

# Sistema Integrado de Supervisão e Coordenação Hidrotérmica de Geração

E. B. Spier, T. T. dos Santos, F. A. B. Lemos, S. L. Haffner (PUCRS );  
C. J. de Quadros (Eletrocar) e E. Knorr (Hidropan<sup>1</sup>)

## RESUMO

Neste trabalho são apresentados os resultados parciais obtidos pelo desenvolvimento de um projeto de P&D firmado entre a PUCRS e as empresas de distribuição Hidroelétrica Panambi S. A. (Hidropan) e Centrais Elétricas de Carazinho S. A. (Eletrocar). O objetivo final desse projeto é o desenvolvimento de uma ferramenta computacional integrada de supervisão e despacho diário de usinas conectadas em sistemas de distribuição a ser instalado em ambas empresas. Como resultado serão apresentados neste artigo a performance do algoritmo que calcula o despacho das usinas do sistema da Hidropan e a estrutura do aplicativo de supervisão.

## PALAVRAS-CHAVE

Coordenação Hidrotérmica, SCADA, Pequenas Centrais Hidrelétricas, Programação Dinâmica.

## I. INTRODUÇÃO

As mudanças acontecidas nas últimas décadas trouxeram novos desafios ao setor elétrico mundial. Palavras como desregulamentação, privatização, desverticalização, produtores independentes e mercado competitivo passaram a fazer parte do dia a dia do setor elétrico. A este conjunto de definições somou-se o termo *Geração Distribuída (GD)*. A GD dentro de um ambiente desregulamentado e competitivo passou a apresentar-se com uma solução técnica e economicamente viável, despertando interesse de produtores independentes (PIE) e renovou o interesse em operar geradores em paralelo nos sistemas de distribuição, uma vez que várias indústrias são auto-suficientes em energia e dispõem de sobras que podem ser comercializadas.

O fornecimento de energia com requisitos de qualidade, confiabilidade e continuidade é uma exigência cada vez maior por parte dos consumidores e a agência reguladora (Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL). Atualmente, as empresas devem buscar a sua eficiência operacional do ponto de vista técnico e econômico, e adicionalmente, devem atender a

padrões de operação impostos pela ANEEL, tais como níveis de tensão (Resolução nº505/ 2001), níveis de continuidade (Resolução nº024/2000). Soma-se a isto a questão econômica financeira da compra de energia através de contratos de energia e demanda com as empresas supridoras pelas pequenas distribuidoras, exigidos pela publicação da Resolução nº236/2003, além da compra de energia de PIE conectados nos próprios sistemas de distribuição.

Com a aprovação da Resolução nº236/2003, a empresa é vista como um consumidor de serviço público pelo sistema supridor, deverá contratar um valor de energia, mas passará a pagar pelo valor de energia medida, com um faixa de variação de 85% a 115% do valor contratado, além de contratar também um valor de demanda. Esta Resolução ainda determina, caso a empresa de distribuição ultrapassar o valor da demanda em mais de 10% do valor contratado, uma penalização que consiste na cobrança de uma tarifa de ultrapassagem correspondente a três vezes a tarifa de demanda contratada em relação ao montante ultrapassado. Em relação à energia contratada, se a energia medida mensalmente na subestação da empresa estiver fora da variação permitida pela ANEEL, os valores excedentes serão submetidos ao preço médio mensal do Mercado Atacadista de Energia (MAE) de duas formas diferentes. Caso o valor medido de energia estiver abaixo de 85%, a diferença em relação a este valor será creditada na fatura da empresa pelo preço médio mensal publicado pelo MAE para o submercado do sistema suprido. Caso o valor de energia medida estiver acima de 115%, a diferença em relação a este valor será debitada na fatura também pelo preço médio mensal publicado pelo MAE para o submercado do sistema suprido.

Sendo assim, a utilização de sistemas computacionais que permitam monitorar o sistema em tempo real e simular condições de despacho de centrais de geração distribuída inseridas em um sistema de distribuição, considerando como restrição as aflúncias dos cursos d'água, o preço de energia de produtores independentes e o custo de energia e demanda do supridor, são cada vez mais indispensáveis dentro de um contexto de competição e aumento de produtividade técnica-econômica das empresas de energia elétrica.

Na literatura especializada existe um grande número de estudos sobre o despacho econômico dos geradores de grande porte conectados em sistemas de energia, sempre em nível de transmissão e de sistemas de supervisão para sistemas de energia localizados em grandes áreas geográficas e com o objetivo de coletar um número significativo de

<sup>1</sup> Este trabalho foi financiado pelas Empresas Hidroelétrica Panambi S/A e Centrais Elétricas de Carazinho S/A, como parte dos seus programas de P&D.

E. B. Spier e T. T. dos Santos são pesquisadores do Grupo de Sistemas de Energia Elétrica (GSEE) da PUCRS. (e-mail: spier@ee.pucrs.br, tiagots@ee.pucrs.br).

S. L. Haffner e F. A. Becon Lemos são Professores da PUCRS. F. A. Becon Lemos é Coordenador do GSEE e do projeto de P&D. (e-mail: haffner@ee.pucrs.br, lemos@ee.pucrs.br).

C. J. de Quadros é engenheiro da ELETROCAR.

E. Knorr é engenheiro da empresa Hidropan e mestrando do GSEE. (e-mail: eduardo@hidropan.com.br)

dados e integrar equipamentos relativamente complexos. A referência [1] apresenta uma revisão bibliográfica contendo os principais artigos publicados de 1977 à 1988 sobre despacho ótimo, abordando 4 áreas distintas (fluxo de potência ótimo, controle automático de geração, despacho dinâmico e despacho econômico utilizando geração não convencional). Existem relativamente poucas publicações em relação ao problema de despacho de usinas de pequeno porte conectadas a sistemas de distribuição.

Neste sentido o Grupo de Sistemas de Energia Elétrica (GSEE) da PUCRS e as empresas Hidropan e Eletrocar estão desenvolvendo, através de um projeto de pesquisa e desenvolvimento, uma solução para otimizar o desempenho eletro-energético do sistema de distribuição da Hidropan. O projeto consiste de duas etapas básicas:

- implementação de uma estrutura de aquisição de informações remotas e desenvolvimento de um aplicativo computacional para tratamento e validação dos dados utilizando uma ferramenta de programação baseado na filosofia SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) para tratamento dos dados recebidos na Central de Operação do Sistema (COS);
- Implementação de técnicas de alocação de unidades considerando um despacho ótimo de geração distribuída e compra de energia do supridor.

Esse artigo apresenta a estrutura do aplicativo de supervisão e a performance do algoritmo que calcula os despachos das usinas do sistema da Hidropan, sendo estruturado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta uma revisão geral sobre o assunto de Coordenação Hidrotérmica e supervisorio; a Seção 3 apresentará a estrutura do sistema supervisorio do sistema de distribuição; a Seção 4 apresenta os resultados obtidos pelo algoritmo de despacho das usinas em relação ao software GAMS; a Seção 5 apresenta as conclusões sobre resultados obtidos até aqui neste projeto de P&D.

## II. REVISÃO GERAL

Nesta seção será apresentado uma revisão geral abordando os assuntos de Supervisorio e da técnica de Coordenação Hidrotérmica.

### A. Sistema Supervisorio

Aplicações SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) destinadas para sistemas de energia começaram a ser desenvolvidas na década de 60, e desde então inúmeras evoluções ocorreram nesta filosofia de arquitetura computacional. No início da década de 90, a filosofia de arquitetura computacional evoluiu de um sistema de processamento centralizado baseado em computadores centrais de grande porte (Main-Frames), para uma estrutura descentralizada baseada em redes de comunicação de computadores do tipo PC[2].

Aplicações SCADA se caracterizam por abranger extensas áreas geográficas, coletar um número significativo de dados e integrar equipamentos relativamente complexos [3]. Outra característica importante desses sistemas é a possibilidade de compor um histórico, armazenado em banco de dados, do comportamento do sistema nos últimos anos.

Durante alguns anos, sistemas computacionais SCADA eram utilizados apenas por empresas de grande porte, devido ao seu elevado custo de implantação e manutenção. Este elevado custo era justificado pelo fato desses sistemas necessitarem de um grande número de pontos de aquisição de dados distribuídos em uma vasta área geográfica, envolvendo assim, equipamentos de alta tecnologia responsáveis por coletar informações do sistema elétrico e suportar a comunicação de dados a longa distância. Para a integração destes dados remotos à uma plataforma computacional responsável pelo tratamento, armazenamento e disposição dos dados ao operador do sistema, eram necessárias ferramentas computacionais de difícil programação e utilização. Isso tornava a expansão e a manutenção da plataforma uma tarefa complexa, capaz de ser realizada apenas por pessoas altamente qualificadas. Porém, diante do grande avanço tecnológico ocorrido nos últimos anos nas áreas da computação, eletrônica e tecnologia da informação, bem como a significativa queda dos preços devido a produção em massa desses equipamentos, está se tornando possível a implantação destes sistemas computacionais que auxiliem pequenas empresas do setor elétrico ao uso racional de seus recursos energéticos e consequentemente seu recursos econômicos.

### B. Coordenação Hidrotérmica

A coordenação hidrotérmica consiste em determinar os níveis de geração de energia elétrica adequada para atender à demanda mais as perdas de um sistema, quando existe a presença de unidades geradoras movidas à energia térmica e hidráulica interligadas eletricamente. A solução deste problema deve proporcionar o atendimento de uma demanda comum e determinar a combinação ótima dos geradores térmicos a serem ligados e seu nível de geração, bem como o planejamento hidrelétrico para essa situação [4], buscando minimizar o custo de produção do sistema. Desta forma, busca-se determinar estratégias de geração das usinas hidrelétricas do sistema, através de um planejamento do uso da água [5], com a finalidade de minimizar o custo de produção proveniente das usinas termelétricas do sistema ao longo do período de planejamento.

O custo de produção de energia elétrica proveniente de geradores hidrelétricos geralmente não é levado em conta no problema de coordenação hidrotérmica [6]. Em outros estudos podem ser considerado um custo de partida e desligamento desse tipo de gerador [7].

Entre as principais técnicas utilizadas para solucionar o problema exposto acima encontram-se [8]:

- Programação Dinâmica;
- Relaxamento Lagrangeano;
- Programação Linear.

O algoritmo implementado para determinação da coordenação das usinas conectadas no sistema de distribuição das empresas Hidropan e Eletrocar utiliza o método de Programação Dinâmica. A Seção 2.1 apresenta uma breve revisão de Programação Dinâmica.

### 1) Programação Dinâmica

A Programação Dinâmica (PD) foi desenvolvida nos anos 50 por Richard Bellman [9]. A PD é uma técnica enumerativa de procura de ponto ótimo de um problema de otimização, que transforma um problema complexo numa seqüência de problemas simples, dividindo assim o problema numa série de sub problemas, onde as decisões dos sub problemas anteriores foram armazenadas, para serem associadas à sub problemas atuais, os quais devem constituir uma trajetória ótima para sair desse último sub problema. Isto faz com que o problema seja resolvido do fim para o início.

A Programação Dinâmica pode também ser utilizada para solucionar o problema de Coordenação Hidrotérmica. Para esse caso, o número de subproblemas criados também será em função do número de intervalos do período de planejamento em estudo. Como nesse problema se deseja determinar o uso mais adequado da água dos reservatórios das usinas hidrelétricas, a Programação Dinâmica, pode ser utilizada para determinar o caminho ótimo a ser percorrido pelos valores de volume do reservatório de cada usina.

## III. SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS REMOTOS

A rede de aquisição de dados remotos foi desenvolvida para tornar possível a comunicação entre o aplicativo computacional SCADA e 05 pontos remotos que contém informações importantes sobre o comportamento do sistema de geração e distribuição da empresa. Estes 05 pontos são constituídos de 03 Pequenas Centrais Hidroelétricas (PCHs), 01 subestação que interliga o sistema de distribuição da Hidropan ao sistema supridor e 01 consumidor com capacidade de geração própria. Os dados elétricos disponíveis em cada um desses 05 pontos são fornecidos por medidores eletrônicos de energia elétrica através de uma saída serial de usuário padrão ABNT [10], onde é possível obter-se as seguintes informações: número de segundos até o fim do intervalo de demanda atual, indicador de fatura, segmento horo-sazonal (ponta, fora de ponta e reservado) e número de pulsos de energia ativa e reativa desde o início do intervalo de demanda ativa atual.

Para a integração das informações disponibilizadas pelos medidores ao sistema computacional SCADA, utilizou-se um Controlador Lógico Programável (CLP). Este CLP é constituído de uma Unidade Central de Processamento (UCP), de uma interface serial de comunicação com suporte ao protocolo especificado em [10], e de uma interface de comunicação Ethernet-TCP/IP chamada de WebGate. Nos três pontos onde existem PCH's, é integrado ao CLP uma terceira interface, que se responsabiliza pela coleta das informações de nível da barragem.

A interface serial de comunicação se responsabiliza pela integração entre a UCP e o medidor eletrônico. Na UCP é carregado um programa, escrito em linguagem Ladder, que configura o modo de operação da interface serial e executa a coleta e o armazenamento dos dados em tabelas de memória que são acessas pelo software SCADA. A UCP apresenta um canal de comunicação serial que utiliza o protocolo ALNETII, o qual possibilita de operações de escrita e leitura em elementos de memória da UCP. A esse canal serial ALNETII está conectado o WebGate, que realiza o empacotamento do protocolo ALNETII em TCP/IP – *Ethernet*. O WebGate necessita uma configuração independente, onde se configura o seu modo de operação e o seu endereço IP na rede *Ethernet*. O canal *Ethernet* que sai do WebGate é convertido para *Ethernet Wireless* através de um equipamento conhecido como *Ethernet Converter*, sendo que na sua saída existe uma antena  $\frac{1}{2}$  parabólica de grade com ganho de 24db, a qual possibilita a comunicação a longa distância. A antena é direcionada a um ponto centralizador (Access Point), o qual realiza a interface entre os pontos remotos e a rede de computadores na COS da Hidropan. Para os casos onde existe um obstáculo físico entre a antena do ponto remoto e o ponto centralizador, se torna necessário a existência de uma repetidora para contornar tal obstáculo. A representação deste sistema está apresentado na Figura 1.

O sistema SCADA é capaz de acessar os pontos remotos através do endereço IP configurado em cada WebGate. Dessa forma o acesso via rede wireless se torna transparente, sendo necessário apenas informar ao sistema SCADA os endereços IP de cada WebGate. Através do protocolo de comunicação ALNETII, o WebGate permite o acesso as tabelas de memórias existentes em cada UCP, que por sua vez contém os dados coletados do medidor de energia e do sensor de nível da barragem. Para interpretar as informações transportadas pelo protocolo ALNETII, o sistema SCADA possui um driver de comunicação.

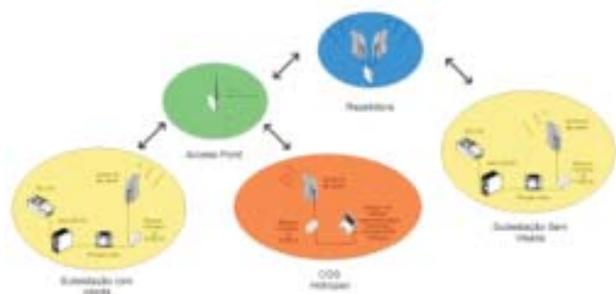


FIGURA 1 – Representação da estrutura de aquisição de dados remotos no sistema Hidropan.

## IV. SISTEMA SCADA

O aplicativo computacional de supervisão do sistema de geração e distribuição da empresa Hidropan está sendo desenvolvido através da ferramenta de programação Eclipse SCADA. Este aplicativo disponibilizará uma interface amigável que possibilitará ao operador do sistema a visualização em tempo real das informações coletadas nos

05 pontos remotos. Com isto, será possível elaborar um melhor gerenciamento dos recursos energéticos utilizados pela empresa, uma vez que informações como nível das barragens, nível de geração em cada PCH e demanda junto ao sistema supridor estarão constantemente sendo monitoradas pelo aplicativo supervisorio. Outra característica importante desse software é a geração de um arquivo histórico, gravado em banco de dados Oracle, contendo o comportamento do sistema da empresa. Este banco de dados é a chave para a integração do sistema SCADA com o aplicativo de despacho das usinas, o qual necessita de dados históricos do sistema elétrico da empresa.

A tela apresentada na Figura 2 foi elaborada para restringir o acesso ao sistema de supervisão a somente usuários habilitados.

Esta tela também possibilita que usuários com características de administrador criem novos usuários e editem os existentes.



FIGURA 2 – Tela de abertura do aplicativo de supervisão.

Na tela central de supervisão do sistema é possível acessar cada ponto remoto através de um duplo click sobre o ícone correspondente. Nesta tela também é possível verificar se alguma estação se encontra em estado de alerta, pois quando isto ocorre, é disparado um sinal sonoro e o ícone correspondente à estação começa a piscar com a cor vermelha. A tela central de supervisão se encontra na figura 3.

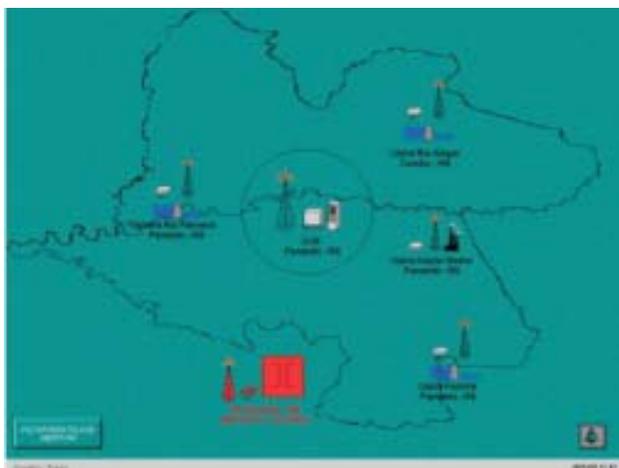


FIGURA 3 – Tela Central de Supervisão.

A tela desenvolvida para a supervisão da subestação de interligação entre o sistema de distribuição e o sistema supridor apresenta os seguintes dados: demanda aparente, demanda ativa, demanda reativa, energia consumida desde a ultima reposição de demanda, potência ativa, potência reativa, fator de potência, tempo restante para a finalização de demanda e a data e hora da ultima reposição de demanda no medidor. Nessa tela também existem dois gráficos, um para a monitoração do comportamento das demandas nas últimas 12 horas e um para monitoração da quantidade de energia consumida desde a ultima reposição de demanda. Esses gráficos auxiliam o operador do sistema a evitar que estas variáveis ultrapassem os limites estabelecidos pelo contrato junto ao sistema supridor. A tela de supervisão da subestação de interligação entre o sistema de distribuição da Hidropan e o sistema supridor está apresentada na figura 4.



FIGURA 4 – Tela de supervisão da subestação junto ao sistema supridor.

A ferramenta Elipse SCADA possibilita que todas as telas desenvolvidas sejam disponibilizadas na WEB através de arquivos HTML. Os arquivos HTML gerados pelo aplicativo são atualizados, em tempo real, em uma pasta dentro do servidor de *Home Page* da empresa. Assim, qualquer computador que possua um Browser (por exemplo Internet Explorer ou Netscape) pode ter acesso a estas páginas. A proteção das informações contidas nestes arquivos é elaborada através de um sistema do tipo *firewall*, que permite acesso apenas as pessoas credenciadas mediante uma senha de acesso.

## V. ALGORITMO DE DESPACHOS DE USINAS DESCENTRALIZADAS

O algoritmo implementado é utilizado para solucionar o problema de coordenação hidrotérmica das 3 PCHs localizadas no sistema Hidropan, o qual irá minimizar a compra de energia junto ao sistema supridor e ao auto produtor de energia elétrica, utiliza a metodologia da Programação Dinâmica para procura da melhor solução. O despacho de energia das usinas será diário, devido aos reservatórios apresentarem uma pequena capacidade de armazenamento de volume de água (Reservatórios Fio d'água) e o volume de água armazenada nos reservatórios das usinas ao final do planejamento deverá ser igual ao volume no início do planejamento.

Para o cálculo do despacho da produção das usinas, devido a característica do método utilizado (Programação Dinâmica) trabalhar com variáveis discretas foi necessário discretizar os valores de vazão turbinada de cada gerador e de nível de água estocada em cada reservatório.

Com a implementação do algoritmo proposto, essa Seção é direcionada para a execução de testes e a apresentação de resultados obtidos por esse.

Os comentários sobre a performance desse algoritmo serão feitos através da comparação de resultados obtidos por esse algoritmo e a solução encontrada pelo *software* de otimização GAMS (“*General Algebraic Modelling System*”). Esse *software* foi utilizado em [11] para validar uma nova metodologia, a qual soluciona o problema de coordenação hidrotérmica do sistema espanhol, considerando a desregulamentação do setor elétrico desse país.

É importante salientar que o problema de coordenação das usinas do Sistema da Hidropan implementado no Matlab e no GAMS possuem a mesma forma básica, mas apresentam diferenças em relação ao tipo de variáveis. No Matlab, as variáveis de vazão de água turbinada pelos geradores e de volume de água armazenada nos reservatórios são discretizadas. No GAMS, as mesmas variáveis são representadas por números reais. Dessa forma, o espaço de soluções no qual o Matlab faz sua busca é limitado em relação ao espaço de busca do GAMS, razão pela qual, os resultados apresentam pequenas variações. Também deve-se lembrar que o conjunto das variáveis discretas é um subconjunto dos números reais.

Serão apresentados os resultados obtidos para o valor de compra de energia elétrica junto ao sistema supridor e do autoprodutor em função do valor de afluência dos rios que abastecem os reservatórios das usinas desse sistema.

A tabela 1 apresenta os valores calculados pelo algoritmo proposto e pelo GAMS para a compra diária de energia para varias situações hipotéticas de afluências dos rios que abastecem os reservatórios das usinas. Na tabela 1 também são apresentados os erros percentuais do resultado obtido pelo algoritmo em relação a solução obtida pelo GAMS.

**TABELA 1**  
Comparação de custos entre o algoritmo e o GAMS para diferentes valores de afluência para as três usinas.

RA (m³/s)	RP (m³/s)	RC (m³/s)	Custo Matlab (R\$)	Custo GAMS (R\$)	Erro (%)
0.58	0.55	0.55	4.769,47	4.725,90	0,9134
0.58	0.55	3	4.750,37	4.706,16	0,9305
0.58	3	0.55	4.554,62	4.459,13	2,0964
3	0.55	0.55	4.282,77	4.196,72	2,0091
3	3	2	4.050,53	3.987,44	1,5576
3	3	3	4.001,61	3.980,03	0,5422
3	5	4	3.996,79	3.972,61	0,6049
3	4	3	3.982,37	3.980,03	0,0587
3	6	5	3.969,99	3.965,20	0,1206
4	3	3	3.911,75	3.870,46	1,0557
4	4	3	3.873,27	3.870,46	0,0726
5	5	3	3.763,19	3.760,88	0,0612

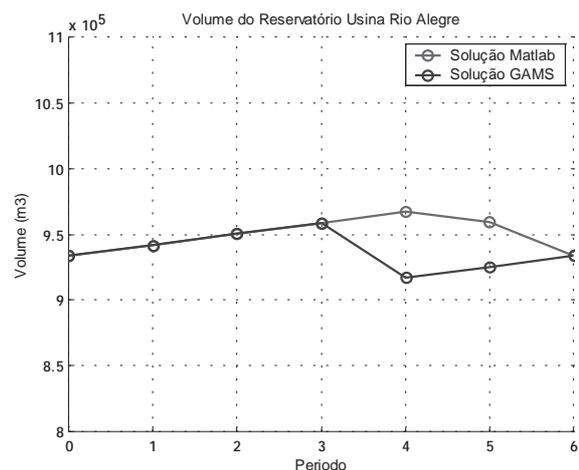
5	5	4	3.757,10	3.753,47	0,0965
5	3	4	3.757,10	3.753,47	0,0965
6	6	3	3.701,83	3.699,52	0,0621
6	6	5	3.689,01	3.684,70	0,1169
6	3	5	3.689,01	3.684,70	0,1169

Através da tabela 1 pode-se analisar as simulações dos resultados obtidos para uma compra diária de energia junto ao sistema supridor pelo algoritmo implementado e pelo *software* fechado. Essas simulações foram realizadas através da variação dos valores de afluência dos rios que abastecem os reservatórios das usinas. Os valores utilizados nessas simulações são os mais comuns para esses rios. Pode-se visualizar na Tabela I que o erro máximo foi de 2,0964%, representado pela situação onde a afluência do Rio Palmeira está congelada em 3 m³/s e a afluência dos Rios Alegre e Caxambu são 0.58 m³/s e 0.55 m³/s respectivamente. O erro percentual mínimo foi de 0,0587%, obtido quando a afluência dos Rio Alegre e Caxambu é de 3m³/s e do Rio Palmeira é de 4m³/s.

Através dos resultados grifados na Tabela I pode-se analisar que são duas simulações distintas, onde há a variação da afluência do Rio Palmeira, mas os resultados de custo de compra diária de energia obtidos são os mesmos para ambas as ferramentas. Esse fato comprova que para a solução desse problema, nessas situações de afluência dos rios, há mais de uma solução ótima possível.

Agora serão avaliados os resultados gráficos obtidos dos níveis dos reservatórios das usinas pelo algoritmo implementado e do GAMS para a situação a qual ocorreu o menor erro relativo.

As figuras 5, 6 e 7 apresentam os resultados obtidos para o volume de água armazenada no Reservatório da Usina Rio Alegre, Usina Rio Palmeira e Usina Rio Caxambu respectivamente.



**FIGURA 5** – Níveis de volume de água armazenada no reservatório da Usina Rio Alegre durante o período de planejamento.

Através da análise da figura 5, pode-se analisar que a partir do intervalo 4, os valores encontrados pelas ferramentas apresentam pequenas diferenças. Essas diferenças obtidas pela duas ferramentas se deve ao fato dessas trabalharem as variáveis de formas diferentes. O algoritmo do Matlab trabalha com valores discretizados e o GAMS trabalha com variáveis contínuas.

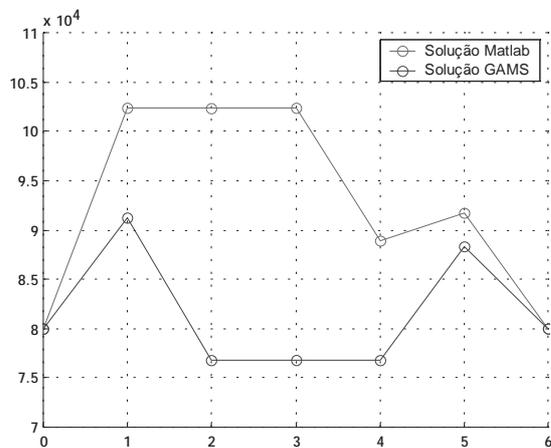


FIGURA 6 – Níveis de volume de água armazenada no reservatório da Usina Rio Palmeira durante o período de planejamento.

Na figura 6 pode-se observar que os valores de nível de volume armazenado encontrados por ambas ferramentas não são semelhantes para nenhum intervalo do período de planejamento. Essa diferença de resultados deve-se em função do mesmo fator já analisado na Figura 5. Pode-se ainda salientar que neste reservatório tem-se a contribuição para aumento da capacidade de armazenamento da Usina Rio Alegre que está a montante da Usina Rio Palmeira. O algoritmo implementado calcula essa contribuição através da utilização dos valores ótimos encontrados na iteração anterior de vazão turbinada e vazão vertida pela Usina Rio Alegre. Já o GAMS considera a contribuição dessas variáveis para a mesma iteração.

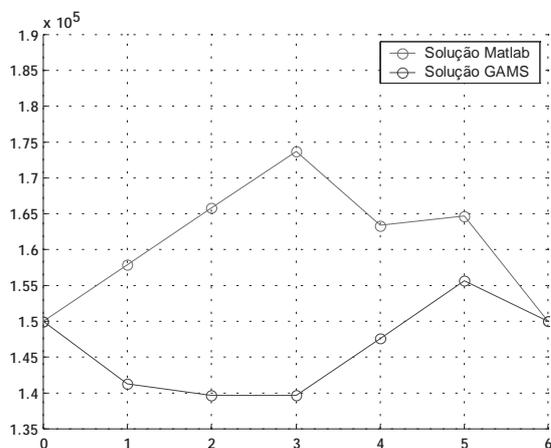


FIGURA 7 – Níveis de volume de água armazenada no reservatório da Usina Rio Caxambu durante o período de planejamento.

A figura 7 apresenta os resultados de volume de água armazenada na Usina Rio Caxambu obtidos por ambas as ferramentas, assim como na Figura 6, os resultados obtidos são diferentes para cada intervalo do período de planejamento. Essa diferença de resultados se deve ao mesmo fator citado na Figura 5. Também pode-se citar como um fator limitante do algoritmo, que pode ser responsável por essa variação de resultados das duas ferramentas, o fato de todos

os reservatórios terem o mesmo número de valores discretizados de volume de água armazenada no reservatório e esses terem característica de tamanho bem diferentes.

## VI. CONCLUSÕES

Neste artigo foram apresentados os resultados parciais do projeto de P&D firmado entre a PUCRS e as concessionárias de distribuição Hidropan e Eletrocar.

Com o desenvolvimento dos aplicativos de supervisão, histórico on-line e implantação do sistema SCADA finalizados, as empresas estão capacitadas a monitoração em tempo real da geração e dos pontos de conexão com o sistema supridor.

Na fase atual está em desenvolvimento a integração do algoritmo que calcula o despacho das usinas e determina o valor ótimo de compra de energia diário junto ao sistema supridor. Este valor de compra de energia será determinado em função da melhor opção, a qual determina a melhor forma de utilização dos recursos hídricos das usinas, minimizando assim a compra de energia do sistema supridor e evitando a violação do contrato de demanda.

Sendo assim, este artigo apresentou as vantagens, custo-benefício e ganhos que a execução adequado que um projeto de P&D proporciona para as empresas e para a instituição de pesquisa.

## VII. REFERÊNCIAS

- [1] Chowdhury, B. H.; Rahman, S.; "A Review of Recent Advances in Economic Dispatch"; *IEEE Transactions on Power Systems*; Vol. 8; No. 1; pp 246-254; February 1993.
- [2] T.E.Dy-Liaco, "Modern Control Centers and Computers Networking"; *IEEE Computer Applications in Power*, Vol.7 No.4,1994,pp17-22
- [3] B.Stojkovic, I. Vujosevic "A compact SCADA System for a smaller size Electric Power System Control- na fast , object oriented and cost-effective approach", *IEEE*, 2002
- [4] Salam, S; Nor, K. M.; Hamdan; 1998. "Hydrothermal Scheduling Based Lagrangian Relaxation Approach to Hydrothermal Coordination"; *IEEE Transactions on Power Systems*; Vol. 13; No. 1; (Fev.), pp 226-235.
- [5] Finardi, Erlon Cristian; 1999. "Planejamento da Operação de Sistemas Hidrotérmicos Utilizando Computação de Alto Desempenho", Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).
- [6] Ruzic, S.; Rajakovic, N.; Vuckovic, A.; 1998. "Operational Costs Modeling Improvements in Short Term Hydro-Thermal Coordination"; *Electrotechnical Conference*; 1998. MELECON 98, 9th Mediterranean, Vol. 2, 18-20 May, pp 916-920.
- [7] Nilsson, O.; Sjelvgren, D.; "Variable Splitting Applied to Modelling of Start-Up Costs in Short Term Hydro Generation Scheduling"; *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 12, No. 2, Maio, 1997.
- [8] Wood, A. J.; Wollenberg, B. F.; 1996. *Power Generation, Operation and Control*; 2<sup>nd</sup> ed.; John Wiley & Sons, Inc.
- [9] Bellman, R. E.; "Dynamic Programming"; Princeton University Press, 1957.
- [10] Norma técnica ABNT. Título: Intercâmbio de informações para Sistemas de Medição de Energia Elétrica. Ref.: CE 3:066.02-014 Data: Dez/96.
- [11] Ventosa, M.; Rivier, M.; Ramos, A.; García-Alcade, A.; "An MCP Approach for Hydrothermal Coordination in Deregulated Power Markets"; pp 2272-2277.