2	MQR+f.e.	t-1	0,630	65	131,62
72	1	MQ	t	0,479	86,4	154,05

Tabela 42: Resumo dos resultados das estatísticas de desempenho dos melhores modelos obtidos para cada alcance para previsão em Alto Uruguai.

Alcance (h)	Alternativa	Técnicas	Componentes	NS	% Área controlada	EA(0,95) cm
10	1	MQR+f.e.	t-1	0,956	75,2	74,33
24	1	MQR+f.e.	t-1	0,846	75,2	134,36
34	1	MQR+f.e.	t-1	0,712	75,2	182,66
48	1	MQR+f.e.	t-1	0,561	75,2	229,98
58	2	MQ	t	0,495	0	258,19
72	2	MQ	t-1	0,428	0	276,79

Comparando-se os resultados obtidos com os melhores modelos para as duas maiores bacias (Itaqui e Uruguaiana), pode-se perceber que os modelos com técnicas adaptativas conseguem seus melhores resultados sempre com dados de menos dias de antecedência, em relação aos modelos fixos (não adaptativos). Ou seja, as técnicas adaptativas permitem modelagem com menor quantidade de informações antecedentes, o que indica que as técnicas adaptativas são importantes para substituir as informações, quando estas são insuficientes para representar os processos. Da mesma forma, com maior insuficiência de informações pela redução da bacia de montante controlada, o uso dos mínimos quadrados recursivos (MQR) e dos recursos adaptativos completos (MQR+f.e.) passam a ser importantes.

Os melhores modelos obtidos para previsões em Itaqui, para todas as alternativas, foram obtidos com a utilização dos modelos fixos (MQ). Para esta bacia os recursos adaptativos não fizeram muita diferença na obtenção de melhores resultados em relação à utilização do modelo fixo, devido à alta proporção de área controlada das alternativas utilizadas como de controle de montante nesta bacia.

Apesar da bacia de Uruguaiana apresentar maior área, as alternativas de controle de montante desta bacia possuem menor área controlada em relação às alternativas de controle de montante de Itaqui, fazendo com que os resultados em Uruguaiana apresentem melhores incrementos com as técnicas adaptativas. Isto porque os recursos adaptativos servem, justamente, para representar a variação temporal das condições

físicas, cujas dinâmicas não estejam sendo totalmente representadas pelo modelo básico, pela carência de informações.

Os resultados dos melhores modelos obtidos para previsões em Itaquí, para cada alternativa, foram superiores aos obtidos em Uruguaiana até o alcance de 34 horas, pois foram observados menores EA(0,95)s com os modelos para Itaquí, em relação aos erros obtidos para previsões em Uruguaiana. Porém, a partir do alcance de 48 horas, a diferença entre os erros observados para estas bacias, começou a diminuir, tornando-se maiores os erros EA(0,95)s em Itaquí. Uma razão para terem sido observados menores erros em Itaquí, em relação a Uruguaiana, se deve ao fato de que a bacia de Itaquí apresenta maiores proporções de bacias controladas. A alternativa 1 de controle de montante de Itaquí representa 95,4% de área controlada, enquanto que a mesma alternativa para Uruguaiana, possui apenas 68,9% de área controlada.

Para a bacia de São Borja, a qual apresenta a terceira maior área, foi observado, para os melhores modelos obtidos que, à medida que aumentou o alcance de previsão, foi aumentando a importância da utilização dos recursos adaptativos. Também foi observado que, conforme aumentou o alcance de previsão, os melhores modelos foram sendo obtidos com as alternativas que apresentam menor proporção de área controlada com a utilização dos recursos adaptativos. Ou seja, a utilização das técnicas adaptativas foi importante para as alternativas com menor proporção de área controlada de bacias a montante, proporcionando a obtenção de melhores modelos em relação à utilização de modelos fixos.

Para a bacia de Garruchos, a qual apresenta a quarta maior área, foi observado que para todos os alcances, os melhores modelos foram obtidos com o uso das técnicas adaptativas, sendo que para cinco dos seis alcances, o uso dos MQR foi superior ao uso dos MQR+f.e.

Foi observado que os melhores resultados obtidos na bacia de Porto Lucena, para os melhores modelos, até o alcance de 58 horas, foram obtidos com a utilização da técnica adaptativa completa, sendo observado um grande incremento no desempenho dos modelos com a utilização dos recursos adaptativos completos (MQR+f.e).

Pode-se notar que para a bacia de Alto Uruguai, os recursos adaptativos completos foram importantes até o alcance de 48h, com a utilização dos dados da bacia de controle de montante de Iraí, entretanto, para a alternativa sem área controlada e, para os maiores alcances, foi obtido melhor desempenho com o modelo fixo.

Assim, pode-se notar que, com exceção da bacia de Itaquí, a qual apresenta as alternativas com as maiores áreas de montante controladas, para as demais bacias os recursos adaptativos foram importantes para a obtenção de melhores resultados. Para a bacia de Uruguaiana os recursos adaptativos proporcionaram melhores desempenhos para a maioria dos alcances, sendo obtidos os melhores desempenhos com menos dados de dias anteriores.

Foi observado que à medida que foi diminuindo o tamanho da área da seção de previsão, foi sendo mais importante a utilização dos mínimos quadrados recursivos e dos recursos adaptativos completos, para a maioria dos alcances testados.

Nas figuras 53 a 58 são apresentados os erros dos modelos em relação à proporção da área controlada, para cada um dos 6 alcances testados, para cada uma das bacias, comparando-se o desempenho das três configurações de modelos adotadas (MQ, MQR e MQR+f.e.). Para esta análise foram escolhidos somente os resultados dos modelos que utilizaram como entrada os dados a partir do dia anterior ($t-1$) a fim de padronizar os gráficos para permitir comparações, pois o melhor modelo para cada alcance e para cada técnica foi encontrado com diferentes antecedências de dados de entrada.

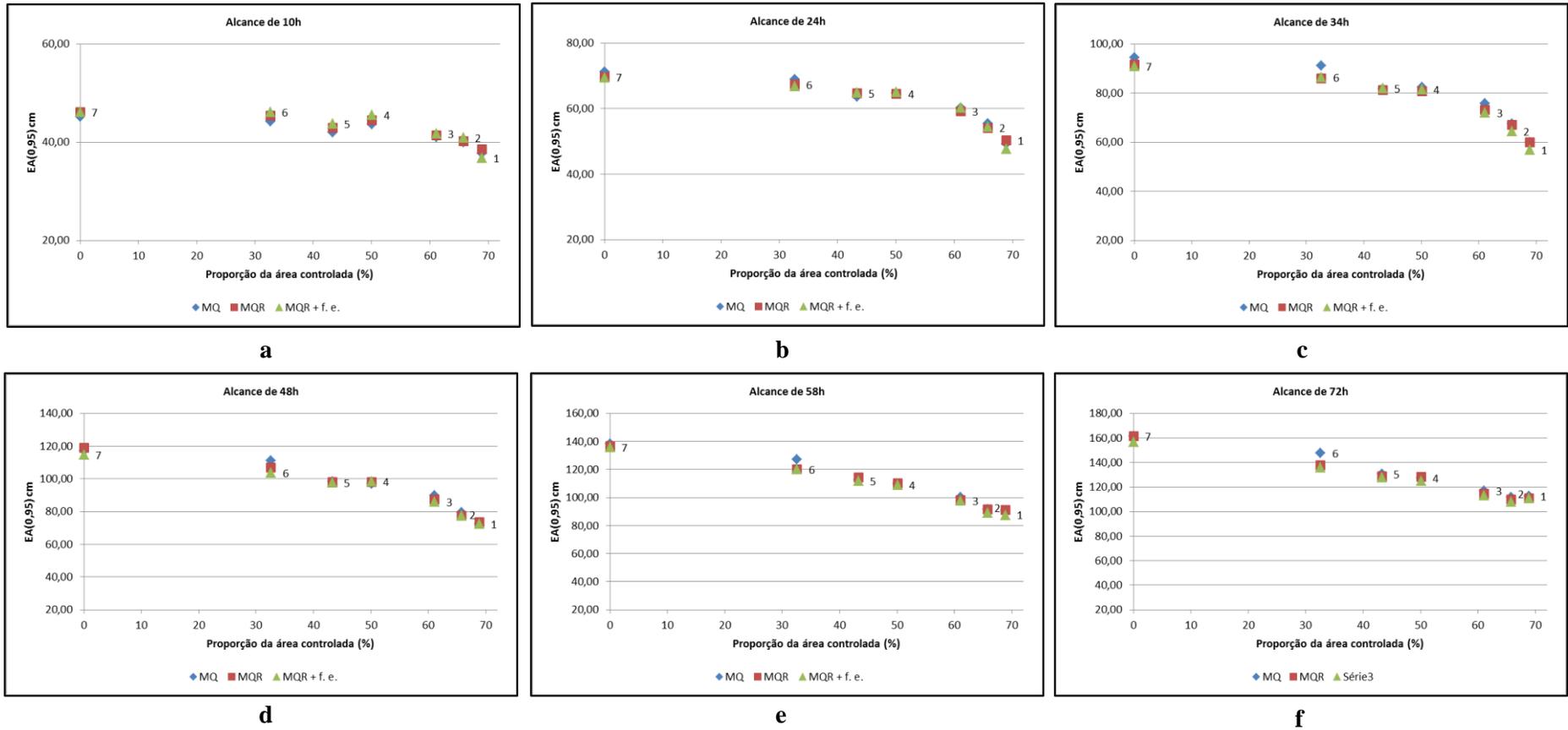


Figura 53: Proporção da área controlada das bacias de controle de montante no posto de Uruguiana e eficiência do modelo para os alcances de 10h (a), 24h (b), 34h (c), 48h (d), 58h (e), e 72h (f), com dados a partir do dia anterior (t-1).

Fonte: Autor.

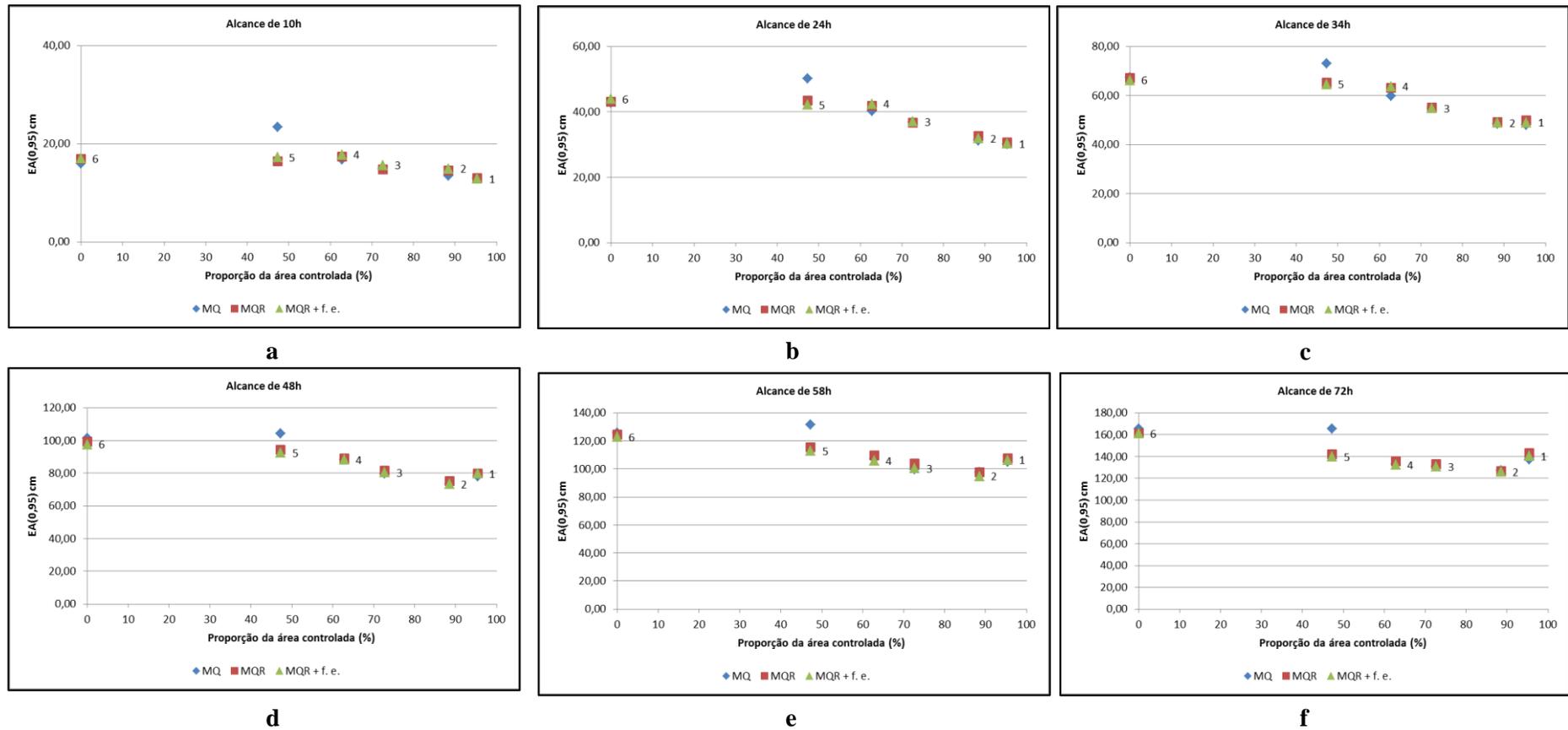


Figura 54: Proporção da área controlada das bacias de controle de montante no posto de Itaquí e eficiência do modelo para os alcances de 10h (a), 24h (b), 34h (c), 48h (d), 58h (e), e 72h (f), com dados a partir do dia anterior (t-1).

Fonte: Autor.

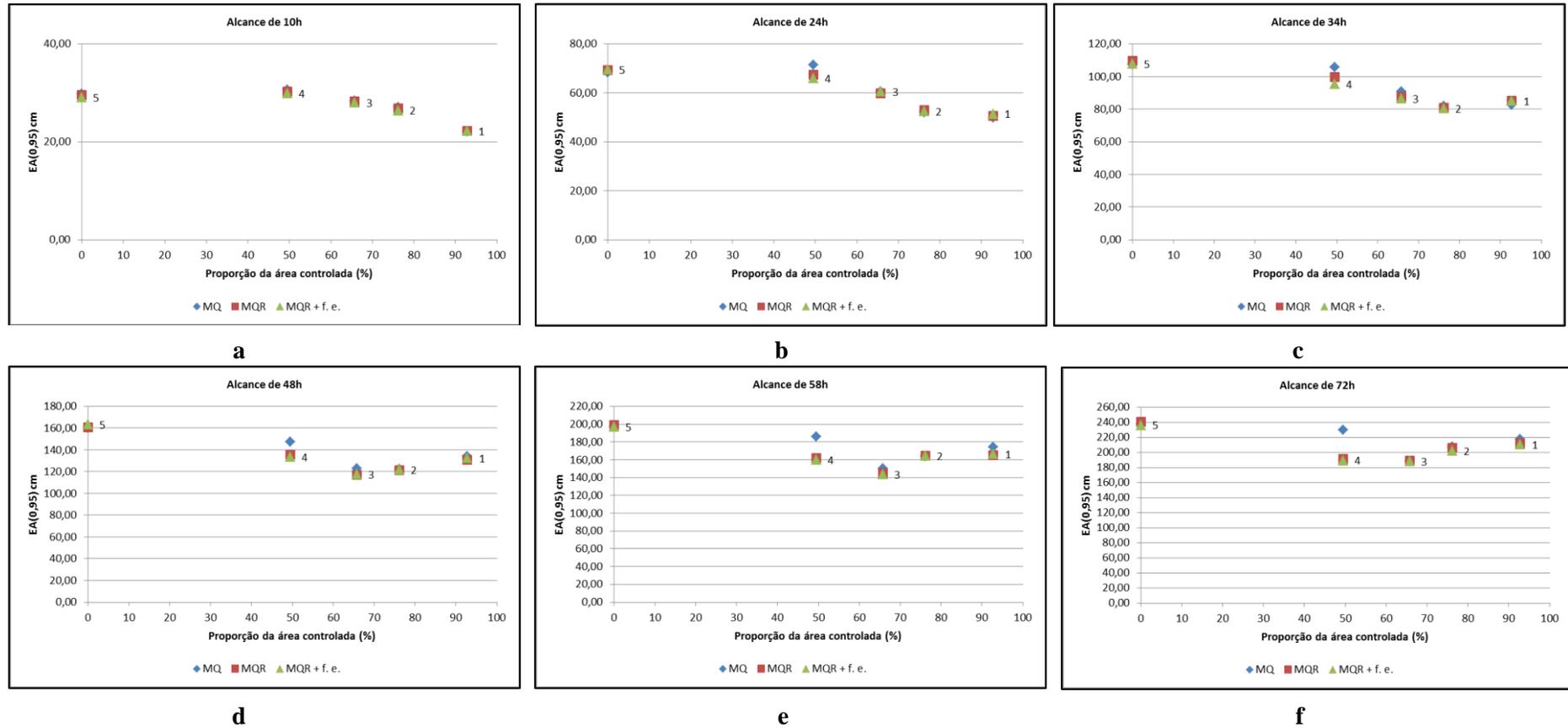


Figura 55: Proporção da área controlada das bacias de controle de montante no posto de Passo São Borja e eficiência do modelo para os alcances de 10h (a), 24h (b), 34h (c), 48h (d), 58h (e), e 72h (f), com dados a partir do dia anterior (t-1).

Fonte: Autor.

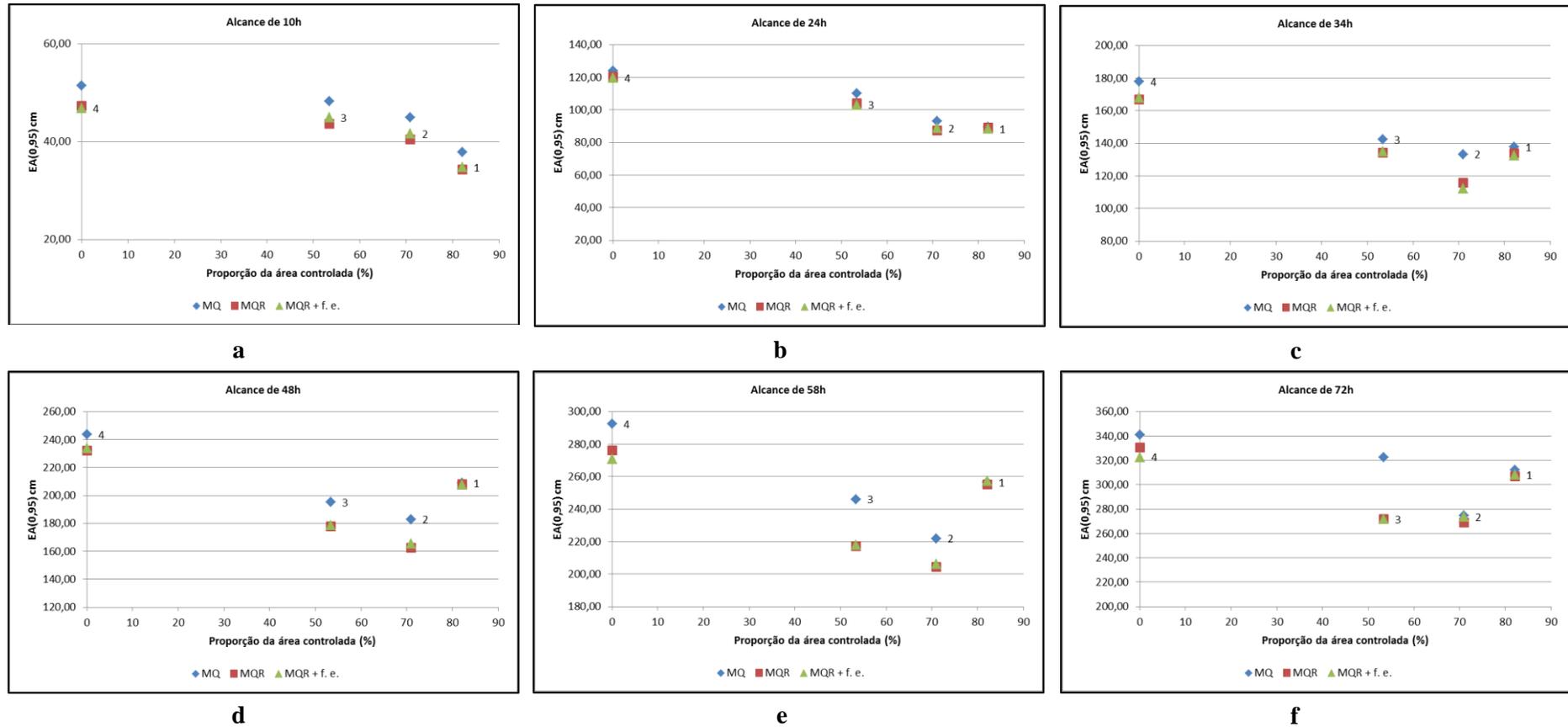


Figura 56: Proporção da área controlada das bacias de controle de montante no posto de Garruchos e eficiência do modelo para os alcances de 10h (a), 24h (b), 34h (c), 48h (d), 58h (e), e 72h (f), com dados a partir do dia anterior (t-1).

Fonte: Autor.

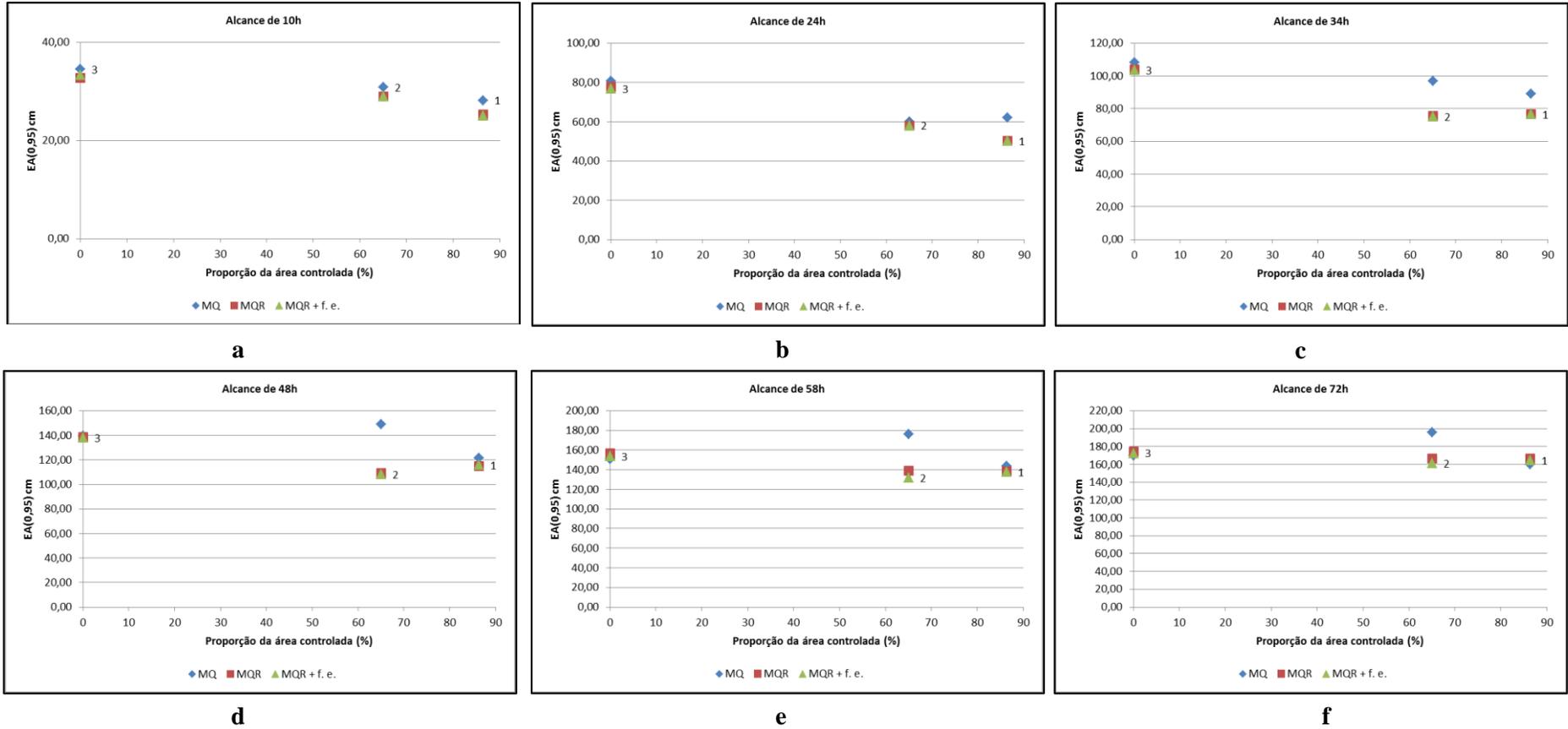


Figura 57: Proporção da área controlada das bacias de controle de montante no posto de Porto Lucena e eficiência do modelo para os alcances de 10h (a), 24h (b), 34h (c), 48h (d), 58h (e), e 72h (f), com dados a partir do dia anterior (t-1).

Fonte: Autor.

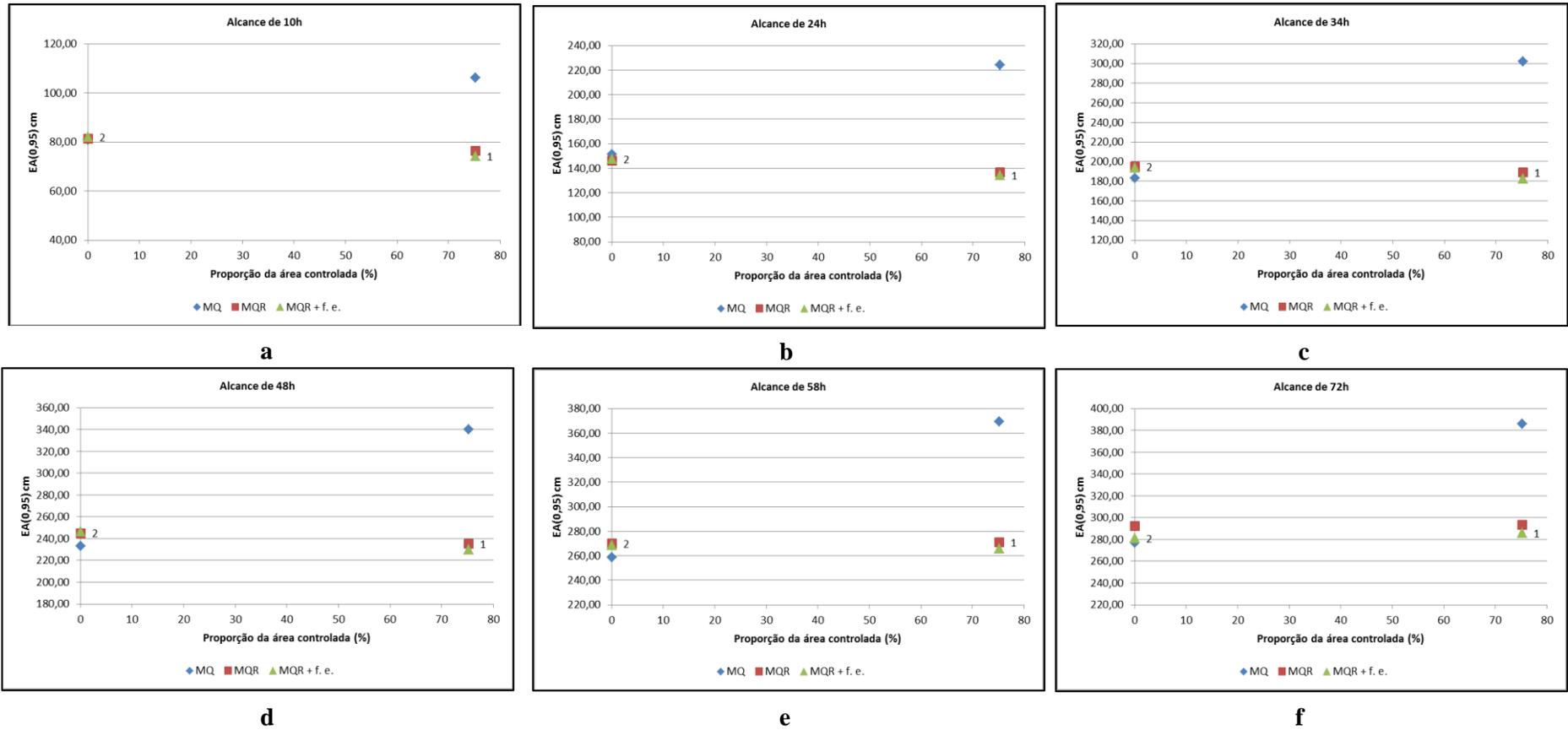


Figura 58: Proporção da área controlada das bacias de controle de montante no posto de Alto Uruguai e eficiência do modelo para os alcances de 10h (a), 24h (b), 34h (c), 48h (d), 58h (e), e 72h (f), com dados a partir do dia anterior (t-1).

Fonte: Autor

Pode-se verificar nos gráficos da figura 53, que os maiores erros EA(0,95) foram encontrados para a alternativa 7 (sem área controlada), seguidos da alternativa 6 (com a menor área controlada, e mais distante do exutório), indicando que os níveis desta bacia, embora pequena, podem ser influentes sobre as previsões de níveis no exutório, contribuindo para a melhoria dos resultados do modelo. Foi observado, para esta bacia, que o uso dos recursos adaptativos em relação ao uso do modelo fixo, foi mais importante para a alternativa 6, a partir do alcance de 34 horas, sendo observado que os erros obtidos com o modelo adaptativo completo (MQR+f.e.) foram bem inferiores aos obtidos com o modelo fixo (MQ).

Assim, para a bacia de Uruguaiana, que representa a maior área de drenagem, o uso dos recursos adaptativos foram importantes a partir do alcance de 34h e para a alternativa que corresponde a menor área de montante controlada (32,6%, alternativa 6), sendo o incremento obtido no desempenho com os recursos adaptativos mais aparente para esta alternativa, conforme aumentou o alcance, sendo verificado um decréscimo nos EA(0,95)s, que variou entre 5,7% com o uso dos MQR (alcance de 34h) e 7,9% com o uso dos MQR+f.e. (alcance de 72h).

Para a bacia de Itaqui (Figura 54), a segunda maior bacia, a utilização dos recursos adaptativos proporcionou melhoria nos resultados dos modelos em relação à utilização do modelo fixo, para a alternativa 5 (para todos os alcances), que corresponde a alternativa com a menor proporção de área de montante controlada (47,3%). Foi verificada a maior redução no EA(0,95), de 29,84% para o alcance de 10h, com a utilização dos MQR.

Para a bacia de Passo São Borja (Figura 55), pode-se verificar que a utilização das técnicas adaptativas melhorou o desempenho dos modelos, sendo sua utilização mais importante para a alternativa 4, que corresponde a menor área controlada (49,5%), sendo mais aparente o ganho obtido no desempenho do modelo a partir do alcance de 24 horas. Foi verificada uma redução nos EA(0,95)s com o aumento do alcance para a alternativa 4, com a utilização dos MQR+f.e. Os EA(0,95) para esta alternativa foram reduzindo com o aumento do alcance, de 2,32% (alcance de 10h) até 17,51%, para o alcance de 72 h.

Para a bacia de Garruchos (Figura 56), pode-se observar que a utilização dos recursos adaptativos proporcionou uma melhoria no desempenho dos modelos, em relação à utilização do modelo fixo, para todos os alcances. O ganho obtido com o uso dos recursos adaptativos foi mais importante para a alternativas 3 (53,4%) para os

alcances de 58 h e 72 h, sendo verificada uma redução nos EA(0,95)s de 11,79% com o uso dos MQR e 15,73% com o uso dos MQR+f.e., respectivamente.

Para a bacia de Porto Lucena (Figura 57), a utilização dos recursos adaptativos em relação à utilização do modelo fixo, foi importante para todos os alcances. Pode-se notar que conforme aumentou o alcance, de 34 h para 72 h, o uso dos recursos adaptativos foi mais importante para a alternativa 2, a qual corresponde a menor área controlada de montante (65%). A utilização dos recursos adaptativos completos (MQR+f.e) proporcionou uma redução de 27,46% no EA(0,95), em relação a utilização do modelo fixo, para o alcance de 48h.

Para a bacia de Alto Uruguai (Figura 58), observa-se que o uso dos recursos adaptativos foi importante para a alternativa 1, que corresponde a 75,2% de área controlada de montante, para todos os alcances. A utilização dos recursos adaptativos completos (MQR+f.e) proporcionou uma redução de 40,07% no EA(0,95), em relação a utilização do modelo fixo, para o alcance de 24h.

Na Figura 59, é apresentado um trecho da série utilizada para a verificação do modelo fixo (MQ) e do modelo recursivo (MQR+f.e.) para o alcance de 10 horas (para a alternativa 1, com dados a partir do dia t-1). Nesta figura, é possível observar que os níveis calculados foram muito parecidos com os observados. É possível observar também que os maiores erros ocorrem com as ascensões e picos do hidrograma. Porém, a diferença entre os níveis observados e calculados, diminuem com a alternativa com MQR+f.e., mesmo durante os eventos de cheia.

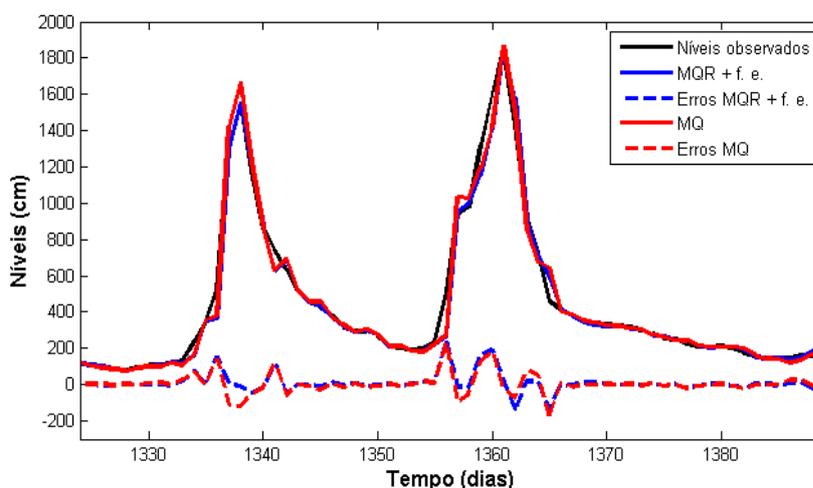


Figura 59: Resultado da etapa de verificação do modelo MQ e MQR+f.e., para o alcance de 10 h (alternativa 1, com dados a partir de t-1), no período de 07/05/2005 a 16/07/2005, no posto de Alto Uruguai.

Fonte: Autor.

5. CONCLUSÕES

A aplicação de modelos autorregressivos com variáveis exógenas, para bacias de diversas dimensões, e com diversas alternativas de proporção da área controlada, para a previsão em tempo atual, e a comparação de três alternativas de verificação, sendo a primeira com parâmetros constantes, a segunda com parâmetros adaptativos, pela técnica dos mínimos quadrados recursivos, e a terceira com esta técnica, complementada por um fator de esquecimento, permitiram conclusões sobre as contribuições que estas técnicas podem oferecer nas diversas situações analisadas, previstas nas hipóteses da pesquisa:

a) Em relação à hipótese de que a melhoria com a técnica dos mínimos quadrados recursivos é dependente do alcance temporal escolhido para a previsão, conclui-se que:

- O ganho no desempenho dos modelos com a utilização das técnicas adaptativas torna-se mais relevante à medida que aumenta o alcance de previsão para as alternativas com menores proporções de áreas de montante controladas.

b) Em relação à hipótese de que a melhoria com a técnica dos mínimos quadrados recursivos é dependente da proporção da área controlada, concluiu-se que:

- Os erros, dos melhores modelos obtidos para cada bacia, sempre aumentam com a redução da área controlada, ou seja, a qualidade das previsões diminui com o deslocamento da seção de controle de jusante para montante, porém, o ganho na qualidade das previsões com a utilização dos recursos adaptativos torna-se mais evidente.

A utilização dos recursos adaptativos foi especialmente mais importante para melhorar o desempenho de modelos com as bacias controladas de montante menores, sendo, nestes casos, mais importante a utilização dos recursos adaptativos, do que das componentes de dias anteriores.

c) Em relação à hipótese de que a melhoria com a técnica dos mínimos quadrados recursivos é dependente da área da bacia definida pela seção de previsão, concluiu-se que:

- De modo geral, foi observado que, à medida que diminui a área da bacia definida pela seção de previsão, as previsões com desempenho satisfatório são obtidas para alcances cada vez menores, porém a influência do tamanho da área controlada de bacias a montante melhora o desempenho de bacias menores. Porém, se a proporção da

bacia controlada de montante já é bastante grande, como é o caso das alternativas 1 e 2 utilizadas para previsão em Itaquí (entre 88,5% e 95,4 %, respectivamente), os recursos adaptativos não fazem muita diferença na obtenção de melhores resultados. Porém, quando se observam bacias com menores áreas controladas de montante, como é o caso de Porto Lucena, para a alternativa 2 (65% de área controlada), o ganho no desempenho dos modelos com a utilização dos recursos adaptativos completos (MQR+f.e) torna-se relevante.

De maneira geral, os recursos adaptativos tornam-se importantes para compensar a carência de informações, o que ocorre quando a proporção da bacia controlada de montante é insuficiente para representar as afluições, ou quando o alcance da previsão é muito grande, para as dimensões da bacia (que afetam a rapidez de sua resposta), o que deixa um intervalo de tempo com possíveis ocorrências desconhecidas, que ainda podem afetar a previsão, as quais são em parte supridas pelas técnicas adaptativas.

A formulação idealizada nesta pesquisa para o fator de esquecimento foi útil para representar este aspecto da capacidade de adaptação, tendo resultado, do ajuste feito, um fator pequeno ($f = 0,005$), que é aplicado a cada atualização dos parâmetros. Porém, deve-se considerar que, após algumas centenas de atualizações, este fator pode representar esquecimento relevante, pois tem efeito multiplicativo.

Apesar de ser possível realizar previsões, nesta bacia, mesmo com o emprego de técnicas simples (como modelos empíricos lineares com parâmetros constantes), para pequenos alcances, comprovou-se, por meio dos resultados, que é possível a obtenção de resultados melhores, ou equivalentes para maiores alcances, com o emprego da técnica adaptativa, com os mínimos quadrados recursivos, com o fator de esquecimento proposto. Os modelos resultantes, com esta técnica, podem servir de base para serem implantados junto a sistemas de alerta de inundações na região da Bacia do Rio Uruguai.

A principal estatística de desempenho utilizada para as análises foi o erro não ultrapassado com proporção 0.95 (EA(0,95)), pois esta estatística revelou-se mais sensível, com diferenças maiores, do que o coeficiente de NS. Além disso, este é mais representativo do ganho de qualidade para os erros maiores, que ocorrem, justamente, durante os eventos de inundações.

5.1 Recomendações e sugestões

Este trabalho nos permitiu sugerir as seguintes recomendações para futuros trabalhos:

- Realizar a pesquisa das incertezas das previsões individuais, seja pela probabilidade de excedência associada a cada previsão, seja pelo uso de intervalos probabilísticos de previsão.

- Aplicação prática dos resultados da pesquisa por meio do desenvolvimento de interfaces de usuário para os modelos, inclusive com a automatização da atualização recursiva dos parâmetros e disponibilização do produto gerado, para entidades gestoras e para a defesa civil.

- Realizar a previsão de vazão utilizando a técnica adaptativa dos mínimos quadrados recursivos, utilizando modelos de previsão do tipo chuva-vazão, pois o método dos MQRs é indicado para acompanhar mudanças em processo (como, por exemplo, as variações de umidade do solo) e, neste estudo, como utilizou-se um modelo somente com níveis fluviais, não foi tão perceptível a importância dos MQR. Verificar se a aplicação desta técnica a modelos chuva-vazão permitirá obter melhores desempenhos para este tipo de modelo, com diferenças maiores, ou seja, ganhos mais elevados, em relação à utilização de modelos fixos.

REFERÊNCIAS

- ALFIERI, L.; BUREK, P.; FEYEN, L.; FORZIERI, G. Global warming increases the frequency of river floods in Europe. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 19, n. 5, p. 2247-2260, 2015.
- ANDREOLLI, I.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Análise da rede de postos de chuva na previsão em tempo real na bacia do Rio Uruguai. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 2, p. 5-14, 2006.
- APFM: ASSOCIATED PROGRAMME ON FLOOD MANAGEMENT. Flood forecasting and early warning. **Integrated flood management tools series**, n. 19, 2013. 84 p.
- BARNOLAS, M.; LLASAT BOTIJA, M. D. C. A flood geodatabase and its climatological applications: the case of Catalonia for the last century. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 2007, Vol. 7, 271-281, 2007.
- BARRIENDOS, M.; COEUR, D.; LANG, M.; LLASAT, M. C.; NAULET, R.; LEMAÎTRE, D.; BARRERA, A. Stationarity analysis of historical flood series in France and Spain (14th–20th centuries). **Natural Hazards and Earth System Science**, v. 3, n. 6, p. 583-592, 2003.
- BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G. The experimental study of physical mechanisms. **Technometrics**, v. 7, n. 1, p. 23-42, 1965.
- BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C. **Time Series Analysis: Forecasting and Control**, 4ª ed. Editora Wiley, 2008. 784 p.
- CARSELL, K. M.; PINGEL, N. D.; FORD, D. T. Quantifying the benefit of a flood warning system. **Natural Hazards Review**, v. 5, n. 3, pp. 131-140, 2004.
- CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. (Org.). **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. Brasília: Ministério das Cidades/Instituto de Pesquisas Tecnológicas–IPT, 2007. 176 p.
- CHAU, K. W.; WU, C. L.; LI, Y. S. Comparison of several flood forecasting models in Yangtze River. **Journal of Hydrologic Engineering**, 2005.
- CHAU, V. N.; CASSELLS, S.; HOLLAND, J. Economic impact upon agricultural production from extreme flood events in Quang Nam, central Vietnam. **Natural Hazards**, v. 75, n. 2, p. 1747-1765, 2015.
- COLLISCHONN, W. **Simulação Hidrológica de Grandes Bacias**. 270 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisa Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE)**. 2016a. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/sace/>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Bacias monitoradas**. 2016b. Disponível em: < http://www.cprm.gov.br/sace/index_bacias_monitoradas.php>. Acesso em: 10 jan. 2016.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Caí**. 2016c. Disponível em: <<http://sace-cai.cprm.gov.br/sace-cai/>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

DIAKAKIS, M. An inventory of flood events in Athens, Greece, during the last 130 years. Seasonality and spatial distribution. **Journal of Flood Risk Management**, v. 7, n. 4, p. 332-343, 2014.

ECKHARDT, R. R. 116 p. **Geração de modelo cartográfico aplicado ao mapeamento das áreas sujeitas às inundações urbanas na cidade de Lajeado/RS**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database. 2015. Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium. Disponível em: <http://www.emdat.be/>. Acesso em 31/mar/2015.

FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (2016). **Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo (SAISP)**. Disponível em: <<http://www.saisp.br>>. Acesso em: 18 jan. 2016.

FOULDS, S. A.; GRIFFITHS, H. M.; MACKLIN, M. G.; BREWER, P. A. Geomorphological records of extreme floods and their relationship to decadal-scale climate change. **Geomorphology**, v. 216, p. 193-207, 2014.

GENTINE, P.; TROY, T. J.; LINTNER, B. R.; FINDELL, K. L. Scaling in surface hydrology: progress and challenges. **Journal of Contemporary Water research & education**, v. 147, n. 1, p. 28-40, 2012.

GORDON, P.; LITTLE, R. G. Building Walls Against Bad Infrastructure Policy in New Orleans. **Mercatus Policy Series Policy Primer**, n. 10, 2009.

HADDAD, E. A.; TEIXEIRA, E. Economic impacts of natural disasters in megacities: the case of floods in São Paulo, Brazil. **Habitat International**, v. 45, p. 106-113, 2015.

HAGGETT, C. An integrated approach to flood forecasting and warning in England and Wales. **Water and Environment Journal**, v. 12, n. 6, p. 425-432, 1998.

HIRABAYASHI, Y.; MAHENDRAN, R.; KOIRALA, S.; KONOSHIMA, L.; YAMAZAKI, D.; WATANABE, S.; KANAE, S. Global flood risk under climate change. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 9, p. 816-821, 2013.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990.** Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>. Acesso em: 23 jun. 2016.

KOIVO, H. N.; TANTTU, J. T. Adaptive Prediction of Water Quality in the River Cam. In: **Uncertainty and forecasting of water quality.** Springer Berlin Heidelberg, 1983. p. 339-356.

KRYŽANOWSKI, A.; BRILLY, M.; RUSJAN, S.; SCHNABL, S. Review Article: Structural flood-protection measures referring to several European case studies. **Natural Hazards and Earth System Science**, v. 14, n. 1, p. 135-142, 2014.

KUNDZEWICZ, Z. W.; PIŃSKWAR, I.; BRAKENRIDGE, G. R. Large floods in Europe, 1985–2009. **Hydrological Sciences Journal**, v. 58, n. 1, p. 1-7, 2013.

LANNA, A. E.; VALENÇA, M. J. Previsão em tempo atual de cheias com técnica recursivas dos mínimos quadrados aplicação à cidade de Blumenau, SC. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 1985, p. 328-344, 1985.

MATOS, A. B.; PEDROLLO, O. C.; CASTRO, N. M. R. Efeito do controle de montante de sub-bacias embutidas na previsão hidrológica de curto prazo com redes neurais: aplicação à bacia de Ponte Mística. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, RS, v. 19, n.1 – Jan-Mar, p. 87-99, 2014.

MCDONNELL, J. J.; SIVAPALAN, M.; VACHÉ, K.; DUNN, S.; GRANT, G.; HAGGERTY, R.; HINZ, C.; HOOPER, R.; KIRCHNER, J.; RODERICK, M. L.; SELKER, J.; WEILER, M. Moving beyond heterogeneity and process complexity: A new vision for watershed hydrology. **Water Resources Research**, v. 43, n. 7, 2007.

MELLER, A. **Previsão de cheias por conjunto em curto prazo.** 204 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206 p.

MINEA, G.; ZAHARIA, L. Structural and Non-Structural Measures for Flood Risk Mitigation in the Bâsca River Catchment (Romania). In: **Forum geografic.** 2011. p. 157-166.

MMA: Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da região hidrográfica do Uruguai.** Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília, 2006.128 p.

MMOM, P. C.; AIFESEHI, P. E. Impact of the 2012 Flood on Water Quality and Rural Livelihood in the Orashi Province of the Niger Delta, Nigeria. **Journal of Geography and Geology**, v. 5, n. 3, p. 216, 2013.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles. **Journal of hydrology**, v. 10, n. 3, p. 282-290, 1970.

O'CONNELL, P. E.; CLARKE, R. T. Adaptive hydrological forecasting—a review/Revue des methods de prévision hydrologique ajustables. **Hydrological Sciences Bulletin**, v. 26, n. 2, p. 179-205, 1981.

O'GORMAN, P. A. Precipitation extremes under climate change. **Current Climate Change Reports**, v. 1, n. 2, p. 49-59, 2015.

OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A.; SALDANHA, D. L. Modelos de previsão e espacialização das áreas inundáveis em Montenegro, Rio Grande do Sul, Brasil.. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, p. 355-378, 2012.

OLIVEIRA, G. G.; PEDROLLO, O. C.; CASTRO, N. M. R.; BRAVO, J. M. Simulações hidrológicas com diferentes proporções de área controlada na bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 18, n.3 – Jul/Set, pp. 193–204, 2013.

PARKER, D.; FORDHAM, M. An evaluation of flood forecasting, warning and response systems in the European Union. **Water Resources Management**, v. 10, n. 4, p. 279-302, 1996.

PEDROLLO, M.; GERMANO, A.; SOTÉRIO, P.; RODRIGUES, E.; MANDUELL, J.C. Alerta hidrológico da Bacia do Rio Caí: Concepção e implantação do sistema. In: **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Maceió, Brasil, 2011. 14 p.

PEDROLLO, O. C. **Previsão em tempo atual de cheias com uso de sistema especialista difuso**. 123 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

PEDROLLO, O. C. Previsão de Níveis Fluviais com Redes Neurais: Aplicação para Rosário do Sul - RS. In: **Anais do AGUASUL- 1º Simpósio de Recursos Hídricos do Sul e 1º Simpósio de Águas da AUGM**, Santa Maria, 2005. 19 p.

PEDROLLO, O. C.; LANNA, A. E. Previsão de cheias em tempo atual em sistemas fluviais com contribuições laterais relevantes. **Revista Brasileira de Engenharia-RBE. Caderno de Recursos Hídricos**, 1991.

PEDROLLO, O. C.; PEDROLLO, M. C. R. Sistema de alerta de cheias da bacia do rio Caí: previsão de níveis com redes neurais artificiais. In: **Eventos Extremos no Rio Grande do Sul: Inundações e Movimentos de Massa**. Org. por Guasselli, L. A.; Oliveira, G. G. e Alves, R. C. M., ed. EVANGRAF, Porto Alegre – RS, 2013, pp. 101-120.

PEREIRA, L. A. **Regionalização de Vazões de Permanência Aplicada na Região Hidrográfica do Uruguai Utilizando o Programa SisCoRV**. (Trabalho de conclusão de curso). Universidade De Passo Fundo. Faculdade De Engenharia E Arquitetura, Curso De Engenharia Ambiental. Passo Fundo –RS: 2012.

PISANI, A. Sistema de alerta a inundações de São Paulo (SAISP). **Sinergia**, v.4, n.2, p. 93-98, 2003.

RIGHI, E. Inundações ao longo do rio Uruguai: o caso dos municípios de Porto Lucena e São Borja. In: **Desastres naturais no Rio Grande do Sul**. Santa Maria, Editora da UFSM, ed. 1, 2013. p. 253-280.

RIGHI, E.; ROBAINA, L. E. S. Enchentes do Rio Uruguai no Rio Grande do Sul entre 1980 e 2005: uma análise geográfica. **Sociedade e natureza**. (Online), Uberlândia, v. 22, n. 1, p. 35-54, 2010.

Rio Grande do Sul. Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994. Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos. Brasília. D.O.E. 01/01/95. Regulamentando o artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul.

ROMANOWICZ, R. J.; YOUNG, P. C.; BEVEN, K. J. Data assimilation and adaptive forecasting of water levels in the river Severn catchment, United Kingdom. **Water resources research**, v. 42, n. 6, 2006.

ROMANOWICZ, R. J.; YOUNG, P. C.; BEVEN, K. J.; PAPPENBERGER, F. A data based mechanistic approach to nonlinear flood routing and adaptive flood level forecasting. **Advances in Water Resources**, v. 31, n. 8, p. 1048-1056, 2008.

RS - Governo do Estado. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **Relatório Anual sobre a Situação dos Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SEMA, 2007. Disponível em: <http://www.sema.rs.gov.br/upload/Relatorio_RH_Final_2006.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2016.

SALAS, J. D.; DELLEUR, J. W.; YEVJEVICH, V.; LANE, W. L. **Applied Modeling of Hydrologic Time Series**. Water Resources Publications: Littleton, Colorado, U.S.A, 1980. 484 p.

SENE, K. **Flood Warning, Forecasting and Emergency Response**. Springer Science. London, U.K., 2008. 303 p.

THIELEN, J.; BARTHOLMES, J.; RAMOS, M. H.; DE ROO, A. The European flood alert system – Part 1: concept and development. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 13, n. 2, pp. 125–140, 2009.

THIEMIG, V.; DE ROO, A.; GADAIN, H. Current status on flood forecasting and early warning in Africa. **International Journal of River Basin Management**, v. 9, n. 1, p. 63-78, 2011.

TRENBERTH, K. E. Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, v. 47, n. 1, p. 123, 2011.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Editora da UFRGS. 2ª edição, 2005. 678 p.

TUCCI, C. E. M.; LOPES, M. O. S. Zoneamento das áreas de inundação: Rio Uruguai. **Revista Brasileira de Engenharia**, v. 3, n.1, p. 19-44, 1985.

VEIGA, V. B.; HASSAN, Q. K.; HE, J. Development of Flow Forecasting Models in the Bow River at Calgary, Alberta, Canada. **Journal Water**, v. 7, n. 1, p. 99-115, 2015.

WERNER, M.; REGGIANI, P.; DE ROO, A.; BATES, P.; SPROKKEREEF, E. Flood Forecasting and Warning at the River Basin and at the European Scale. **Natural Hazards**, v.36, p. 25-42, 2005.

WERNER, M.; SCHELLEKENS, J.; GIJSBERS, P.; VAN DIJK, M.; VAN DEN AKKER, O.; HEYNERT, K. The Delft-FEWS flow forecasting system. **Environmental Modelling & Software**, v. 40, p. 65-77, 2013.

WMO: WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Technical regulations – Hydrology**, Geneva, v. 3, n. 49, 2006. 112 p.

WMO: WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Manual on Flood Forecasting and Warning**. Geneva, n. 1072, 2011. 142 p.

YANG, T. H.; YANG, S. C.; HO, J. Y.; LIN, G. F.; HWANG, G. D.; LEE, C. S. Flash flood warnings using the ensemble precipitation forecasting technique: A case study on forecasting floods in Taiwan caused by typhoons. **Journal of Hydrology**, v. 520, p. 367-378, 2015.

YOUNG, P. **Recursive approaches to time series analysis**. Bulletin, Institute of Mathematics and its Applications, v. 10, pp. 209-224, 1974.

APÊNDICE A – PERFIS TRANSVERSAIS DOS POSTOS FLUVIOMÉTRICOS

Neste apêndice são apresentados os perfis transversais, de cada uma das estações fluviométricas selecionadas neste estudo. Esses dados são referentes ao levantamento mais recente, realizado pela CPRM no ano de 2015.

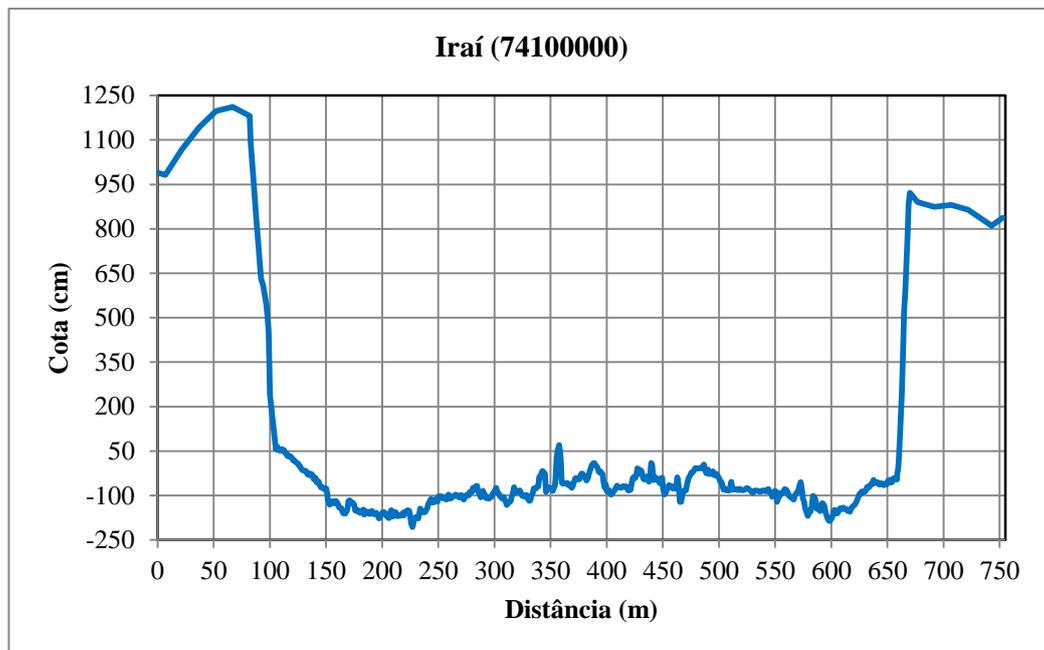


Figura A.1: Perfil transversal da estação fluviométrica de Iraí (74100000).

Fonte: Autor.

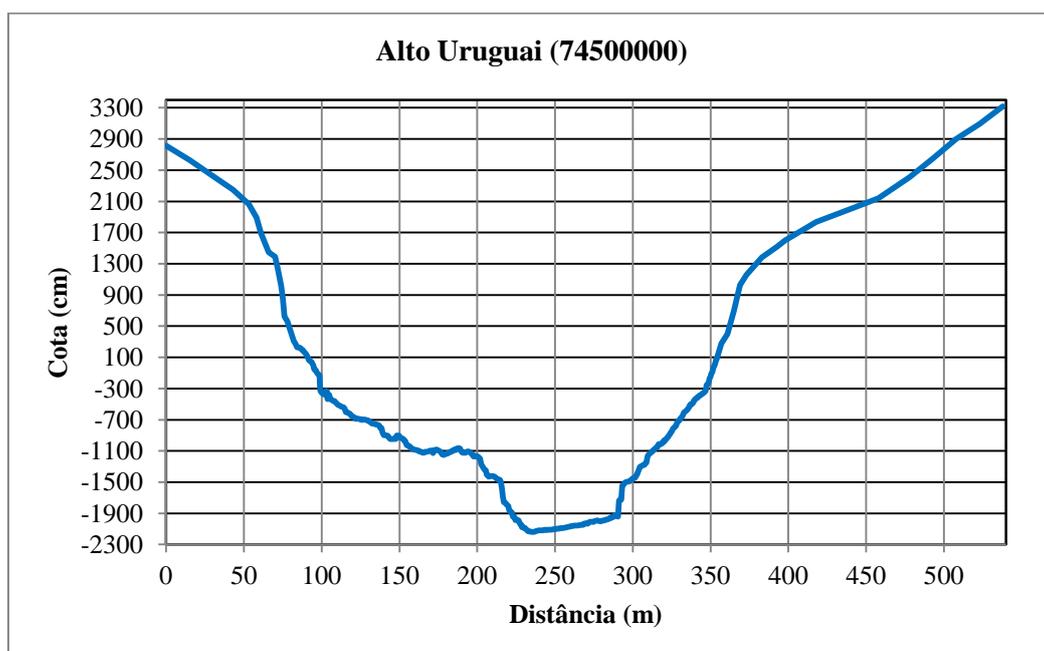


Figura A.2: Perfil transversal da estação fluviométrica de Alto Uruguai (74500000).

Fonte: Autor.

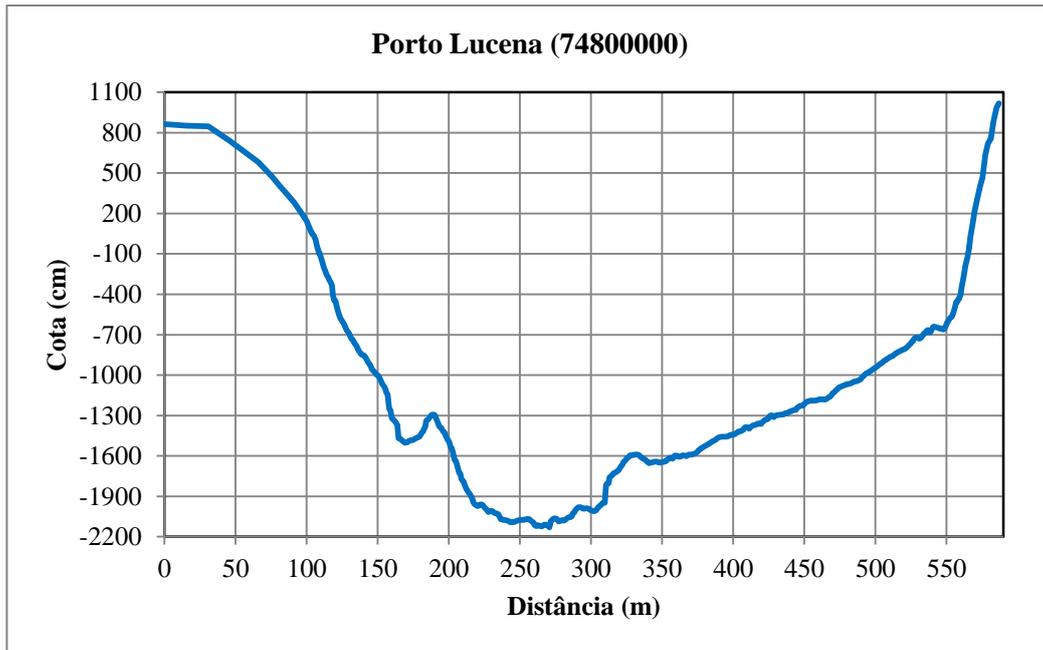


Figura A.3: Perfil transversal da estação fluviométrica de Alto Uruguai (74500000).
Fonte: Autor.

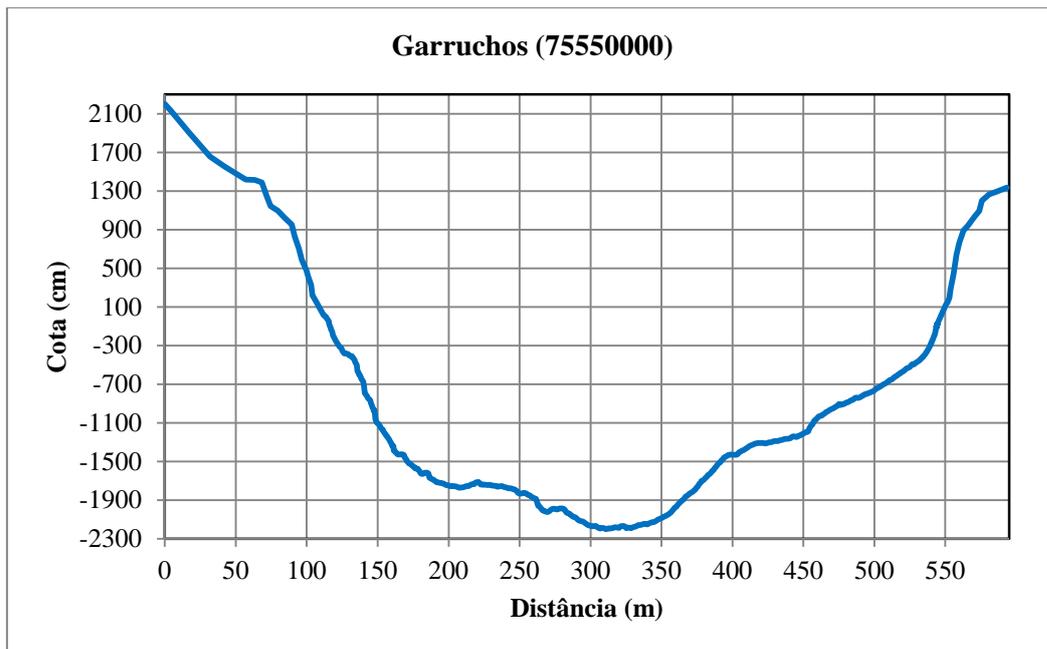


Figura A.4: Perfil transversal da estação fluviométrica de Garruchos (75550000).
Fonte: Autor.

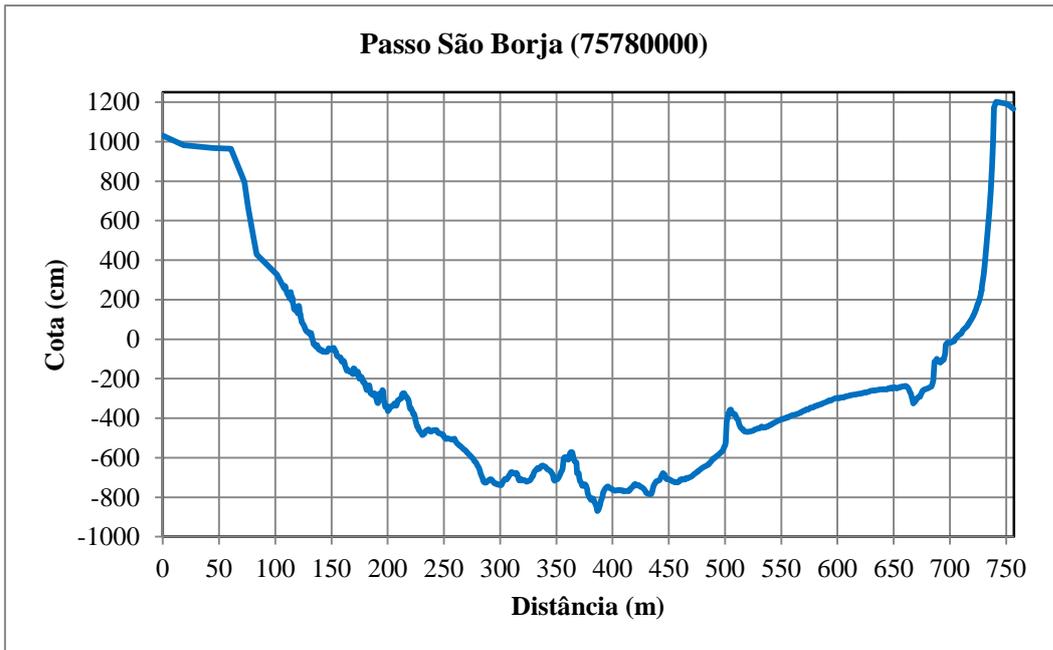


Figura A.5: Perfil transversal da estação fluviométrica de Passo São Borja (75780000).
Fonte: Autor.

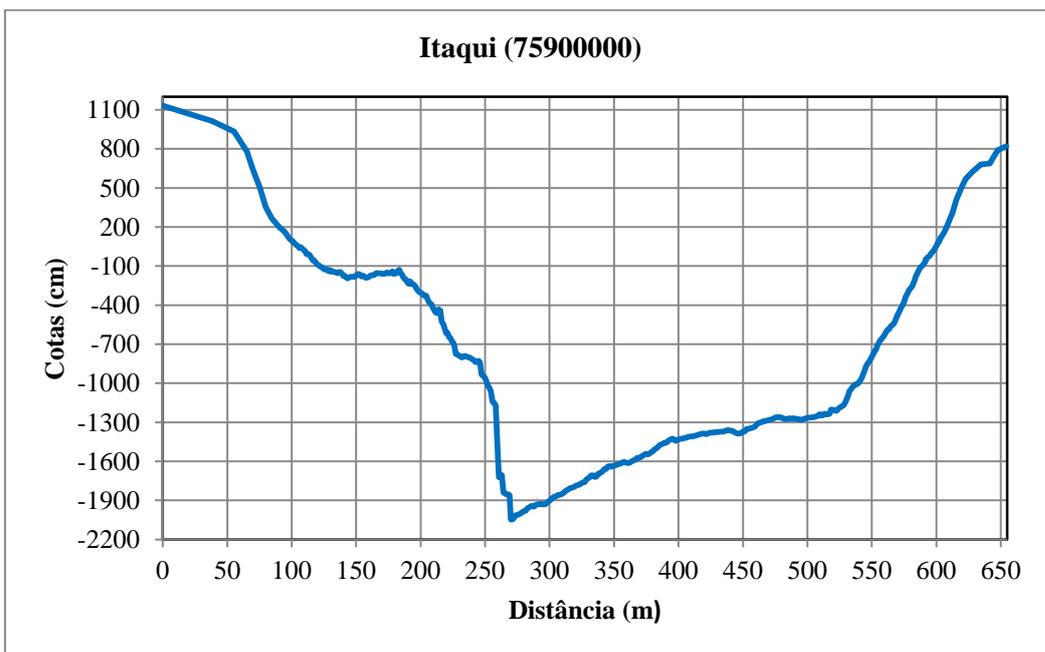


Figura A.6: Perfil transversal da estação fluviométrica de Itaqui (75900000).
Fonte: Autor.

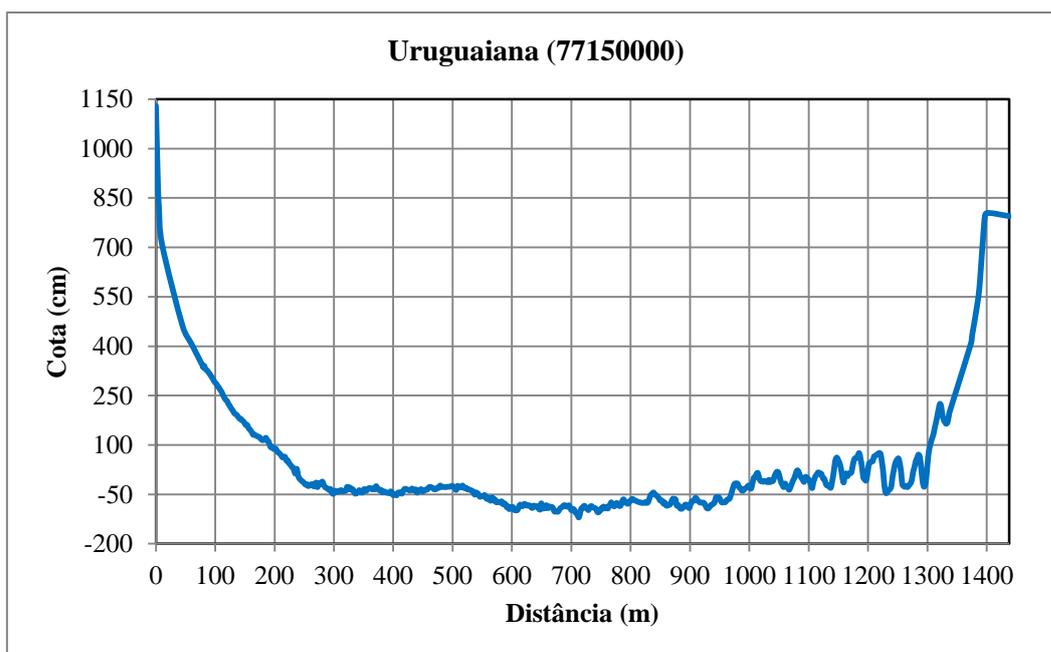


Figura A.7: Perfil transversal da estação fluviométrica de Uruguiana (77150000).
Fonte: Autor.

No quadro A.1 são apresentadas as características dos perfis transversais das estações fluviométricas.

Quadro A.1: Características dos perfis transversais das estações fluviométricas.

Código	Nome	Largura (m)	Profundidade (m)	Cota mínima (cm)	Cota máxima (cm)
74100000	Iraí	752,8	14,17	-206,00	1.211,00
74500000	Alto Uruguai	537,9	54,55	-2.138,00	3.317,00
74800000	Porto Lucena	586,8	31,46	-2.129,00	1.017,00
75550000	Garruchos	593,3	44,00	-2.198,00	2.202,00
75780000	Passo São Borja	756,3	20,71	-870,00	1.201,00
75900000	Itaqui	654,2	31,78	-2.047,00	1.131,00
77150000	Uruguiana	1.438,00	12,50	-120,00	1.130,00

Analisando o perfil transversal das estações, pode-se verificar que as estações fluviométricas de Uruguiana, Iraí e Passo São Borja possuem seções mais encaixadas e estáveis, com vales bastante largos e baixos, em formato de “U”. Já as demais estações possuem formato mais parecido com um “V”, apresentando um vale mais profundo e estreito, com vertentes mais abruptas.

APÊNDICE B – GRÁFICOS DOS NÍVEIS (7H) DOS POSTOS FLUVIOMÉTRICOS AO LONGO DO PERÍODO

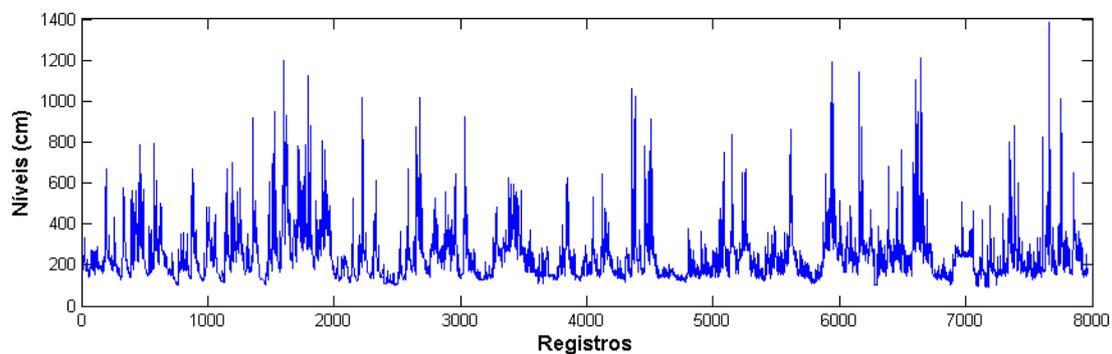


Figura B.1: Níveis das 7h no posto fluviométrico de Iraí. **Fonte:** Autor.

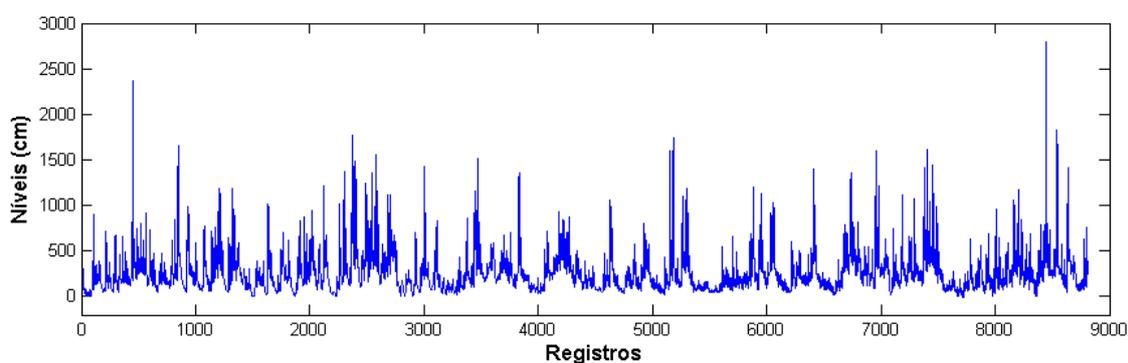


Figura B.2: Níveis das 7h no posto fluviométrico de Alto Uruguai. **Fonte:** Autor.

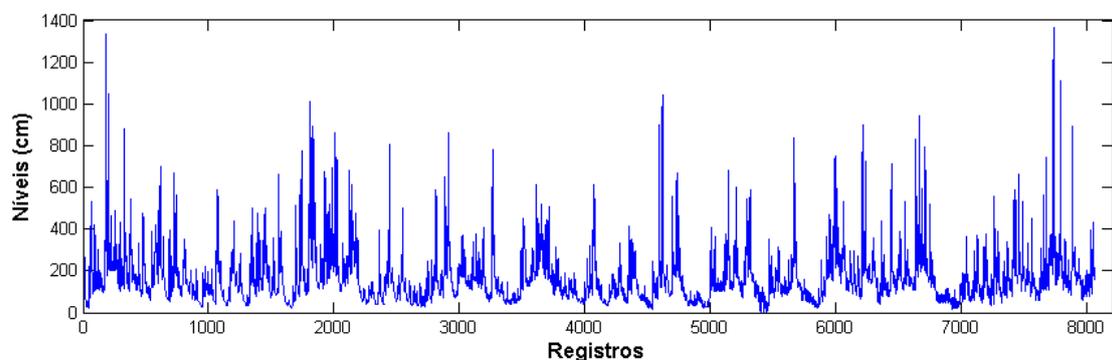


Figura B.3: Níveis das 7h no posto fluviométrico de Porto Lucena. **Fonte:** Autor.

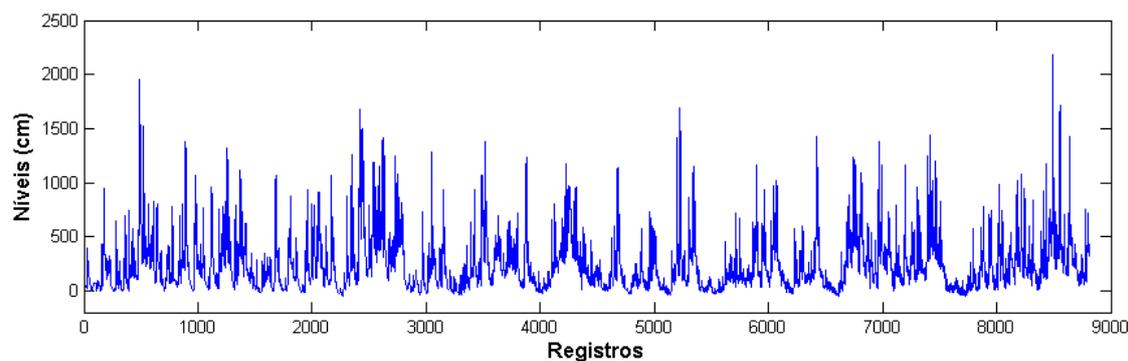


Figura B.4: Níveis das 7h no posto fluviométrico de Garruchos. **Fonte:** Autor.

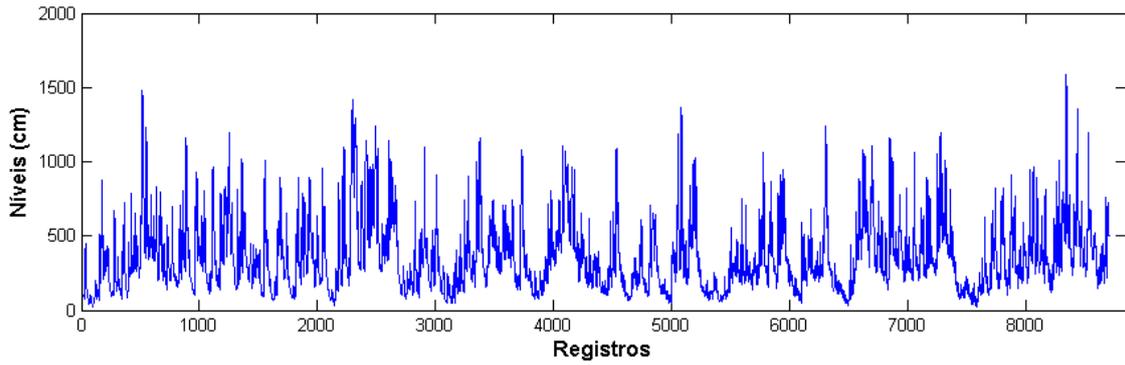


Figura B.5: Níveis das 7h no posto fluviométrico de São Borja 7h. **Fonte:** Autor.

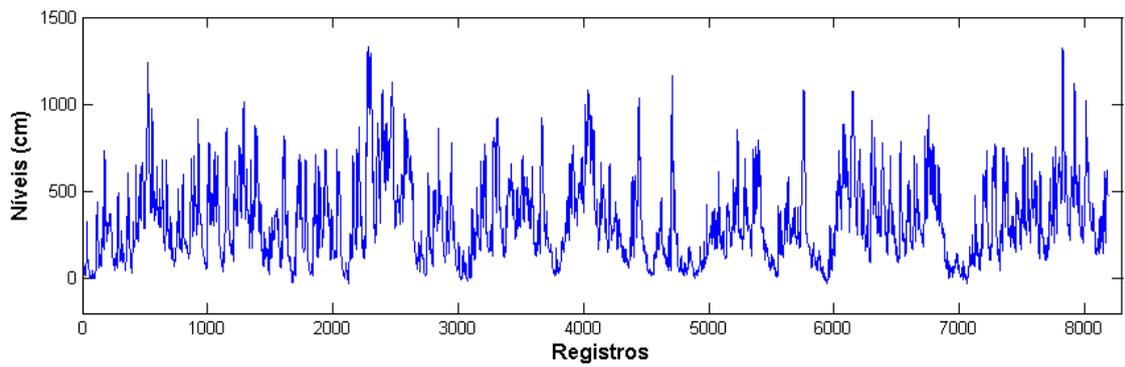


Figura B.5: Níveis das 7h no posto fluviométrico de Itaquí 7h. **Fonte:** Autor.

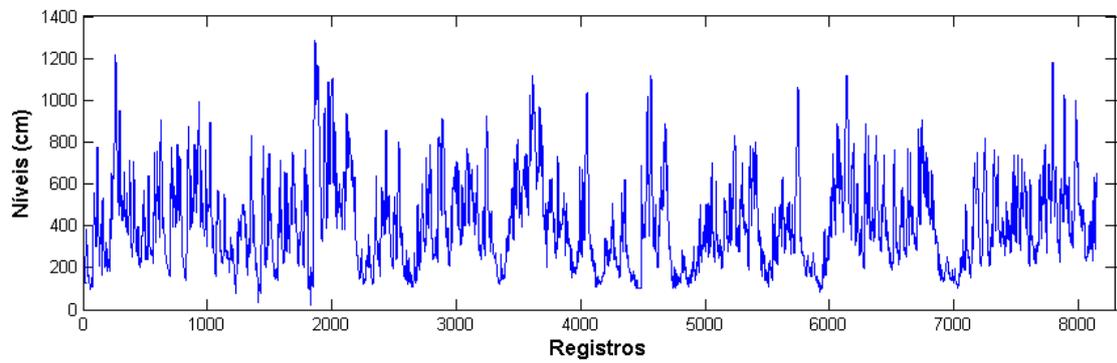


Figura B.6: Níveis das 7h no posto fluviométrico de Uruguaiana 7h. **Fonte:** Autor.

APÊNDICE C – RESULTADOS DA BACIA DE URUGUAIANA

Neste apêndice são apresentados os detalhes dos resultados obtidos para previsão em Uruguaiana.

Os resultados das intercorrelações com defasagens de 12 horas para o posto de Uruguaiana são apresentados na tabela C.1.

Tabela C.1: Resultados do autocorrelograma de Uruguaiana (Uruguaiana x Uruguaiana) e dos intercorrelogramas (Uruguaiana com postos de controle de montante).

Defasagem (horas)	Uruguaiana	Itaqui	São Borja	Garruchos	Porto Lucena	Alto Uruguai	Iraí
0	1,000	0,978	0,885	0,784	0,665	0,625	0,607
12	0,995	0,984	0,906	0,811	0,692	0,647	0,624
24	0,986	0,985	0,923	0,837	0,720	0,671	0,643
36	0,974	0,982	0,934	0,858	0,747	0,696	0,663
48	0,960	0,974	0,938	0,874	0,771	0,720	0,684
60	0,944	0,962	0,937	0,884	0,790	0,742	0,703
72	0,925	0,947	0,931	0,887	0,802	0,760	0,721
84	0,906	0,930	0,919	0,884	0,808	0,772	0,734
96	0,887	0,911	0,905	0,876	0,808	0,778	0,742
108	0,866	0,890	0,888	0,864	0,803	0,778	0,744
120	0,846	0,870	0,868	0,849	0,793	0,773	0,742
132	0,826	0,849	0,848	0,832	0,781	0,764	0,734
144	0,805	0,827	0,827	0,813	0,766	0,751	0,723

Tabela C.2: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Uruguaiana com alcance de 10 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1			Com dados a partir do dia t-2		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	38,07	41,00	37,56	37,74	38,53	36,73	38,00	39,16	36,81
	NS	0,991	0,989	0,990	0,991	0,991	0,992	0,991	0,991	0,992
2	EA(0,95) cm	39,48	39,63	39,19	40,02	40,17	40,87	39,58	40,67	41,17
	NS	0,989	0,988	0,988	0,988	0,987	0,987	0,988	0,988	0,988
3	EA(0,95) cm	40,45	41,26	40,49	41,01	41,34	41,69	40,25	41,42	40,92
	NS	0,988	0,987	0,987	0,987	0,986	0,986	0,988	0,987	0,987
4	EA(0,95) cm	42,99	44,53	44,23	43,63	44,46	45,54	43,93	44,77	46,19
	NS	0,987	0,986	0,986	0,986	0,981	0,981	0,985	0,984	0,984
5	EA(0,95) cm	43,73	44,04	44,01	41,93	42,99	43,73	41,98	43,01	44,03
	NS	0,987	0,985	0,985	0,987	0,986	0,986	0,987	0,987	0,986
6	EA(0,95) cm	45,41	45,77	46,95	44,29	45,45	46,13	44,93	44,86	46,01
	NS	0,985	0,983	0,983	0,984	0,983	0,983	0,984	0,983	0,983
7	EA(0,95) cm	47,52	47,17	46,61	45,18	46,12	46,12	43,79	43,88	43,82
	NS	0,986	0,985	0,985	0,985	0,984	0,984	0,986	0,985	0,985

Alternativas	Parâmetros	Com dados a partir do dia t-3			Com dados a partir do dia t-4			Com dados a partir do dia t-5		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	38,25	40,25	37,19	38,53	40,48	38,24	38,54	41,30	38,94
	NS	0,991	0,990	0,990	0,991	0,990	0,990	0,991	0,990	0,990
2	EA(0,95) cm	39,87	40,77	42,21	39,98	41,80	42,82	40,05	42,45	43,78
	NS	0,988	0,989	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,987
3	EA(0,95) cm	40,40	41,65	42,54	40,87	41,76	43,91	40,92	42,67	44,57
	NS	0,988	0,988	0,988	0,988	0,987	0,987	0,988	0,987	0,987
4	EA(0,95) cm	44,53	46,35	47,89	43,87	47,86	49,62	44,01	48,46	51,42
	NS	0,985	0,984	0,984	0,985	0,983	0,983	0,985	0,984	0,983
5	EA(0,95) cm	41,97	43,68	46,87	42,09	43,50	47,17	42,03	45,31	48,32
	NS	0,987	0,986	0,986	0,987	0,986	0,985	0,987	0,986	0,986
6	EA(0,95) cm	45,00	45,81	47,00	47,00	47,13	48,31	47,30	48,82	50,16
	NS	0,984	0,983	0,983	0,983	0,983	0,983	0,983	0,982	0,982
7	EA(0,95) cm	43,93	44,34	44,56	44,08	45,57	45,22	43,94	45,59	46,00
	NS	0,986	0,985	0,985	0,986	0,986	0,986	0,986	0,985	0,985

Tabela C.3: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Uruguiana com alcance de 24 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1			Com dados a partir do dia t-2		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	58,84	61,21	56,62	49,21	50,37	47,70	49,23	50,32	47,80
	NS	0,981	0,979	0,982	0,986	0,986	0,987	0,986	0,985	0,986
2	EA(0,95) cm	57,49	58,17	58,36	55,38	54,13	54,35	52,45	53,60	54,34
	NS	0,981	0,980	0,981	0,981	0,982	0,982	0,983	0,983	0,982
3	EA(0,95) cm	58,20	59,77	59,45	60,26	59,19	60,25	57,88	57,34	59,18
	NS	0,980	0,979	0,979	0,978	0,978	0,978	0,980	0,979	0,980
4	EA(0,95) cm	64,69	65,67	66,82	64,77	64,52	65,04	63,39	64,20	63,95
	NS	0,976	0,975	0,975	0,977	0,972	0,973	0,976	0,974	0,974
5	EA(0,95) cm	67,84	69,15	69,04	63,66	64,75	64,86	62,24	65,19	64,31
	NS	0,974	0,972	0,972	0,976	0,975	0,976	0,976	0,976	0,976
6	EA(0,95) cm	70,52	70,26	69,49	69,03	67,35	66,85	66,95	66,40	66,62
	NS	0,970	0,968	0,968	0,970	0,971	0,971	0,972	0,971	0,971
7	EA(0,95) cm	74,89	75,22	75,79	71,29	69,67	69,46	69,90	67,74	67,69
	NS	0,969	0,968	0,968	0,970	0,970	0,970	0,971	0,972	0,972

Alternativas	Parâmetros	Com dados a partir do dia t-3			Com dados a partir do dia t-4			Com dados a partir do dia t-5		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	49,43	51,94	50,45	49,32	52,49	51,13	49,80	52,28	51,29
	NS	0,986	0,984	0,985	0,986	0,982	0,983	0,986	0,983	0,983
2	EA(0,95) cm	52,95	53,62	54,77	53,16	54,43	56,25	52,63	55,35	57,92
	NS	0,983	0,983	0,983	0,983	0,983	0,982	0,983	0,981	0,980
3	EA(0,95) cm	57,93	57,66	58,99	58,26	58,66	61,43	57,94	58,39	60,38
	NS	0,980	0,980	0,980	0,980	0,979	0,979	0,980	0,980	0,979
4	EA(0,95) cm	62,28	64,28	65,48	63,02	66,05	65,79	62,61	67,69	68,65
	NS	0,976	0,975	0,974	0,976	0,974	0,973	0,976	0,974	0,972
5	EA(0,95) cm	63,13	64,93	65,40	62,22	64,67	65,66	63,54	65,83	66,35
	NS	0,977	0,975	0,975	0,977	0,976	0,976	0,977	0,976	0,975
6	EA(0,95) cm	65,93	66,19	67,39	66,30	65,84	67,94	67,56	68,71	71,21
	NS	0,972	0,972	0,972	0,971	0,972	0,972	0,972	0,970	0,969
7	EA(0,95) cm	70,44	68,06	68,87	70,09	68,26	69,63	70,60	69,49	71,33
	NS	0,971	0,972	0,972	0,971	0,973	0,973	0,971	0,972	0,971

Tabela C.4: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para verificação da previsão em Uruguaiana com alcance de 34 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1			Com dados a partir do dia t-2		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	76,40	81,13	72,04	59,89	60,04	56,79	61,25	60,54	57,46
	NS	0,970	0,967	0,972	0,981	0,981	0,983	0,981	0,980	0,981
2	EA(0,95) cm	72,04	73,21	72,39	67,58	66,93	64,49	66,37	65,88	64,55
	NS	0,971	0,967	0,969	0,975	0,975	0,976	0,976	0,976	0,977
3	EA(0,95) cm	74,81	75,92	74,33	75,73	73,23	71,97	71,78	71,41	72,24
	NS	0,970	0,968	0,969	0,970	0,970	0,972	0,972	0,972	0,973
4	EA(0,95) cm	83,56	84,35	84,32	82,54	80,89	81,53	81,59	81,30	81,34
	NS	0,964	0,962	0,963	0,965	0,959	0,961	0,963	0,958	0,960
5	EA(0,95) cm	87,57	87,53	87,99	81,69	81,35	81,88	80,50	81,82	80,84
	NS	0,959	0,958	0,959	0,964	0,963	0,965	0,965	0,962	0,964
6	EA(0,95) cm	93,32	92,27	92,39	91,09	85,90	86,51	88,19	83,19	83,68
	NS	0,951	0,946	0,947	0,953	0,957	0,958	0,956	0,956	0,958
7	EA(0,95) cm	99,14	99,71	99,46	94,57	91,76	90,93	92,75	89,75	90,07
	NS	0,948	0,948	0,947	0,953	0,954	0,955	0,954	0,956	0,957

Alternativas	Parâmetros	Com dados a partir do dia t-3			Com dados a partir do dia t-4			Com dados a partir do dia t-5		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	61,23	62,50	57,84	60,77	61,39	58,06	60,40	62,38	59,67
	NS	0,981	0,976	0,977	0,981	0,979	0,980	0,981	0,977	0,977
2	EA(0,95) cm	66,65	66,03	65,28	66,50	66,78	66,08	66,07	69,13	68,75
	NS	0,976	0,976	0,976	0,976	0,975	0,975	0,976	0,970	0,968
3	EA(0,95) cm	71,45	71,53	73,99	72,69	70,36	73,69	73,08	71,64	74,50
	NS	0,972	0,971	0,972	0,972	0,971	0,971	0,972	0,972	0,971
4	EA(0,95) cm	80,06	81,22	84,06	79,28	82,38	82,27	79,86	83,24	84,67
	NS	0,964	0,962	0,963	0,964	0,961	0,961	0,965	0,961	0,958
5	EA(0,95) cm	80,81	80,57	81,44	81,18	80,57	83,00	80,52	81,44	83,29
	NS	0,965	0,961	0,962	0,966	0,964	0,965	0,965	0,964	0,963
6	EA(0,95) cm	88,11	84,56	83,86	88,79	86,11	87,67	88,62	87,95	88,33
	NS	0,955	0,957	0,958	0,956	0,957	0,957	0,955	0,957	0,955
7	EA(0,95) cm	91,62	91,27	92,15	92,98	93,19	92,70	92,48	92,10	92,90
	NS	0,955	0,956	0,957	0,955	0,955	0,956	0,955	0,952	0,952

Tabela C.5: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Uruguaiana com alcance de 48 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1			Com dados a partir do dia t-2		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	97,85	104,45	96,88	72,55	73,70	72,54	72,51	75,26	73,69
	NS	0,948	0,945	0,952	0,971	0,971	0,972	0,971	0,968	0,969
2	EA(0,95) cm	90,79	90,73	91,15	79,41	77,33	77,27	77,02	76,03	77,25
	NS	0,954	0,951	0,954	0,966	0,967	0,968	0,968	0,968	0,969
3	EA(0,95) cm	92,31	93,21	91,10	89,95	87,53	85,85	84,86	84,03	86,88
	NS	0,956	0,954	0,957	0,959	0,959	0,961	0,962	0,962	0,963
4	EA(0,95) cm	100,18	101,44	103,01	97,01	98,14	98,44	96,86	98,01	98,85
	NS	0,949	0,947	0,949	0,951	0,946	0,948	0,950	0,945	0,946
5	EA(0,95) cm	105,30	105,49	105,13	98,51	98,13	97,53	98,76	98,96	98,93
	NS	0,940	0,940	0,941	0,947	0,947	0,950	0,948	0,945	0,947
6	EA(0,95) cm	117,97	114,29	113,38	111,00	106,89	103,59	107,14	102,19	100,12
	NS	0,924	0,924	0,925	0,930	0,936	0,939	0,935	0,938	0,940
7	EA(0,95) cm	124,90	126,25	125,55	117,32	118,91	114,67	116,55	116,97	113,69
	NS	0,919	0,918	0,918	0,926	0,929	0,931	0,928	0,932	0,934

Alternativas	Parâmetros	Com dados a partir do dia t-3			Com dados a partir do dia t-4			Com dados a partir do dia t-5		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	72,17	75,43	74,89	71,90	76,52	75,63	71,80	76,63	76,15
	NS	0,971	0,969	0,970	0,971	0,968	0,968	0,970	0,962	0,962
2	EA(0,95) cm	76,21	76,55	77,83	76,72	79,00	78,70	76,21	78,58	79,72
	NS	0,968	0,967	0,968	0,968	0,966	0,966	0,969	0,962	0,961
3	EA(0,95) cm	85,41	84,30	88,74	84,90	82,94	86,92	86,69	83,61	86,90
	NS	0,962	0,961	0,962	0,962	0,962	0,962	0,961	0,963	0,962
4	EA(0,95) cm	96,33	98,07	99,34	95,75	98,11	98,04	93,96	99,89	100,05
	NS	0,950	0,947	0,948	0,951	0,948	0,947	0,951	0,942	0,940
5	EA(0,95) cm	96,79	95,55	97,25	95,08	96,38	98,42	95,91	97,30	97,76
	NS	0,950	0,948	0,949	0,951	0,949	0,949	0,949	0,949	0,948
6	EA(0,95) cm	106,01	105,62	102,48	104,75	102,19	102,20	102,42	102,81	103,47
	NS	0,934	0,937	0,939	0,935	0,939	0,939	0,936	0,940	0,939
7	EA(0,95) cm	116,99	116,79	114,14	115,83	117,23	116,18	116,97	117,24	116,03
	NS	0,929	0,933	0,934	0,930	0,931	0,932	0,929	0,929	0,930

Tabela C.6: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Uruguaiana com alcance de 58 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1			Com dados a partir do dia t-2		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	116,63	124,86	116,55	90,54	91,00	87,57	89,16	92,14	89,41
	NS	0,926	0,922	0,932	0,959	0,958	0,960	0,959	0,955	0,956
2	EA(0,95) cm	106,59	107,25	104,25	91,59	91,37	89,28	88,73	89,47	89,98
	NS	0,936	0,936	0,941	0,956	0,956	0,958	0,957	0,956	0,958
3	EA(0,95) cm	105,86	105,94	103,50	100,34	98,13	97,70	98,16	95,66	96,66
	NS	0,942	0,939	0,944	0,948	0,946	0,950	0,951	0,950	0,953
4	EA(0,95) cm	112,38	114,85	113,31	109,98	110,41	108,96	109,55	109,16	109,76
	NS	0,934	0,932	0,934	0,934	0,930	0,934	0,934	0,929	0,932
5	EA(0,95) cm	119,78	120,87	118,92	112,87	114,50	111,91	112,28	115,63	109,99
	NS	0,923	0,923	0,926	0,931	0,931	0,936	0,933	0,930	0,934
6	EA(0,95) cm	133,54	128,92	128,18	127,06	120,28	120,14	125,38	118,73	118,88
	NS	0,901	0,903	0,905	0,913	0,918	0,922	0,914	0,919	0,923
7	EA(0,95) cm	143,92	145,20	144,51	138,26	136,77	135,89	137,79	136,16	133,99
	NS	0,891	0,888	0,888	0,901	0,905	0,909	0,903	0,907	0,910

Alternativas	Parâmetros	Com dados a partir do dia t-3			Com dados a partir do dia t-4			Com dados a partir do dia t-5		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	88,78	91,20	89,83	89,30	93,68	92,19	88,83	91,71	92,04
	NS	0,959	0,955	0,957	0,958	0,954	0,955	0,956	0,947	0,947
2	EA(0,95) cm	89,04	90,41	91,08	88,33	91,83	92,89	87,74	92,36	94,91
	NS	0,957	0,956	0,956	0,958	0,951	0,949	0,958	0,938	0,935
3	EA(0,95) cm	98,54	93,87	94,77	98,83	95,51	95,22	99,22	96,85	97,65
	NS	0,951	0,949	0,951	0,950	0,952	0,951	0,950	0,951	0,949
4	EA(0,95) cm	107,42	109,50	108,98	107,57	110,40	111,91	105,88	110,53	111,66
	NS	0,936	0,932	0,934	0,937	0,932	0,929	0,937	0,930	0,925
5	EA(0,95) cm	110,43	111,19	110,35	108,75	109,31	108,85	108,95	111,26	111,40
	NS	0,934	0,933	0,936	0,935	0,933	0,933	0,933	0,933	0,931
6	EA(0,95) cm	123,00	120,50	116,66	124,29	119,38	120,00	124,01	118,82	119,03
	NS	0,915	0,919	0,922	0,914	0,919	0,917	0,915	0,922	0,918
7	EA(0,95) cm	136,13	138,01	135,72	135,88	139,93	137,66	137,08	139,04	137,38
	NS	0,904	0,907	0,910	0,905	0,905	0,905	0,903	0,907	0,906

Tabela C.7: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Uruguaiana com alcance de 72 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1			Com dados a partir do dia t-2		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	143,58	147,05	140,76	112,46	110,96	110,93	112,50	112,44	113,34
	NS	0,893	0,889	0,901	0,936	0,935	0,937	0,937	0,932	0,934
2	EA(0,95) cm	131,24	131,41	128,03	111,64	109,85	107,83	109,93	112,60	112,44
	NS	0,908	0,909	0,916	0,939	0,939	0,942	0,940	0,940	0,941
3	EA(0,95) cm	124,65	126,08	123,16	116,84	114,45	113,19	113,22	114,21	113,41
	NS	0,919	0,917	0,923	0,932	0,931	0,936	0,935	0,934	0,937
4	EA(0,95) cm	129,57	130,60	130,91	127,35	128,36	125,01	124,45	125,96	125,58
	NS	0,913	0,912	0,916	0,914	0,911	0,915	0,914	0,910	0,913
5	EA(0,95) cm	139,95	136,74	135,70	130,47	128,74	127,96	127,79	129,82	127,76
	NS	0,901	0,902	0,906	0,910	0,909	0,916	0,912	0,911	0,916
6	EA(0,95) cm	158,48	146,43	145,96	147,78	137,65	136,07	146,60	138,14	135,29
	NS	0,869	0,877	0,880	0,884	0,894	0,899	0,885	0,895	0,899
7	EA(0,95) cm	168,10	170,28	169,05	161,37	161,30	156,91	160,55	161,45	157,52
	NS	0,854	0,852	0,853	0,866	0,873	0,877	0,868	0,875	0,879

Alternativas	Parâmetros	Com dados a partir do dia t-3			Com dados a partir do dia t-4			Com dados a partir do dia t-5		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	112,66	113,31	113,36	113,55	116,36	115,38	114,00	117,11	116,52
	NS	0,936	0,931	0,932	0,935	0,930	0,930	0,931	0,920	0,919
2	EA(0,95) cm	109,21	112,19	109,85	109,09	113,45	113,23	107,63	113,73	115,58
	NS	0,941	0,938	0,939	0,941	0,927	0,927	0,942	0,929	0,928
3	EA(0,95) cm	114,05	112,92	111,61	113,64	113,96	112,35	116,12	114,84	114,94
	NS	0,935	0,934	0,936	0,934	0,937	0,938	0,933	0,937	0,937
4	EA(0,95) cm	124,87	125,66	126,65	121,67	127,74	125,91	123,93	128,90	126,37
	NS	0,915	0,913	0,915	0,917	0,914	0,913	0,917	0,912	0,909
5	EA(0,95) cm	128,57	127,93	126,04	129,06	124,09	126,72	128,24	126,14	127,44
	NS	0,914	0,914	0,917	0,915	0,914	0,916	0,912	0,913	0,914
6	EA(0,95) cm	143,29	137,55	132,82	141,30	137,76	135,48	138,08	135,84	133,29
	NS	0,886	0,897	0,899	0,888	0,898	0,898	0,893	0,901	0,899
7	EA(0,95) cm	161,95	162,30	160,24	160,12	163,02	161,86	162,90	163,19	161,45
	NS	0,869	0,874	0,878	0,871	0,873	0,876	0,867	0,875	0,877

APÊNDICE D – RESULTADOS DA BACIA DE ITAQUI

Neste apêndice são apresentados os detalhes dos resultados obtidos para previsão em Itaqui.

Os resultados das intercorrelações com defasagens de 12 horas para o posto de Itaqui são apresentados na tabela D.1.

Tabela D.1: Resultado do autocorrelograma de Itaqui (Itaqui x Itaqui) e dos intercorrelogramas (Itaqui com postos de controle de montante).

Defasagem (horas)	Itaqui	São Borja	Garruchos	Porto Lucena	Alto Uruguai	Iraí
0	1,000	0,947	0,861	0,738	0,686	0,659
12	0,997	0,960	0,887	0,770	0,715	0,683
24	0,988	0,967	0,906	0,800	0,744	0,707
36	0,975	0,965	0,918	0,824	0,771	0,732
48	0,959	0,957	0,921	0,840	0,793	0,754
60	0,940	0,944	0,917	0,847	0,808	0,770
72	0,919	0,927	0,907	0,846	0,816	0,780
84	0,898	0,907	0,893	0,839	0,817	0,783
96	0,875	0,885	0,875	0,827	0,811	0,780

Tabela D.2: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Itaqui com alcance de 10 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1			Com dados a partir do dia t-2			Com dados a partir do dia t-3			Com dados a partir do dia t-4		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	25,02	24,63	23,75	12,96	13,01	12,88	12,73	12,77	12,89	12,88	12,74	13,28	12,94	12,78	13,43
	NS	0,997	0,996	0,996	0,999	0,998	0,998	0,999	0,999	0,999	0,999	0,997	0,996	0,999	0,996	0,996
2	EA(0,95) cm	23,75	23,21	22,71	13,41	14,57	14,93	13,51	14,61	15,28	13,68	14,99	16,03	13,70	15,34	16,33
	NS	0,997	0,997	0,997	0,999	0,998	0,998	0,999	0,998	0,998	0,999	0,998	0,998	0,999	0,998	0,998
3	EA(0,95) cm	26,11	26,03	25,54	14,83	14,79	15,64	18,64	14,90	16,22	18,63	15,33	16,10	18,57	15,36	16,73
	NS	0,997	0,997	0,997	0,998	0,999	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,997
4	EA(0,95) cm	29,03	28,59	28,73	16,76	17,34	17,77	16,28	16,96	16,75	15,93	16,75	16,81	16,22	15,29	16,13
	NS	0,996	0,996	0,996	0,998	0,998	0,998	0,998	0,997	0,997	0,998	0,997	0,997	0,998	0,996	0,996
5	EA(0,95) cm	33,80	29,97	30,06	23,39	16,41	17,25	23,90	16,20	17,07	25,26	16,73	17,25	27,39	16,46	17,97
	NS	0,995	0,995	0,995	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,995	0,995	0,996	0,994	0,994
6	EA(0,95) cm	31,60	31,32	31,68	15,90	16,88	17,04	15,67	17,08	17,40	15,82	17,55	17,89	15,78	17,72	18,32
	NS	0,995	0,995	0,995	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,997	0,998	0,997	0,997	0,998	0,997	0,996

Tabela D.3: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Itaqui com alcance de 24 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1			Com dados a partir do dia t-2			Com dados a partir do dia t-3			Com dados a partir do dia t-4		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	56,73	57,46	55,72	30,08	30,63	30,28	29,33	30,42	30,62	29,51	30,25	30,36	29,34	30,51	31,12
	NS	0,985	0,985	0,986	0,995	0,994	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,993	0,993	0,995	0,992	0,992
2	EA(0,95) cm	54,55	51,68	49,80	31,29	32,69	31,96	30,50	32,75	32,50	31,53	33,32	32,80	31,99	33,94	33,41
	NS	0,988	0,988	0,989	0,995	0,994	0,994	0,995	0,994	0,994	0,995	0,993	0,993	0,995	0,992	0,992
3	EA(0,95) cm	55,47	55,12	53,76	36,84	36,64	37,05	40,07	36,77	37,65	39,98	37,03	37,85	39,96	37,38	37,72
	NS	0,986	0,986	0,987	0,993	0,993	0,993	0,992	0,993	0,993	0,992	0,992	0,992	0,992	0,991	0,991
4	EA(0,95) cm	60,51	61,19	60,65	40,30	41,79	42,46	38,56	42,00	40,65	38,86	40,66	40,79	38,76	39,21	39,97
	NS	0,983	0,982	0,982	0,991	0,991	0,991	0,992	0,990	0,990	0,992	0,991	0,990	0,992	0,991	0,991
5	EA(0,95) cm	71,79	65,88	64,26	50,23	43,50	42,13	50,93	41,61	41,93	53,07	41,88	42,04	54,33	42,03	43,39
	NS	0,977	0,979	0,979	0,988	0,991	0,991	0,988	0,990	0,990	0,987	0,987	0,987	0,985	0,988	0,987
6	EA(0,95) cm	70,57	71,19	71,45	42,72	43,03	43,92	41,87	43,93	44,05	42,56	44,13	44,58	42,47	43,84	44,85
	NS	0,976	0,976	0,976	0,990	0,989	0,989	0,990	0,989	0,988	0,990	0,987	0,986	0,990	0,986	0,985

Tabela D.4: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Itaqui com alcance de 34 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1			Com dados a partir do dia t-2			Com dados a partir do dia t-3			Com dados a partir do dia t-4		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	82,84	83,43	80,17	48,09	49,98	49,02	48,95	49,24	50,01	49,07	49,10	50,38	48,37	48,78	50,36
	NS	0,970	0,968	0,970	0,988	0,987	0,987	0,988	0,986	0,986	0,988	0,986	0,986	0,988	0,986	0,985
2	EA(0,95) cm	76,55	73,28	71,74	48,53	49,25	48,88	47,82	49,95	49,82	48,09	50,72	50,54	48,66	49,85	49,69
	NS	0,976	0,976	0,978	0,989	0,988	0,988	0,989	0,988	0,987	0,989	0,988	0,988	0,989	0,988	0,988
3	EA(0,95) cm	76,87	75,19	74,03	54,77	55,20	54,78	58,50	55,19	55,32	58,52	56,55	56,46	59,23	55,83	55,83
	NS	0,974	0,975	0,977	0,986	0,986	0,986	0,985	0,986	0,986	0,985	0,986	0,986	0,985	0,984	0,984
4	EA(0,95) cm	82,95	84,17	82,76	59,94	63,05	63,70	57,37	57,97	59,23	57,81	56,95	57,98	57,72	57,54	58,59
	NS	0,969	0,969	0,970	0,982	0,980	0,981	0,985	0,982	0,982	0,985	0,983	0,983	0,984	0,984	0,983
5	EA(0,95) cm	97,39	90,52	89,54	73,15	65,18	64,68	72,46	61,85	62,81	81,65	61,64	62,12	81,71	65,16	64,42
	NS	0,959	0,964	0,964	0,976	0,981	0,982	0,977	0,981	0,980	0,970	0,978	0,977	0,967	0,979	0,978
6	EA(0,95) cm	101,63	101,79	102,01	67,35	67,21	66,31	66,61	67,67	67,34	66,90	67,13	67,60	66,60	67,61	68,28
	NS	0,954	0,954	0,954	0,977	0,976	0,976	0,978	0,970	0,969	0,978	0,971	0,970	0,977	0,965	0,963

Tabela D.5: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Itaqui com alcance de 48 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1			Com dados a partir do dia t-2			Com dados a partir do dia t-3			Com dados a partir do dia t-4		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	113,94	115,67	113,56	77,95	79,72	79,87	77,40	79,65	78,70	76,69	80,06	79,04	76,79	79,49	78,67
	NS	0,941	0,938	0,942	0,970	0,969	0,969	0,971	0,963	0,963	0,971	0,969	0,968	0,971	0,968	0,968
2	EA(0,95) cm	108,66	103,64	101,64	73,27	75,22	73,25	73,47	76,04	73,45	73,20	76,09	74,87	74,35	75,39	74,61
	NS	0,952	0,953	0,956	0,977	0,975	0,975	0,976	0,974	0,974	0,976	0,974	0,973	0,976	0,973	0,972
3	EA(0,95) cm	103,75	103,56	101,22	79,91	81,45	80,41	82,52	81,66	79,26	83,40	83,86	81,06	84,77	82,27	80,57
	NS	0,952	0,955	0,958	0,972	0,972	0,973	0,970	0,972	0,972	0,970	0,972	0,972	0,970	0,972	0,971
4	EA(0,95) cm	107,16	108,63	104,39	88,28	88,87	88,32	81,68	84,87	82,21	82,30	85,09	84,13	83,67	84,16	85,56
	NS	0,948	0,948	0,950	0,966	0,963	0,964	0,969	0,967	0,967	0,969	0,954	0,954	0,969	0,968	0,968
5	EA(0,95) cm	128,25	119,94	118,62	104,35	94,27	92,66	100,71	90,43	88,25	114,87	87,25	87,73	118,60	91,21	88,89
	NS	0,929	0,937	0,939	0,952	0,962	0,964	0,954	0,964	0,964	0,943	0,960	0,959	0,936	0,960	0,958
6	EA(0,95) cm	139,19	139,09	138,56	101,32	99,40	97,69	98,16	98,85	96,88	99,09	99,04	98,96	98,51	98,46	100,02
	NS	0,917	0,917	0,917	0,952	0,951	0,951	0,953	0,949	0,948	0,953	0,943	0,941	0,953	0,932	0,929

Tabela D.6: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Itaqui com alcance de 58 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1			Com dados a partir do dia t-2			Com dados a partir do dia t-3			Com dados a partir do dia t-4		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	139,33	141,54	138,39	105,01	107,69	106,54	102,02	104,02	104,05	102,95	105,16	103,87	103,13	107,14	106,11
	NS	0,914	0,913	0,918	0,951	0,948	0,949	0,953	0,948	0,948	0,952	0,947	0,947	0,952	0,949	0,948
2	EA(0,95) cm	130,13	125,92	125,71	97,49	97,53	94,96	94,56	97,60	97,79	96,31	100,50	100,24	94,66	98,94	97,89
	NS	0,929	0,929	0,933	0,961	0,960	0,960	0,961	0,958	0,958	0,960	0,949	0,949	0,961	0,959	0,957
3	EA(0,95) cm	123,19	124,64	120,55	99,69	103,97	100,61	103,05	102,23	98,58	102,36	104,04	102,57	103,94	103,21	102,32
	NS	0,931	0,935	0,939	0,956	0,956	0,958	0,953	0,956	0,956	0,954	0,955	0,955	0,954	0,955	0,955
4	EA(0,95) cm	126,02	127,58	124,37	107,29	109,56	105,98	100,93	103,19	100,19	101,30	101,83	100,60	102,36	103,06	102,68
	NS	0,928	0,927	0,931	0,949	0,946	0,948	0,954	0,947	0,948	0,954	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953
5	EA(0,95) cm	150,30	137,95	137,02	131,53	115,34	112,93	128,24	109,35	109,43	145,92	109,03	104,22	149,15	111,50	107,66
	NS	0,904	0,916	0,920	0,924	0,944	0,946	0,926	0,946	0,946	0,905	0,942	0,941	0,898	0,943	0,940
6	EA(0,95) cm	162,45	160,46	160,01	125,92	124,66	122,98	122,48	122,69	121,23	124,96	125,45	123,66	125,12	126,52	124,88
	NS	0,885	0,885	0,886	0,927	0,924	0,924	0,928	0,920	0,918	0,928	0,915	0,913	0,928	0,875	0,871

Tabela D.7: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Itaqui com alcance de 72 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1			Com dados a partir do dia t-2			Com dados a partir do dia t-3			Com dados a partir do dia t-4		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	172,71	173,17	171,19	137,54	143,08	140,54	135,31	138,03	136,50	136,94	140,02	136,79	137,42	141,34	137,13
	NS	0,872	0,872	0,878	0,918	0,914	0,915	0,920	0,915	0,915	0,920	0,914	0,913	0,918	0,915	0,914
2	EA(0,95) cm	159,64	154,46	152,83	127,39	126,80	125,91	125,99	127,16	126,05	127,49	129,12	128,80	125,16	128,09	128,27
	NS	0,891	0,891	0,897	0,932	0,931	0,932	0,932	0,929	0,929	0,932	0,925	0,925	0,932	0,927	0,925
3	EA(0,95) cm	153,05	154,49	152,26	130,94	133,22	130,94	133,53	134,22	127,86	132,82	136,39	133,83	133,38	136,45	134,71
	NS	0,895	0,903	0,908	0,928	0,929	0,931	0,924	0,927	0,929	0,925	0,926	0,926	0,924	0,928	0,927
4	EA(0,95) cm	152,94	150,91	148,45	133,14	135,64	132,57	126,57	129,64	126,97	125,85	129,90	129,91	126,13	128,89	128,93
	NS	0,898	0,897	0,902	0,921	0,917	0,920	0,927	0,916	0,917	0,928	0,926	0,927	0,926	0,925	0,925
5	EA(0,95) cm	177,94	162,52	159,32	165,60	141,91	139,70	168,94	134,44	133,42	190,36	135,62	134,60	185,74	135,40	135,28
	NS	0,865	0,886	0,892	0,880	0,915	0,919	0,879	0,918	0,918	0,839	0,914	0,912	0,838	0,914	0,910
6	EA(0,95) cm	194,42	192,78	191,43	165,34	161,24	161,07	162,25	161,10	157,26	162,65	163,13	159,08	163,31	161,52	158,42
	NS	0,841	0,840	0,842	0,887	0,883	0,885	0,889	0,879	0,878	0,889	0,874	0,872	0,889	0,828	0,824

APÊNDICE E – RESULTADOS DA BACIA DE PASSO SÃO BORJA

Neste apêndice são apresentados os detalhes dos resultados obtidos para previsão em Passo São Borja.

Os resultados das intercorrelações com defasagens de 12 horas para o posto de Passo São Borja são apresentados na tabela E.1.

Tabela E.1: Resultados do autocorrelograma de Passo São Borja (Passo São Borja x Passo São Borja) e dos intercorrelogramas (Passo São Borja com postos de controle de montante).

Defasagem (horas)	São Borja	Garruchos	Porto Lucena	Alto Uruguai	Iraí
0	1,000	0,962	0,859	0,788	0,741
12	0,993	0,978	0,897	0,825	0,774
24	0,976	0,980	0,922	0,859	0,806
36	0,950	0,967	0,931	0,884	0,833
48	0,920	0,944	0,924	0,895	0,851
60	0,887	0,915	0,904	0,892	0,856
72	0,853	0,881	0,876	0,876	0,848

Tabela E.2: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Passo São Borja com alcance de 10 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1			Com dados a partir do dia t-2			Com dados a partir do dia t-3		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	37,27	35,97	33,67	22,12	22,17	22,18	22,35	22,21	22,45	22,63	22,20	22,79
	NS	0,993	0,993	0,994	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997
2	EA(0,95) cm	37,70	36,51	35,67	27,09	26,82	26,41	27,52	26,82	27,30	27,68	27,04	27,62
	NS	0,993	0,993	0,993	0,996	0,996	0,996	0,996	0,995	0,995	0,996	0,994	0,994
3	EA(0,95) cm	42,39	43,02	42,17	28,33	28,27	28,01	27,99	27,77	27,65	27,86	27,70	28,53
	NS	0,991	0,991	0,991	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995
4	EA(0,95) cm	50,39	47,79	47,50	30,57	30,33	29,86	32,29	29,43	29,91	32,33	30,30	30,62
	NS	0,989	0,989	0,989	0,994	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993
5	EA(0,95) cm	50,07	50,44	50,67	29,78	29,61	29,10	29,49	29,41	29,16	29,51	29,49	29,81
	NS	0,988	0,987	0,987	0,994	0,992	0,992	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994	0,994

Tabela E.3: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Passo São Borja com alcance de 24 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1			Com dados a partir do dia t-2			Com dados a partir do dia t-3		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	83,65	83,93	78,98	50,00	50,49	51,42	49,97	50,01	52,18	49,92	49,57	51,98
	NS	0,971	0,973	0,976	0,988	0,989	0,988	0,988	0,989	0,988	0,988	0,989	0,988
2	EA(0,95) cm	70,92	69,62	68,81	51,94	52,88	52,44	52,67	52,91	54,00	52,01	52,46	53,52
	NS	0,976	0,977	0,978	0,986	0,986	0,986	0,987	0,984	0,984	0,986	0,986	0,986
3	EA(0,95) cm	80,97	82,01	79,93	60,60	59,77	60,57	58,43	59,42	59,03	58,16	59,67	60,63
	NS	0,970	0,970	0,971	0,982	0,981	0,982	0,983	0,982	0,982	0,983	0,982	0,982
4	EA(0,95) cm	98,25	94,23	94,39	71,33	67,45	66,00	65,95	61,70	63,88	70,22	62,33	64,92
	NS	0,957	0,962	0,962	0,977	0,977	0,977	0,979	0,979	0,978	0,977	0,979	0,979
5	EA(0,95) cm	105,81	106,66	107,66	68,30	69,35	69,46	67,95	68,07	69,99	67,95	68,59	71,13
	NS	0,949	0,947	0,947	0,974	0,971	0,971	0,974	0,973	0,973	0,974	0,973	0,972

Tabela E.4: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Passo São Borja com alcance de 34 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1			Com dados a partir do dia t-2			Com dados a partir do dia t-3		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	121,55	124,28	116,05	82,48	85,04	85,11	83,87	85,48	86,07	83,74	85,52	85,52
	NS	0,938	0,940	0,946	0,967	0,969	0,968	0,967	0,969	0,968	0,967	0,969	0,967
2	EA(0,95) cm	104,27	105,35	100,89	81,78	80,95	80,62	84,32	81,62	82,00	83,91	81,09	80,07
	NS	0,952	0,952	0,955	0,970	0,969	0,969	0,969	0,966	0,966	0,969	0,970	0,969
3	EA(0,95) cm	106,76	105,63	102,94	90,96	87,52	86,50	87,95	88,06	86,09	87,95	86,79	89,40
	NS	0,949	0,949	0,951	0,963	0,963	0,964	0,966	0,964	0,965	0,966	0,964	0,964
4	EA(0,95) cm	131,75	125,88	123,47	105,87	99,77	95,29	96,94	92,02	90,49	104,65	93,66	94,78
	NS	0,925	0,933	0,935	0,952	0,954	0,956	0,957	0,959	0,959	0,952	0,955	0,953
5	EA(0,95) cm	148,49	150,83	150,53	107,57	109,62	107,78	107,02	108,00	108,27	106,21	108,33	109,39
	NS	0,904	0,901	0,901	0,941	0,938	0,939	0,942	0,940	0,940	0,942	0,940	0,939

Tabela E.5: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Passo São Borja com alcance de 48 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1			Com dados a partir do dia t-2			Com dados a partir do dia t-3		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	167,41	173,47	163,94	133,91	130,80	132,56	133,56	131,65	130,82	135,31	131,26	132,82
	NS	0,883	0,885	0,893	0,924	0,928	0,928	0,924	0,928	0,926	0,924	0,928	0,925
2	EA(0,95) cm	145,87	146,89	146,06	122,33	121,35	121,55	126,43	121,24	123,07	127,41	118,84	117,64
	NS	0,905	0,907	0,911	0,936	0,934	0,934	0,934	0,925	0,924	0,933	0,936	0,934
3	EA(0,95) cm	134,51	136,49	132,29	122,79	116,95	117,40	119,40	117,32	118,85	119,03	117,52	119,06
	NS	0,916	0,916	0,920	0,932	0,933	0,935	0,936	0,934	0,935	0,936	0,934	0,933
4	EA(0,95) cm	165,69	154,65	152,20	147,42	135,53	133,41	142,16	126,41	128,03	147,76	128,31	131,26
	NS	0,882	0,896	0,901	0,909	0,918	0,920	0,917	0,922	0,922	0,906	0,927	0,925
5	EA(0,95) cm	194,12	196,67	192,45	160,05	160,69	163,36	160,29	159,94	163,89	160,54	160,47	164,03
	NS	0,839	0,837	0,838	0,886	0,883	0,884	0,888	0,886	0,885	0,888	0,886	0,884

Tabela E.6: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Passo São Borja com alcance de 58 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1			Com dados a partir do dia t-2			Com dados a partir do dia t-3		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	205,54	209,94	200,38	174,55	165,37	166,38	174,40	166,93	166,21	173,74	166,66	167,78
	NS	0,831	0,832	0,842	0,878	0,885	0,884	0,878	0,884	0,882	0,878	0,884	0,881
2	EA(0,95) cm	188,19	193,72	187,14	163,68	164,76	164,38	164,86	165,71	163,69	167,67	158,52	156,66
	NS	0,856	0,858	0,864	0,894	0,892	0,892	0,891	0,874	0,873	0,890	0,896	0,894
3	EA(0,95) cm	165,16	167,90	160,88	150,07	145,12	143,65	149,47	143,80	142,67	150,83	144,48	146,09
	NS	0,880	0,880	0,886	0,898	0,900	0,902	0,903	0,901	0,901	0,902	0,899	0,898
4	EA(0,95) cm	197,96	176,81	175,71	185,92	162,07	159,72	179,99	155,51	155,44	186,18	154,31	156,51
	NS	0,840	0,861	0,869	0,856	0,885	0,889	0,866	0,891	0,891	0,846	0,894	0,892
5	EA(0,95) cm	230,20	230,87	231,51	198,01	198,77	196,85	197,40	198,64	200,04	197,96	199,32	200,74
	NS	0,786	0,784	0,787	0,835	0,831	0,834	0,837	0,835	0,835	0,838	0,834	0,834

Tabela E.7: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Passo São Borja com alcance de 72 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1			Com dados a partir do dia t-2			Com dados a partir do dia t-3		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	247,37	254,54	243,19	217,57	212,20	210,49	216,79	210,38	212,79	214,77	210,26	211,37
	NS	0,762	0,762	0,774	0,813	0,822	0,823	0,814	0,821	0,820	0,813	0,821	0,818
2	EA(0,95) cm	231,15	240,76	232,84	207,20	206,19	202,35	206,95	206,01	204,01	205,81	201,50	200,59
	NS	0,785	0,791	0,798	0,832	0,829	0,829	0,826	0,787	0,786	0,824	0,837	0,834
3	EA(0,95) cm	204,47	203,40	200,71	188,25	188,93	187,99	188,03	186,49	186,58	191,27	186,38	186,27
	NS	0,823	0,824	0,831	0,845	0,847	0,849	0,850	0,847	0,846	0,850	0,845	0,843
4	EA(0,95) cm	233,24	213,63	210,17	229,47	191,09	189,28	229,12	186,06	189,12	240,55	189,56	191,85
	NS	0,780	0,810	0,821	0,767	0,831	0,836	0,776	0,839	0,839	0,751	0,818	0,814
5	EA(0,95) cm	265,83	265,89	263,95	238,30	240,63	236,27	236,76	239,16	239,41	235,38	237,44	240,87
	NS	0,721	0,719	0,724	0,768	0,764	0,769	0,771	0,768	0,770	0,772	0,768	0,768

APÊNDICE F – RESULTADOS DA BACIA DE GARRUCHOS

Neste apêndice são apresentados os detalhes dos resultados obtidos para previsão em Garruchos.

Os resultados das intercorrelações com defasagens de 12 horas para o posto de Passo São Borja são apresentados na tabela F.1.

Tabela F.1: Resultado do autocorrelograma de Garruchos (Garruchos x Garruchos) e dos intercorrelogramas (Garruchos com postos de controle de montante).

Defasagem (horas)	Garruchos	Porto Lucena	Alto Uruguai	Iraí
0	1,000	0,943	0,862	0,804
12	0,989	0,967	0,901	0,843
24	0,961	0,966	0,927	0,875
36	0,924	0,942	0,932	0,892
48	0,881	0,904	0,916	0,889

Tabela F.2: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Garruchos com alcance de 10 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1			Com dados a partir do dia t-2		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	51,54	50,71	49,59	37,88	34,29	34,75	36,98	35,17	34,88
	NS	0,990	0,990	0,990	0,994	0,995	0,995	0,994	0,994	0,994
2	EA(0,95) cm	54,87	53,44	53,43	44,90	40,47	41,58	44,38	42,31	41,44
	NS	0,989	0,989	0,989	0,992	0,993	0,993	0,992	0,994	0,993
3	EA(0,95) cm	62,85	63,05	62,84	48,25	43,58	44,90	44,14	41,59	42,16
	NS	0,987	0,986	0,986	0,991	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992
4	EA(0,95) cm	69,98	70,22	70,11	51,42	47,34	46,80	52,82	48,17	48,65
	NS	0,983	0,983	0,982	0,990	0,991	0,990	0,990	0,991	0,990

Tabela F.3: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Garruchos com alcance de 24 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1			Com dados a partir do dia t-2		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	118,55	120,93	120,47	89,60	89,03	88,33	88,66	90,36	91,65
	NS	0,945	0,945	0,946	0,969	0,969	0,969	0,969	0,968	0,967
2	EA(0,95) cm	108,10	108,14	104,30	92,86	87,48	88,84	90,62	87,29	87,99
	NS	0,957	0,958	0,960	0,968	0,972	0,972	0,969	0,972	0,971
3	EA(0,95) cm	127,44	129,89	125,44	109,98	103,97	103,14	99,70	91,20	93,01
	NS	0,942	0,941	0,944	0,956	0,955	0,955	0,962	0,966	0,965
4	EA(0,95) cm	154,65	156,61	157,79	123,87	120,47	119,58	124,97	119,72	118,83
	NS	0,914	0,914	0,912	0,943	0,945	0,945	0,942	0,946	0,945

Tabela F.4: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Garruchos com alcance de 34 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1			Com dados a partir do dia t-2		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	169,63	174,72	169,56	137,86	133,84	132,47	135,16	134,36	137,14
	NS	0,894	0,893	0,895	0,929	0,931	0,930	0,930	0,930	0,928
2	EA(0,95) cm	143,17	139,07	136,13	133,29	115,57	112,32	129,54	113,16	117,57
	NS	0,925	0,927	0,930	0,938	0,948	0,948	0,940	0,948	0,947
3	EA(0,95) cm	157,09	158,68	155,76	142,21	134,29	135,04	133,68	122,96	124,94
	NS	0,909	0,906	0,912	0,928	0,918	0,919	0,931	0,941	0,939
4	EA(0,95) cm	211,20	210,85	209,75	177,98	166,80	167,79	177,59	167,76	168,53
	NS	0,853	0,852	0,851	0,889	0,894	0,894	0,889	0,895	0,893

Tabela F.5: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Garruchos com alcance de 48 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1			Com dados a partir do dia t-2		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	241,42	249,56	247,51	208,93	208,20	207,70	207,89	210,97	214,19
	NS	0,794	0,794	0,797	0,839	0,845	0,842	0,838	0,843	0,838
2	EA(0,95) cm	191,04	194,16	188,37	183,00	162,64	165,32	184,89	164,50	166,91
	NS	0,854	0,855	0,860	0,872	0,888	0,887	0,872	0,887	0,884
3	EA(0,95) cm	199,63	203,10	195,42	195,36	177,73	178,76	206,20	166,74	169,55
	NS	0,840	0,840	0,850	0,849	0,830	0,831	0,830	0,884	0,882
4	EA(0,95) cm	268,28	270,81	268,49	243,86	232,07	233,78	242,34	228,50	228,93
	NS	0,753	0,751	0,751	0,790	0,800	0,801	0,791	0,801	0,800

Tabela F.6: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Garruchos com alcance de 58 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1			Com dados a partir do dia t-2		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	278,75	288,87	292,38	256,44	255,14	257,30	253,46	256,03	259,46
	NS	0,724	0,727	0,730	0,770	0,778	0,775	0,767	0,774	0,769
2	EA(0,95) cm	226,67	232,86	226,49	221,90	204,25	206,18	226,31	205,25	213,68
	NS	0,794	0,794	0,799	0,814	0,831	0,829	0,812	0,829	0,825
3	EA(0,95) cm	246,00	243,01	233,37	246,07	217,06	217,82	260,58	207,09	210,00
	NS	0,782	0,785	0,797	0,776	0,770	0,771	0,744	0,830	0,828
4	EA(0,95) cm	304,46	306,78	303,88	292,52	276,28	270,77	288,42	272,90	273,49
	NS	0,689	0,687	0,688	0,721	0,734	0,737	0,721	0,735	0,736

Tabela F.7: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Garruchos com alcance de 72 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1			Com dados a partir do dia t-2		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	334,85	341,95	332,61	312,12	306,95	308,07	322,21	309,95	311,11
	NS	0,622	0,627	0,634	0,665	0,676	0,675	0,658	0,671	0,667
2	EA(0,95) cm	281,18	290,42	291,52	274,42	268,91	273,82	284,91	271,31	274,61
	NS	0,695	0,695	0,702	0,718	0,733	0,732	0,715	0,730	0,726
3	EA(0,95) cm	305,70	298,72	284,27	322,44	271,77	271,72	331,10	265,68	268,59
	NS	0,677	0,687	0,701	0,627	0,667	0,669	0,589	0,729	0,729
4	EA(0,95) cm	340,30	350,11	339,76	341,19	330,38	322,64	332,95	321,01	324,44
	NS	0,599	0,595	0,600	0,624	0,635	0,642	0,625	0,638	0,642

APÊNDICE G – RESULTADOS DA BACIA DE PORTO LUCENA

Neste apêndice são apresentados os detalhes dos resultados obtidos para previsão em Porto Lucena.

Os resultados das intercorrelações com defasagens de 12 horas para o posto de Passo São Borja são apresentados na tabela G.1.

Tabela G.1: Resultado do autocorrelograma de Porto Lucena (Porto Lucena x Porto Lucena) e dos intercorrelogramas (Porto Lucena com postos de controle de montante).

Defasagem (horas)	Porto Lucena	Alto Uruguai	Iraí
0	1,000	0,935	0,873
12	0,978	0,964	0,913
24	0,927	0,956	0,930
36	0,863	0,914	0,911
48	0,797	0,850	0,860

Tabela G.2: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Porto Lucena com alcance de 10 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	32,80	33,94	32,03	28,18	25,31	25,10
	NS	0,980	0,980	0,980	0,985	0,987	0,987
2	EA(0,95) cm	38,38	38,68	38,36	30,87	28,93	28,95
	NS	0,971	0,972	0,972	0,983	0,984	0,983
3	EA(0,95) cm	41,49	41,49	42,40	34,51	32,72	33,33
	NS	0,962	0,960	0,959	0,977	0,977	0,977

Tabela G.3: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Porto Lucena com alcance de 24 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	62,55	62,95	60,11	62,02	50,27	50,13
	NS	0,915	0,922	0,924	0,923	0,943	0,941
2	EA(0,95) cm	70,44	72,73	70,78	60,12	57,83	58,06
	NS	0,892	0,894	0,900	0,931	0,934	0,934
3	EA(0,95) cm	85,83	86,68	87,08	80,63	77,78	76,82
	NS	0,832	0,830	0,826	0,870	0,876	0,873

Tabela G.4: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Porto Lucena com alcance de 34 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			com dados a partir do dia t-1		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	87,76	89,70	85,81	89,08	76,55	76,46
	NS	0,829	0,835	0,838	0,831	0,864	0,862
2	EA(0,95) cm	88,36	90,57	90,21	96,76	75,39	75,20
	NS	0,820	0,824	0,835	0,828	0,879	0,880
3	EA(0,95) cm	113,30	114,41	114,00	108,16	103,94	103,60
	NS	0,722	0,721	0,717	0,757	0,771	0,769

Tabela G.5: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Porto Lucena com alcance de 48 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	115,30	123,76	118,82	121,65	114,93	115,78
	NS	0,683	0,685	0,689	0,676	0,719	0,716
2	EA(0,95) cm	118,21	122,29	118,92	149,06	109,26	108,12
	NS	0,680	0,690	0,702	0,610	0,745	0,748
3	EA(0,95) cm	142,28	146,58	143,89	139,36	138,62	138,19
	NS	0,586	0,584	0,585	0,607	0,621	0,620

Tabela G.6: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Porto Lucena com alcance de 58 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	136,68	146,60	139,42	143,84	138,20	137,62
	NS	0,586	0,585	0,594	0,567	0,611	0,610
2	EA(0,95) cm	141,59	142,24	138,04	176,03	138,99	131,62
	NS	0,574	0,589	0,601	0,438	0,626	0,630
3	EA(0,95) cm	152,67	161,97	157,13	150,91	156,37	153,66
	NS	0,514	0,512	0,520	0,511	0,535	0,537

Tabela G.7: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Porto Lucena com alcance de 72 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	154,05	171,26	165,69	160,04	166,56	164,25
	NS	0,479	0,477	0,491	0,456	0,493	0,496
2	EA(0,95) cm	169,42	167,81	161,94	196,08	166,43	161,36
	NS	0,455	0,473	0,489	0,281	0,494	0,501
3	EA(0,95) cm	163,52	176,90	171,94	169,98	174,22	172,54
	NS	0,428	0,427	0,440	0,421	0,438	0,444

APÊNDICE H – RESULTADOS DA BACIA DE ALTO URUGUAI

Neste apêndice são apresentados os detalhes dos resultados obtidos para previsão em Alto Uruguai.

Os resultados das intercorrelações com defasagens de 12 horas para o posto de Alto Uruguai são apresentados na tabela H.1.

Tabela H.1: Resultado do autocorrelograma de Alto Uruguai (Alto Uruguai x Alto Uruguai) e dos intercorrelogramas (Alto Uruguai com postos de controle de montante).

Defasagem (horas)	Alto Uruguai	Iraí
0	1,000	0,930
12	0,968	0,936
24	0,911	0,900

Tabela H.2: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Alto Uruguai com alcance de 10 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	85,36	84,01	84,48	106,14	76,31	74,33
	NS	0,948	0,946	0,947	0,939	0,955	0,956
2	EA(0,95) cm	82,93	84,82	86,83	80,85	81,46	82,06
	NS	0,937	0,938	0,937	0,943	0,938	0,937

Tabela H.3: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Alto Uruguai com alcance de 24 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	153,37	150,25	149,20	224,19	136,78	134,36
	NS	0,815	0,813	0,814	0,738	0,846	0,846
2	EA(0,95) cm	150,28	152,84	153,94	151,54	146,33	147,35
	NS	0,803	0,780	0,775	0,797	0,819	0,815

Tabela H.4: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Alto Uruguai com alcance de 34 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	202,00	195,62	195,46	301,87	188,77	182,66
	NS	0,695	0,698	0,695	0,532	0,715	0,712
2	EA(0,95) cm	190,42	205,26	201,62	182,99	194,87	193,56
	NS	0,689	0,667	0,662	0,690	0,710	0,705

Tabela H.5: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Alto Uruguai com alcance de 48 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	246,16	241,15	240,24	340,11	235,32	229,98
	NS	0,559	0,564	0,559	0,327	0,562	0,561
2	EA(0,95) cm	240,32	248,47	249,86	232,82	244,99	246,27
	NS	0,573	0,568	0,564	0,582	0,583	0,577

Tabela H.6: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Alto Uruguai com alcance de 58 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	286,54	274,31	276,79	369,28	270,71	265,86
	NS	0,484	0,486	0,482	0,218	0,464	0,465
2	EA(0,95) cm	258,19	269,97	267,23	258,71	269,81	268,39
	NS	0,495	0,498	0,496	0,489	0,509	0,507

Tabela H.7: Resultados das estatísticas de desempenho das alternativas dos modelos utilizadas para a verificação da previsão em Alto Uruguai com alcance de 72 horas.

Alternativas	Parâmetros	Somente dia atual (t)			Com dados a partir do dia t-1		
		MQ	MQR	MQR + f. e.	MQ	MQR	MQR + f. e.
1	EA(0,95) cm	295,92	290,69	288,71	386,22	293,32	286,00
	NS	0,411	0,411	0,409	0,147	0,374	0,377
2	EA(0,95) cm	278,95	298,85	283,18	276,79	292,11	280,97
	NS	0,425	0,421	0,425	0,428	0,430	0,431