

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a) o texto completo desta Dissertação será disponibilizado somente a partir de 10/11/2022.

Marcus Vinícius Capellini

**Modelo de Leilão Hidrotérmico do Mercado
do Dia Seguinte Considerando a Influência
de Contratos Bilaterais**

Bauru

2020

Marcus Vinícius Capellini

**Modelo de Leilão Hidrotérmico do Mercado do Dia
Seguinte Considerando a Influência de Contratos
Bilaterais**

Qualificação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Elétrica da Faculdade de Engenharia de
Bauru

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Nepo-
muceno

Área de Concentração: Automação

Linha de Pesquisa: Sistemas de Ener-
gia

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Faculdade de Engenharia de Bauru

Departamento de Engenharia Elétrica

Bauru
2020

Capellini, Marcus Vinícius.

Modelo de leilão hidrotérmico do mercado do dia
seguinte considerando a influência de contratos
bilaterais / Marcus Vinícius Capellini, 2020
78 f. : il.

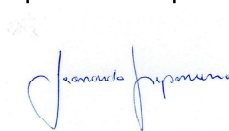
Orientador: Leonardo Nepomuceno

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2020

1. Sistemas hidrotérmicos. 2. Procedimento de
equilíbrio de mercado. 3. Contratos bilaterais. 4.
Programação linear inteira-mista. I. Universidade
Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II.
Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE MARCUS VINICIUS CAPELLINI, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 10 dias do mês de novembro do ano de 2020, às 14:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de MARCUS VINICIUS CAPELLINI, intitulada **MODELO DE LEILÃO HIDROTÉRMICO DO MERCADO DO DIA SEGUINTE CONSIDERANDO A INFLUÊNCIA DE CONTRATOS BILATERAIS**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. LEONARDO NEPOMUCENO (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. DIEGO NUNES DA SILVA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Matemática / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP, Prof. Dr. ANDRE CHRISTOVAO PIO MARTINS (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: aprovado . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.



Assinado de forma digital por Leonardo Nepomuceno
DN: cn=Leonardo Nepomuceno, o=UNESP,
ou=Faculdade de Engenharia Departamento de
Engenharia Elétrica,
email=leonardo.nepomuceno@unesp.br, c=BR
Dados: 2020.11.10 16:41:10 -03'00'

Prof. Dr. LEONARDO NEPOMUCENO

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as bênçãos e oportunidades que Ele tem derramado sobre mim e minha família.

Agradeço a minha esposa Lyvia Capellini e meu filho Gabriel Capellini, bem como toda minha família, pelo amor, apoio, carinho, cuidado e tempo cedido.

Agradeço ao meu orientador, Leonardo Nepomuceno, por toda paciência, apoio e orientações. Sou muito grato pela sua persistência mesmo frente a todos os percalços no caminho.

Também agradeço aos demais colegas que me apoiaram durante todo trajeto trilhado nesta fase acadêmica. Sou imensamente grato por toda ajuda e contribuição.

Resumo

A negociação de eletricidade se realiza basicamente em dois ambientes de mercado organizado: o mercado *pool* (compra/venda à curto prazo) e o mercado futuro (compra/venda à médio/longo prazo). Existe também a possibilidade de comercialização da energia via contratos bilaterais, os quais são estabelecidos diretamente entre produtores e consumidores, fora do mercado organizado. Este trabalho tem dois focos de estudo. O primeiro realiza uma análise comparativa entre dois modelos de leilão de mercados *pool* do dia seguinte para sistemas hidrotérmicos: um considerando a usina como um todo (modelo atualmente utilizado) e o outro considerando cada unidade geradora. O segundo se baseia na verificação da influência econômica dos contratos bilaterais no leilão. Para o desenvolvimento do trabalho em questão foi utilizado o *software* computacional IBM ILOG/CPLEX *Optimization Studio*. A execução do trabalho se deu inicialmente pela implementação e simulação de ambos os modelos (representação por usina e unidade geradora), e sua posterior análise comparativa. Em seguida, foram realizados estudos de avaliação dos impactos dos contratos bilaterais no leilão e proposto um modelo que represente seus efeitos, bem como a comparação do modelo proposto (considerando as restrições econômicas) com um modelo apresentado pela literatura (que considera apenas os aspectos técnicos dos contratos bilaterais no leilão). O trabalho mostra que a representação por usina (adotada na modelagem de sistemas hidrotérmicos) é eficiente, não acarretando impactos significativos no resultado do leilão do dia seguinte. No que tange aos contratos bilaterais, o modelo proposto pelo trabalho foi validado e se mostrou eficiente para representação dos impactos técnicos e econômicos dos contratos no leilão do dia seguinte.

Palavras-chave: Sistemas Hidrotérmicos, Procedimento de Equilíbrio de Mercado, Contratos Bilaterais, Programação Linear Inteira-Mista.

Abstract

Electricity trading is basically performed in two organized marketplaces: pool (short-term purchase and sales) and futures markets (medium-long-term purchase and sales). There is also the possibility for energy trading via bilateral contracts, which are directly established between producers and consumers outside the organized market. This work has two focuses of study. The first performs a comparative analysis between two market auction models: pool of the day ahead for hydrothermal systems: one considering a use as one (model currently used) and the other considering each generating unit. The second is based on the verification of the economic influence of bilateral contracts in the auction. For the development of this work in question, the software IBM ILOG / CPLEX Optimization Studio was used. The work was carried out through the execution and alteration of both models (representation by plant and generating unit), and their subsequent comparative analysis. Then, studies were carried out to evaluate the effects of bilateral contracts in the auction and the model that represents the effects, as well as comparisons of the proposed model (considering economic constraints) with a model shown in the literature (which considers only the technical aspects) of the bilateral contracts in the auction). The work demonstrated that the representation by plant (adopted in the modeling of hydrothermal systems) is efficient, and does not have significant impacts on the day ahead auction results. No type of bilateral contract, or model approved by the work, was validated and proved efficient for the representation of the chemical and economic products of the contracts without auction on the day ahead.

Keywords: Hydrothermal Systems, Market Clearing Procedures, Bilateral Contracts, Mixed-Integer Linear Programming.

Sumário

1	Introdução	1
2	Mercados de Eletricidade	3
2.1	Histórico	3
2.2	Modalidades de Comercialização	4
3	Modelos de Leilão do Mercado do Dia Seguinte	7
3.1	Nomenclatura	7
3.2	Modelo Puramente Econômico	11
3.2.1	Função Objetivo	11
3.2.2	Restrições Econômicas	12
3.2.2.1	Atendimento de Demanda	12
3.2.2.2	Limites de Potência	12
3.2.3	Restrições Lógicas	13
3.2.4	Restrições de Escopo de Variáveis	13
3.3	Modelo de um Leilão Termelétrico	13
3.3.1	Restrições Térmicas	14
3.3.1.1	Potência Máxima Disponível e Limites de Rampa	14
3.3.1.2	Tempo Mínimo de Atividade e Inatividade	14
3.3.2	Restrições de Escopo de Variáveis	15
3.4	Modelo de um Leilão Hidrotérmico	15
3.4.1	Restrições Hidráulicas	16
3.4.1.1	Vertimento, Defluência e Vazão Turbinada	16
3.4.1.2	Rampa de Defluência	16
3.4.1.3	Volume do Reservatório	16
3.4.1.4	Balanco Nodal Hídrico	17
3.4.1.5	Número Máximo de Partidas da Usina	17
3.4.1.6	Altura de Queda Líquida	17
3.4.1.7	Cotas de Montante e Jusante	18
3.4.1.8	Função de Produção Hidráulica	18
3.4.1.9	Potência Máxima e Vazão Turbinada Máxima Disponível	18
3.4.2	Linearizações Adotadas	19
3.4.2.1	Cotas de Montante e Jusante	20
3.4.2.2	Função de Produção Hidráulica	20
3.4.3	Restrições de Escopo de Variáveis	21

3.5	Problemática do Modelo Hidrotérmico Apresentado	22
3.6	Representação de contratos	23
3.6.1	Modelo Tradicional de Contratos Bilaterais	24
3.6.1.1	Função Objetivo	24
3.6.1.2	Restrições Econômicas	24
3.6.1.3	Restrições Lógicas	25
3.6.1.4	Restrições de Escopo das Variáveis	26
3.6.2	Problemática do Modelo de Representação de Contratos Bilaterais Apresentado	26
4	Modelos Propostos	28
4.1	Nomenclatura	28
4.2	Modelo por Unidade Geradora	33
4.2.1	Função Objetivo	33
4.2.2	Restrições Econômicas	33
4.2.2.1	Atendimento de Demanda	33
4.2.2.2	Limites de Potência	33
4.2.3	Restrições Lógicas	34
4.2.4	Restrições Associadas a Unidades Termelétricas	34
4.2.4.1	Potência Máxima Disponível e Limites de Rampa	34
4.2.4.2	Tempo Mínimo de Atividade e Inatividade	34
4.2.5	Restrições Hidráulicas	35
4.2.5.1	Vertimento, Defluência e Vazão Turbinada	35
4.2.5.2	Rampa de Defluência	35
4.2.5.3	Volume do Reservatório	36
4.2.5.4	Balanco Nodal Hídrico	36
4.2.5.5	Número Máximo de Partidas da Unidade	36
4.2.5.6	Altura de Queda Líquida	36
4.2.5.7	Cotas de Montante e Jusante	36
4.2.5.8	Função de Produção Hidrelétrica	37
4.2.6	Restrições Adicionais	38
4.3	Modelo com Contratos Bilaterais	39
4.3.1	Função Objetivo	39
4.3.2	Restrições Econômicas	39
4.3.2.1	Atendimento de Demanda	39
4.3.2.2	Limites de Potência	40
4.3.3	Restrições Lógicas	40
4.3.4	Restrições Adicionais	41

5	Material e Metodologia	43
5.1	Material	43
5.2	Metodologia de Solução	43
5.3	Experimentos Realizados	44
5.3.1	Validação do Modelo por Unidade	44
5.3.2	Validação do Modelo para Contratos Bilaterais	46
6	Resultados	48
6.1	Sistema Hidrotérmico: Modelagem por Unidade x Modelagem por Usina	48
6.2	Contratos Bilaterais: Modelos com e sem a Representação das Influências Econômicas	57
7	Conclusões	67
	Referências	69

Apêndices 71

APÊNDICE A	Metodologia de Solução para Problemas de Programação Linear Inteira Mista	72
A.1	Método <i>Branch-and-Bound</i>	72
A.1.1	Descrição	72
A.1.2	Algoritmo <i>Branch-and-Bound</i>	74
A.2	Método <i>Branch-and-Cut</i>	75
A.2.1	Algoritmo <i>Branch-and-Cut</i>	75
APÊNDICE B	Dados Adicionais	77
B.1	Dados Adicionais do Ensaio: Modelagem por Unidade x Modelagem por Usina	77
B.2	Dados Adicionais do Ensaio: Modelagem da Influência dos Contratos Bilaterais	78

1 Introdução

No que tange aos modelos de leilão do dia seguinte para sistemas hidrotérmicos, os quais representam o ambiente de compra e venda de energia, existem algumas deficiências que merecem ser estudadas de modo mais detalhado. Para sistemas com base predominantemente termelétrica, os modelos de leilão são formulados como problemas de otimização que buscam a maximização da função de bem estar social sujeito às restrições dos sistemas de geração e transmissão para todos os intervalos do dia. Para sistemas termelétricos, restrições intertemporais detalhadas do sistema de geração têm sido representadas, bem como a modelagem de perdas e congestionamentos na transmissão, o que fornece uma maior aderência à operação real do sistema. Por outro lado, a maioria dos modelos de leilão de sistemas hidrotérmicos descritos na literatura (FOSSO et al., 1999), (FORSUND, 2007) têm desprezado as restrições hidráulicas, as restrições intertemporais e detalhes de operação de usinas hidrelétricas. Devido à falta de aderência destes modelos à operação efetiva do sistema, em geral, são necessários muitos ajustes nos despachos calculados por estes leilões, o que leva à perda de otimalidade e falta de transparência para os agentes envolvidos.

Há uma lacuna de modelos de leilão com representação explícita dos sistemas hidrotérmicos. Isso é corroborado pelas pesquisas feitas na base de dados Capes, envolvendo as palavras-chave "hidro" e "leilão" e seus correspondentes em inglês "*hydro*" e "*auction*". A primeira retornou 3 resultados que não estão diretamente associados aos modelos de leilão e a segunda retornou 55 resultados, dos quais 4 trabalhos estão diretamente relacionados a leilões de sistemas hidrotérmicos, porém com representação simplificada do sistema de geração hidrelétrico, sendo que nenhum deles apresenta uma representação por unidade geradora. O grupo de pesquisa da UNESP em Bauru tem desenvolvido trabalhos com o intuito de suprir esta lacuna. Os trabalhos (SILVA, 2010), (LUCIANO, 2010) apresentam uma abordagem de leilão para sistemas hidrotérmicos em que as restrições hidráulicas, intertemporais são representadas no modelo por meio da utilização de modelos de simulação hidráulica. Os modelos investigados mostram que a representação hidráulica é relevante e pode alterar os preços de equilíbrio de mercado e o despacho de geração. Entretanto, nestas abordagens, as restrições hidráulicas são representadas de forma simplificada por meio de restrições de metas energéticas. Já em (VERGÍLIO, 2011) as restrições hidráulicas foram incorporadas de forma explícita, porém de forma sub-ótima, por meio da utilização de modelos de simulação hidráulica. O sistema de transmissão foi introduzido para um sistema hidrotérmico com a representação explícita das perdas e congestionamento em (BREDA, 2013), porém, as restrições hidráulicas foram novamente tratadas de forma simplificada, por meio de simulação. Recentemente, o grupo de pesquisa desenvolveu um modelo baseado em programação linear inteira mista, que insere diretamente no modelo de

leilão as restrições hidráulicas e intertemporais: em (PEREIRA et al., 2017) as restrições hidráulicas foram linearizadas e em (OLIVEIRA, 2016) incorporou-se o modelo completo, envolvendo as restrições hidráulicas e restrições de transmissão.

Apesar de apresentar uma formulação bastante geral, com grande potencial de aplicação prática em sistemas com base de geração fortemente hidroelétrica, como o Brasil, os modelos descritos em (PEREIRA et al., 2017), e (OLIVEIRA, 2016) ainda apresentam dois aspectos de modelagem que merecem ser analisados: (i) a representação dos geradores é feita por usina (considerando a usina como um todo), enquanto que os dados do setor elétrico são apresentados de forma individualizada, para cada unidade geradora da usina; (ii) os contratos bilaterais previamente estabelecidos, os quais podem afetar a função de produção das usinas no mercado *pool*, não foram representados.

Desta forma, considerando o contexto do setor elétrico brasileiro, que não dispõe atualmente de um mercado do dia seguinte, e considerando-se os pontos de melhoria dos modelos atuais e sua importância para a sociedade, este trabalho tem como objetivo primeiramente a avaliação da qualidade da aproximação utilizada na representação por usina das restrições hídricas, através de uma análise comparativa com um modelo proposto, no qual as restrições hídricas são representadas para cada unidade de cada usina hidrelétrica.

Além disso, o trabalho também visa propor uma nova modelagem dos impactos dos contratos bilaterais no *pool*, representando algumas nuances econômicas não contempladas pelos modelos descritos na literatura.

A descrição da divisão do trabalho é apresentada a seguir. O Capítulo 2 apresenta um histórico sobre o cenário de mercados de eletricidade, bem como os principais conceitos e modalidades de comercialização no mesmo. Além disso, os modelos de leilão do mercado do dia seguinte são apresentados no Capítulo 3, bem como a problematização dos mesmos, evidenciando pontos analisados. No Capítulo 4 são apresentados os modelos propostos no trabalho. Já o Capítulo 5 descreve os materiais e métodos utilizados, bem como os experimentos realizados. Os resultados obtidos são apresentados no Capítulo 6. Em seguida, O Capítulo 7 apresenta as conclusões obtidas no trabalho. O Apêndice A descreve os métodos de solução de Problemas de Programação Linear Inteira Mista (PLIM) utilizado pelos *softwares* de otimização. Por fim, com o intuito de auxiliar na reprodução dos experimentos realizados no trabalho, o Apêndice B apresenta os dados adicionais adotados.

7 Conclusões

Foram identificados dois aspectos de representação em modelos de leilão do dia seguinte. No primeiro, buscou-se analisar os potenciais erros relacionados à representação equivalente por usina de unidades individuais de uma usina hidrelétrica. No segundo, buscou-se avaliar os problemas relacionados à representação de contratos bilaterais em mercados do dia seguinte. Novos modelos de leilão foram propostos a fim de avaliar o desempenho dos modelos atualmente utilizados na literatura com relação aos aspectos de representação estudados.

No que tange ao aspecto de representação das unidades de forma equivalente (por usina), a aproximação adotada em modelos que fazem uma representação equivalente por usina se mostrou muito eficiente, validando a hipótese adotada em trabalhos anteriores que utilizam a mesma. O modelo por unidade mais preciso aqui proposto obteve praticamente os mesmos resultados que o modelo por usina, no que diz respeito ao despacho econômico e também à função de bem comum (função objetivo do problema). Além disso, o modelo por unidade se mostrou aproximadamente 3 vezes mais lento, o que pode influenciar negativamente seu uso para grandes sistemas. Nesse sentido, conclui-se que a aproximação de representação das unidades de forma equivalente (por usina) é eficaz para os modelos de leilão dos sistemas estudados. Entretanto, teste computacionais adicionais são ainda necessários para verificar se estas conclusões também se aplicam a situações em que a usina possui conjuntos de unidades diferentes, como ocorre, por exemplo na usina de Cachoeira Dourada, que possui 4 conjuntos de unidades bem distintos entre si.

Além disso, notou-se uma certa “folga” que ocorre naturalmente no processo de produção hidráulico, no que diz respeito às características hídricas, possibilitando que resultados hídricos diferentes atingissem o mesmo despacho de geração. Essa folga hídrica se dá pelas características físicas das usinas hidrelétricas, onde a própria função de produção permite que o mesmo resultado de potência seja obtido para valores diferentes de vazão turbinada e altura de queda líquida.

Já no que tange a representação de contratos bilaterais em mercados *pool*, esta dissertação de mestrado propõe um modelo que representa de forma mais precisa as relações de estado ligado/desligado das unidades de geração. O modelo proposto é capaz de diferenciar se as alterações em tais estados é causada pelo mercado *pool* ou pelo mercado bilateral, modelando de forma mais precisa também os custos de partida e parada e a função de bem comum. O modelo proposto foi validado e se mostrou mais eficiente para a solução de problemas de leilão com representação de contratos bilaterais, representando alguns fenômenos e possibilidades de mercado que o modelo tradicional de contratos bilaterais utilizado na literatura não contempla (potência mínima no *pool* e análise do custo de partida de acordo com a origem da demanda).

Os resultados dos experimentos mostraram que a não consideração destes aspectos econômicos dos contratos bilaterais no *pool* podem impactar tanto no despacho quanto no custo da energia, sendo essencial a modelagem mais precisa proposta neste trabalho para que nem os consumidores e nem os geradores sejam prejudicados. Assim, prezando pela transparência e imparcialidade no mercado organizado, o modelo proposto se mostra mais adequado, representando de forma mais fidedigna os impactos dos contratos bilaterais no *pool*.

Referências

- ARENALES, M. et al. *Pesquisa Operacional para Cursos de Engenharia*. Rio de Janeiro/RJ: [s.n.], 2007. Citado 2 vezes nas páginas 72 e 73.
- ARROYO, J.; CONEJO, A. Multiperiod auction for a pool-based electricity market. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 17, n. 4, p. 1225–1231, nov. 2002. ISSN 0885-8950. Citado 4 vezes nas páginas 4, 7, 14 e 15.
- BEGGS, C. *Energy: management, supply and conservation*. [S.l.]: Routledge, 2010. Citado na página 3.
- BOUFFARD, F.; GALIANA, F.; CONEJO, A. Market-clearing with stochastic security-part I: formulation. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 20, n. 4, p. 1818–1826, nov. 2005. ISSN 0885-8950. Citado na página 5.
- BOUFFARD, F.; GALIANA, F. D.; CONEJO, A. J. Market-clearing with stochastic security-part II: case studies. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 20, n. 4, p. 1827–1835, nov. 2005. ISSN 0885-8950. Citado na página 5.
- BREDA, J. C. *Modelo de leilão multiperíodo para sistemas hidrotérmicos com representação da transmissão*. Tese (mestrado) — Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru - SP, Brasil, ago. 2013. Citado na página 1.
- COLLINS, R. A. The economics of electricity hedging and a proposed modification for the futures contract for electricity. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 17, n. 1, p. 100–107, fev. 2002. ISSN 0885-8950. Citado na página 5.
- CONEJO, A. J.; CARRIÓN, M.; MORALES, J. M. *Decision Making Under Uncertainty in Electricity Markets*. Boston, MA: Springer US, 2010. v. 153. (International Series in Operations Research & Management Science, v. 153). Citado 4 vezes nas páginas 3, 4, 5 e 6.
- DINIZ, A. L.; ESTEVES, P. P. I.; SAGASTIZABAL, C. A. A Mathematical Model for the Efficiency Curves of Hydroelectric units. In: *IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2007*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 1–7. Citado na página 18.
- DINIZ, A. L.; MACEIRA, M. E. P. A Four-Dimensional Model of Hydro Generation for the Short-Term Hydrothermal Dispatch Problem Considering Head and Spillage Effects. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 23, n. 3, p. 1298–1308, ago. 2008. ISSN 0885-8950. Citado na página 18.
- FORSUND, F. R. *Hydropower Economics*. 2007 edition. ed. New York: Springer, 2007. ISBN 978-0-387-73026-4. Citado na página 1.
- FOSSO, O. et al. Generation scheduling in a deregulated system. The Norwegian case. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 14, n. 1, p. 75–81, 1999. ISSN 0885-8950. Citado na página 1.
- GALIANA, F. et al. Scheduling and Pricing of Coupled Energy and Primary, Secondary, and Tertiary Reserves. *Proceedings of the IEEE*, v. 93, n. 11, p. 1970–1983, nov. 2005. ISSN 0018-9219. Citado na página 5.

- GALIANA, F.; KOCKAR, I.; FRANCO, P. Combined pool/bilateral dispatch. I. Performance of trading strategies. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 17, n. 1, p. 92–99, 2002. ISSN 0885-8950. Citado 5 vezes nas páginas 7, 24, 26, 28 e 35.
- GALIANA, F.; PHELAN, M. Allocation of transmission losses to bilateral contracts in a competitive environment. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 15, n. 1, p. 143–150, 2000. ISSN 0885-8950. Citado na página 33.
- KIRSCHEN, D. S.; STRBAC, G. *Fundamentals of Power System Economics*. Chichester, West Sussex, England ; Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2004. ISBN 978-0-470-84572-1. Citado na página 3.
- KOCKAR, I.; GALIANA, F. D. Combined pool/bilateral dispatch. II. Curtailment of firm and nonfirm contracts. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 17, n. 4, p. 1184–1190, nov. 2002. ISSN 0885-8950. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 28.
- LI, X. et al. Hydro Unit Commitment via Mixed Integer Linear Programming: A Case Study of the Three Gorges Project, China. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 29, n. 3, p. 1232–1241, 2014. ISSN 0885-8950. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 56.
- LUCIANO, E. J. R. *Um modelo de unit commitment hidrotérmico para o ambiente de mercados de energia*. Tese (mestrado) — Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru - SP, Brasil, ago. 2010. Citado na página 1.
- OLIVEIRA, A. Q. d. *Modelo de Leilão Multiperíodo para Sistemas Hidrotérmicos em Mercados Pool de Energia do Dia Seguinte*. Tese (Dissertação de mestrado) — Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru - SP, Brasil, jun. 2016. Citado na página 2.
- OLIVEIRA, A. R. L.; SOARES, S.; NEPOMUCENO, L. Short term hydroelectric scheduling combining network flow and interior point approaches. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, v. 27, n. 2, p. 91–99, 2005. ISSN 0142-0615. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061504001024>>. Citado na página 3.
- PEREIRA, A. C. et al. Network-constrained multiperiod auction for pool-based electricity markets of hydrothermal systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 32, n. 6, p. 4501–4514, 2017. Citado 6 vezes nas páginas 2, 7, 16, 18, 19 e 23.
- PEREIRA, M.; PINTO, L. Application of Decomposition Techniques to the Mid - and Short - Term Scheduling of Hydrothermal Systems. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, PAS-102, n. 11, p. 3611–3618, nov. 1983. ISSN 0018-9510. Citado na página 3.
- SILVA, A. L. d. *Um Modelo de Pré-Despacho para o Ambiente de Novos Mercados de Energia*. Tese (Dissertação de Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia de Bauru da Universidade Estadual Paulista - Júlio de Mesquita Filho - Campus de Bauru, 2010. Citado na página 1.
- VERGÍLIO, A. H. B. *Um modelo de pré-despacho hidrotérmico para mercados de energia*. Tese (mestrado) — Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru - SP, Brasil, ago. 2011. Citado na página 1.