

# PROJETO DE MESTRADO

## Otimização Energética em Sistemas de Geração Híbrida com Energias Renováveis

Orientador: Julio Elias Normey-Rico, Dr.

### Informações Gerais

Área de concentração: controle de processos.

Início: julho/2015.

Previsão de término: março/2017

# 1 MOTIVAÇÃO

Sistemas eficientes, sustentáveis e diversificados de geração de energia elétrica são uma preocupação crescente na maioria dos países. A matriz de geração de energia elétrica do Brasil está baseada, principalmente, em recursos hídricos, correspondendo a 62,13% da energia elétrica produzida no país. O combustível fóssil é responsável por 18,14%, a biomassa por 8,63%, a energia eólica por 4,08%, a nuclear por 1,37% e a solar por 0,01% [1]. Entretanto, as energias solar e eólica tem grande potencial para crescimento no país. O potencial instalado de geração eólica é 143 mil megawatts-hora, capacidade dez vezes maior do que a geração da Usina Hidrelétrica de Itaipu. Atualmente, a matriz elétrica brasileira tem uma participação de 88,8% de fontes renováveis. A média mundial é 19,5% e, entre os países membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), a média é 18,3%[2].

A chave para o desenvolvimento sustentável dos sistemas de geração de energia elétrica utilizando fontes renováveis está em alcançar níveis elevados de eficiência na geração e armazenamento da energia. Uma das dificuldades encontradas é que os sistemas de geração têm que fornecer energia para os mais diversos tipos de demandas, e quando se utilizam energias renováveis estão sujeitos às variações da disponibilidade dessa energia. Desta forma, sistemas de controle e gestão da energia se tornam fundamentais para operar os sistemas híbridos de geração e armazenamento.

# 2 PROBLEMÁTICA

Com o crescimento da utilização de energia renovável gerada por pequenas unidades de geração distribuídas, um dos problemas recorrentes é a confiabilidade do sistema e a qualidade da energia gerada, já que as fontes de energia (sol, ventos, etc) são intermitentes e estas variações podem ocasionar flutuações imprevisíveis na saída do sistema de potência [4]. Como a geração de energia proveniente de fontes renováveis não está sujeita à demanda, isto pode causar desequilíbrios no sistema. Uma maneira de evitar esse problema é inserir formas intermediárias de armazenamento de energia, tais como baterias, super capacitores e volantes de inércia[9], minimizando os efeitos das variações e flutuações inerentes ao processo de geração desse tipo de energia. Também armazenamento de biomassa, de água ou de calor podem ser alternativas. Por outro lado, para alcançar níveis mais altos de eficiência

e produtividade na geração de energia proveniente de fontes renováveis, investimentos em métodos de controle que levem à otimização da operação do sistema como um todo são uma necessidade real. Estas técnicas de controle e otimização devem ser capazes de considerar a complexidade dos processos envolvidos e aproveitar-se das particularidades do problema a ser resolvido.

### 3 JUSTIFICATIVA

O Controle Preditivo Baseado em Modelo (MPC) é uma família de técnicas de controle que fazem uso de um modelo para prever o comportamento futuro do processo e, com base nessas previsões, minimizar uma função de custo que pondera o erro de seguimento de referências e as ações de controle e considera um conjunto de restrições nas variáveis envolvidas [6]. O MPC tem a capacidade de lidar com plantas mono e multivariáveis, inclui diretamente a realimentação e o controle *feedforward* na sua formulação e permite a compensação intrínseca de atrasos de transporte [16].

O MPC é uma abordagem ideal para controle de processos multivariáveis complexos sujeitos a restrições [16]. Isto explica o porquê do MPC ser a estratégia de controle avançado mais utilizada atualmente para controle de processos industriais, principalmente na indústria petroquímica e de processos [7],[8]. Atualmente, o MPC pode ser considerada uma técnica madura no que diz respeito à teoria e seu uso em sistemas modelados de forma linear [8]. Porém, ainda há espaço para o desenvolvimento de técnicas de controle para sistemas não lineares, híbridos e distribuídos [6].

Uma das propriedades interessantes do MPC é a possibilidade de tratar de forma natural valores futuros de referências e perturbações que afetam o sistema, dado que modelos internos são usados para a formulação da lei de controle [20],[16]. No caso particular dos sistemas de energia, previsões de demanda e de disponibilidade de energia podem ser consideradas no problema de controle, o que torna o MPC uma estratégia interessante para tais sistemas [18].

Adicionalmente, o MPC permite de forma natural considerar na sua formulação questões relacionadas à otimização econômica junto com os requisitos de operação de processo [20]. Esta junção do problema econômico e de processo pode ser tratada de diferentes formas, com uma camada de otimização separada e rodando em outra taxa de amostragem, problema conhecido como RTO-MPC (*real-time optimization MPC*) ou, alternativamente, de forma integrada na mesma função custo, no denominado MPC econômico [14],[5],[3],[8]. A sintonia e adequação destas soluções, assim como estudos de estabilidade e robustez das soluções, são um tema de pesquisa atual na área.

O MPC não está, ainda, muito difundido no setor de energias, a pesar de existirem

trabalhos na área [15],[17],[11],[19],[13],[12]. Os sistemas de geração com energias renováveis e não renováveis tem características particulares, principalmente dada sua distribuição geográfica e a dinâmica híbrida comandada pelo tempo e eventos [10].

Assim, aspectos como a cooperação entre controladores distribuídos geograficamente, estabilidade e robustez das soluções e otimização econômica em tempo são temas que precisam ser pesquisados.

## 4 OBJETIVO

Desenvolver, com base em estratégias de controle preditivo, sistemas de controle e otimização econômica para processos de geração e gestão de energia, considerando sistemas híbridos com fontes de energia renováveis, principalmente considerando sistemas associados a usinas de açúcar e etanol.

Como objetivos particulares temos: (1) desenvolvimento de novos modelos adequados à realidade dos sistemas de geração e armazenamento; (2) aplicação de estratégias de controle MPC para estes sistemas; (3) implementação e validação das soluções em plataformas simuladas.

## 5 METODOLOGIA

A metodologia consiste da aplicação das seguintes etapas e procedimentos. Primeiramente, será realizada uma ampla revisão bibliográfica do tema, tanto em aspectos de modelagem como de controle preditivo e aplicações no setor de energia, assim como em otimização. A partir deste estudo, serão preparados cenários simulados com os modelos desenvolvidos para estudo das técnicas. Posteriormente, serão aplicadas as técnicas de controle. Finalmente, as soluções propostas serão testadas em simulação e plantas piloto. A escrita da dissertação e artigos se realizará em paralelo as atividades de pesquisa.

O mestrando passará a trabalhar numa equipe do projeto aprovado no CNPq "*Optimization and Control of Hybrid Generation Power Systems Including Renewable Sources*" e, como parte da metodologia de trabalho, serão realizadas reuniões periódicas, assim como seminários internos para apresentação dos resultados parciais da pesquisa e redefinição de objetivos, quando for o caso.

## 6 DISCIPLINAS

Será fundamental que o mestrando curse as seguintes disciplinas.

- Controle Preditivo (2 créditos);
- Tópicos Avançados em Otimização de Sistemas (2 créditos)

## Referências

- [1] brasil.gov.br. matriz energética, Junho 2013. URL <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>.
- [2] brasil.gov.br. infraestrutura, Maio 2015. URL <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2012/06/brasil-pode-ser-exemplo-em-energia-renovavel>.
- [3] Luz A. Alvarez and Darci Odloak. Robust integration of real time optimization with linear model predictive control. *Computers and Chemical Engineering* 34, pages 1937–1944, 2010.
- [4] D. Anderson and M. Leach. Harvesting and redistributing renewable energy: on the role of gas and electricity grids to overcome intermittency through the generation and storage of hydrogen. *Energy Policy* 32, pages 1603–1614, 2004.
- [5] C. Brosilow and G. Q. Zhao. A linear programming approach to constrained multivariable process control. *Control Dyn. Syst.*, 1988.
- [6] E. CAMACHO and C. BORDONS. *Model Predictive Control*. Springer, 1999. (Advanced Textbooks in Control and Signal Processing).
- [7] C. R. Cutler and B. L. Ramaker. Dynamic matrix control a computer control algorithm. In *AIChE Meeting*, April 1979.
- [8] Mario Cesar M. Massa de Campos, Marcos Vinicius de Carvalho Gomes, and José Manuel Gonzalez Tubio Perez. *Controle Avançado e Otimização na Indústria do Petróleo*. Interciência, 2013.
- [9] R. Dell and D. Rand. Energy storage a key technology for global energy sustainability. *J. Power Sources* 100, pages 2–17, 2001.
- [10] G. Ferrari-Trecate, E. Gallestey, P. Letizia, M. Spedicato, M. Morari, and M. Antoine. Modeling and control of co-generation power plants: a hybrid system approach. *IEEE Transactions on control systems technology*, 12(5):694–705, September 2004.

- [11] Sébastien Gros. An economic NMPC formulation for wind turbine control. *Conference on Decision and Control*, 2013.
- [12] Tobias Gybel Hovgaard, Lars F. S. Larsen, John Bagterp Jørgensen, and Stephen Boyd. MPC for wind power gradients-utilizing forecasts, rotor inertia and central energy storage. In *European Control Conference (ECC)*, 2013.
- [13] Chiao-Ting Li, Huei Peng, and Jing Sun. MPC for reducing energy storage requirement of wind power systems. *American Control Conference*, 2013.
- [14] A. M. Morshedi, C. R. Cutler, and T. A. Skrovanek. Optimal solution of dynamic matrix control with linear programming techniques LDMC. *ACC* 85, 1985.
- [15] R. R. Negenborn, M. Houwing, B. De Schutter, and J. Hellendoorn. Model predictive control for residential energy resources using a mixed-logical dynamic model. *International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)*, pages 702–707, March 2009.
- [16] J. E. Normey-Rico and E. Camacho. *Control of Dead-Time Processes*. Springer, 2007. (Advanced Textbooks in Control and Signal Processing).
- [17] A. Del Real, A. Arce, and C. Bordons. Hybrid model predictive control of a two-generator power plant integrating photovoltaic panels and fuel cell. In *46 IEEE Conference on Decision and Control*, 2007.
- [18] Alvaro Serna, Julio E. Normey-Rico, and Fernando Tadeo. Model predictive control of hydrogen production by renewable energy. *IREC 2015*, 2015.
- [19] Le Xie, Yingzhong Gu, Ali Eskandari, , and Mehrdad Ehsani. Fast MPC-based coordination of wind power and battery energy storage systems. *Journal of Energy Engineering*, 138(2):43–53, June 2012.
- [20] Chao-Ming Ying and Babu Joseph. Performance and stability analysis of LP-MPC and QP-MPC cascade control systems. *Alche Hournal*, 45(7):1521–1534, 1999.