

REVISTA



SOLUÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO PAÍS

VOLUME 6 - Nº 68 - Agosto / 2011
ISSN - 1809-3957

ARTIGOS PUBLICADOS

PUBLICAÇÃO MENSAL
Nesta edição

CONTROLE PREDITIVO ROBUSTO APLICADO A MÁQUINA SÍNCRONA C. H. F. da
SILVA 03

AS CINCO FORÇAS DE PORTER: OPÇÕES PARA DIMINUIR A AMEAÇA DOS
FORNECEDORES COM O AUXÍLIO DA TECNOLOGIA - SILVA, M. H.; GONÇALVES, R.
S.; ROSA, A. C. ; CORREA, F.C.A. 08

Atendimento:
fale@sodebras.com.br
Acesso:
<http://www.sodebras.com.br>

Volume 6 – n. 68 – agosto/2011

ISSN 1809-3957



CONTROLE PREDITIVO ROBUSTO APLICADO A MÁQUINA SÍNCRONA

ISSN 1809-3957

C. H. F. da Silva

Resumo: As instalações hidráulicas de pequeno porte utilizam basicamente estratégias clássicas para executar o controle do processo. Técnicas de controle preditivo robusto têm se mostrado promissoras na manutenção da estabilidade e do desempenho do processo submetido a incertezas no modelo para certos valores adotados. Este artigo aplica, ao problema em análise, algumas técnicas de controle, incluindo controle preditivo e um controle preditivo robusto que apresenta característica de estabilidade robusta. O artigo apresenta a simulação no modelo da Central Hidrelétrica dos Martins, situada no município de Uberlândia (4 x 2,75 MVA) que confirma a aplicabilidade da técnica de controle preditivo robusto.

Palavras Chaves: Controle Preditivo baseado em Modelos, Controle Robusto, Sistemas de Potência.

I. INTRODUÇÃO

Nas pequenas centrais, de uma maneira geral, os equipamentos e sistemas envolvidos são bastante simplificados, muitas vezes montados até de forma primitiva e arcaica, embora funcionais. Os sistemas de controle de uma máquina elétrica são, basicamente, o controle de potência ativa/freqüência e o controle de potência reativa/tensão (Elgerd, 1976). A qualidade final da energia gerada, a estabilidade do sistema (da máquina e de toda a rede) e o conjunto preservação-eficiência dos componentes elétricos e mecânicos dependem de quão eficiente é a atuação do controlador sobre o processo. O estudo e o desenvolvimento de teorias de controle moderno aliados a sistemas de computadores digitais possibilitaram diversas melhorias sobre o processo, tornando o controle mais maleável e de fácil modificação, buscando levar o processo à estabilidade sob quaisquer condições, contribuir para a redução dos custos de manutenção e melhorar a eficiência energética do processo (Ogata, 1987).

O controle preditivo baseado em modelos (MPC) tem se tornado uma importante estratégia de controle para aplicações industriais (Silva et al., 2003). Muitos resultados de sucesso foram relatados e este fato confere a esta tecnologia uma grande aceitação. Além disso, muitos importantes resultados, tais como a estabilidade em malha fechada, foram direcionados para esta técnica. Para maiores informações ver Mayne et. al (2000) e Oliveira-Lopes (2000). Este controle é caracterizado pela utilização de um modelo explícito a fim de prever as saídas do processo em um tempo no futuro, pelo cálculo de uma seqüência de ações de controle que minimizem uma função objetivo com a aplicação da primeira ação de controle da seqüência calculada e atualização de medição com novos cálculos de minimização.

Durante as décadas passadas uma sólida fundamentação teórica de MPC possibilitou a aplicação prática desta estratégia com estabilidade garantida e certo grau de robustez. Pode-se afirmar que hoje existe um entendimento bastante apurado sobre o projeto de MPC linear robusto. Entretanto, problemas de restrição, que exploram eficientemente o conhecimento de incertezas ainda merece atenção de muitos pesquisadores. Como obstáculos dos algoritmos de MPC robusto podem-se citar a alta demanda computacional e a pequena aplicabilidade a depender da velocidade e dimensão da planta do processo sobre o qual o controle atuará.

Este artigo aplica estratégias de controle ao problema de pequenas centrais elétricas, sendo elas: controle preditivo e controle preditivo robusto baseado no uso otimização mín-máx. Ele mostra que para uma classe de incertezas o controle preditivo robusto além de garantir estabilidade robusta, mantém níveis aceitáveis de desempenho. A seção 2 apresenta o processo de geração de energia elétrica. A seção 3 mostra a fundamentação necessária para estabilização de MPC e MPC robusto. A seção 4 introduz a formulação do problema. A seção 5 apresenta os resultados aplicados no modelo da PCH de Martins de propriedade da CEMIG, situada no município de Uberlândia/MG (4x2,75 MW). A seção 6 mostra as conclusões deste trabalho e no encerramento do artigo são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas.

II. GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A implementação de novos projetos de PCH's, bem como a reativação e a modernização de usinas existentes, pode contribuir para a ampliação da capacidade de geração de forma rápida e com baixos custos tanto financeiro quanto ambiental.

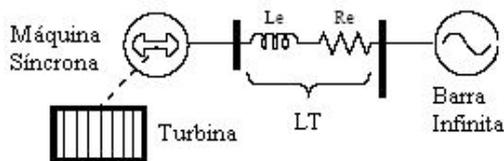


Figura 1 – Circuito para máquina contra barra infinita.

Os modelos representativos dos sistemas de regulação de velocidade e potência ativa e/ou de regulação de tensão e potência reativa são teoricamente genéricos, assim como os demais sistemas físicos caracterizados por máquinas síncronas, transformadores de potencial, linhas de transmissão e cargas acopladas. A escolha pela representação de uma instalação hidráulica geradora contra uma barra infinita, acopladas por uma linha de transmissão (Re e Le) como mostra a Figura 1 deve-se ao fato de os resultados serem bastante representativos daquilo que ocorre na realidade no interior das estações, sem maiores preocupações com o sistema externo.

III. MODELAGEM DO PROCESSO

O modelo do processo se caracteriza por considerações gerais inerentes ao sistema completo apresentado por Anderson e Fouad (1982) e resultante da aplicação das técnicas das transformações de Park. O sistema foi linearizado nos valores nominais de trabalho da máquina de forma a se obter um modelo linear representativo deste processo. As funções de transferência mostradas a seguir são resultantes do levantamento e identificação do modelo aplicado à instalação, e seus parâmetros encontram-se validados por ensaios na planta e análise de comportamento operativo, como mostrou Gomes(1992 a; 1992 b). Partindo-se das Funções de Transferência é possível construir o diagrama de blocos do processo, como é mostrado na Figura 2. Uma forma bastante comum de se trabalhar em sistemas de potência é a utilização de um conjunto de unidades formando uma base, que normalizará e escalará todas as variáveis do processo (“pu” - por unidade). A base adotada é mostrada na Tabela 1. A Tabela 2 mostra os valores para os parâmetros do modelo apresentado.

Tabela 1: Base de valores adotada.

Grandeza	Valor
Potência	2750 KW
Tensão	4160 VCA
Aceleração da gravidade	9,8 m/s ²

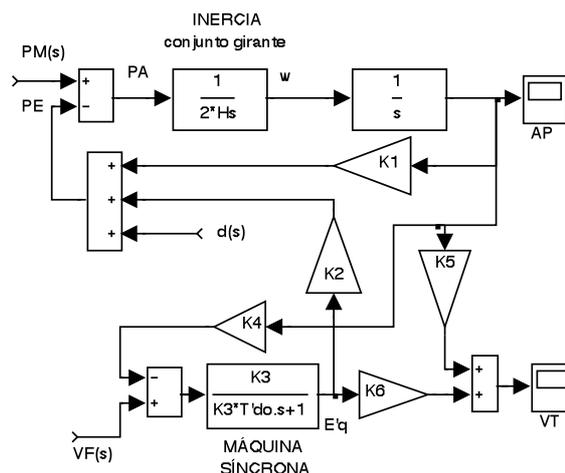


Figura 2: Diagrama de blocos com as funções de transferência do processo original.

Onde: s é a variável de Laplace, PA é a potência acelerante, PE é a potência elétrica, PM é a potência mecânica, w é a frequência elétrica, 2H expressa a inércia do conjunto girante, AP é o ângulo de potência, VF é a tensão de campo, T’do é a constante de tempo transitória de eixo direto da máquina a vazio, TEL é o torque elétrico. E’q é o fluxo do entreferro, VT é a tensão terminal e d é a perturbação externa. As Equações 01-06 expressam as constantes linearizadas K1-K6. As limitações do processo são de natureza: mecânica, ligada às movimentações do distribuidor e perturbações mecânicas a que a máquina encontra-se sujeita; elétrica, ligada a capacidade de isolamento dos componentes do sistema e sistêmica, ligada a requisitos de qualidade de fornecimento da energia, à capacidade dos sistemas se manterem interligados e a oscilações eletrodinâmicas oriundas de chaveamentos e manobras.

Tabela 2: Valores nominais dos parâmetros.

Param.	Valor	Param.	Valor
2H	6 s	K1	0,82 pu/rad
K5	-0,1 pu/rad	K2	1,18 pu/pu
K6	0,4 pu/pu	K3	0,3 pu/pu
T’do	2,5 s	K4	1,15 pu/rad

$$K1 = \frac{\partial TEL}{\partial \delta}, E'q = E'q_0, dw = 0 \quad (01)$$

$$K2 = \frac{\partial TEL}{\partial E'q}, \delta = \delta_0, dw = 0 \quad (02)$$

$$K3 = \frac{\partial E'q}{\partial V_F}, \delta = \delta_0 \quad (03)$$

$$K4 = -\frac{1}{K3} \frac{\partial E'q}{\partial \delta}, VF = VF_0 \quad (04)$$

$$K5 = \frac{\partial VT}{\partial \delta}, E'q = E'q_0 \quad (05)$$

$$K6 = \frac{\partial VT}{\partial E'q}, \delta = \delta_0 \quad (06)$$

Após a manipulação algébrica das funções de transferência mostradas na Figura 2 obtém-se a forma clássica de espaço de estados para a planta, como mostra a Eq. 07. Os vetores dos estados (\mathbf{x}), das entradas (\mathbf{u}) e das saídas (\mathbf{y}) são indicados nas Eq. 08-Eq. 10, respectivamente. As matrizes \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{C} são mostradas nas Eq. 11-Eq. 13, respectivamente. A perturbação externa é expressa por \mathbf{d} .

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t) + \mathbf{B}_d\mathbf{d} \quad (07)$$

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{C}\mathbf{x}(t) \quad (08)$$

$$\mathbf{u}^T = [\mathbf{V}\mathbf{F} \quad \mathbf{P}_M] \quad (09)$$

$$\mathbf{y}^T = [\mathbf{A}\mathbf{P} \quad \mathbf{V}\mathbf{T}] \quad (10)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -1/(K3T'do) & 0 & K4/(T'do) \\ -K2/(2H) & 0 & -K1/(2H) \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\mathbf{B}^T = \begin{bmatrix} 1/T'do & 0 \\ 0 & 1/2H \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \mathbf{B}_d = \begin{bmatrix} 0 \\ 1/2H \\ 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ K6 & 0 & K5 \end{bmatrix} \quad (13)$$

IV. CONTROLE PREDITIVO (MPC)

A caracterização de um conjunto de incertezas significa encontrar uma representação matemática da incerteza do modelo, baseado no conhecimento do sistema. (Skogestad e Postlethwaite, 1997). Um controle é robusto se ele for insensível às diferenças entre o sistema atual e o modelo utilizado para o cálculo do controlador. Tal situação é conhecida como desvio planta/modelo. Os problemas de robustez estão ligados a inúmeros fatores, podem-se citar os seguintes: defeitos diversos no sistema, sensores, atuadores, envelhecimento, restrições físicas, alterações nos objetivos de controle, abertura e fechamento de malha e problemas matemático-computacional ligados à descrição do problema real de controle, algoritmos e convergência. E ainda, pode-se não encontrar o ponto de ótimo desempenho, em particular se o pior caso raramente acontece.

Este controle é caracterizado pela utilização de um modelo explícito, representado pelas Eq. 14-15, a fim de prever as saídas do processo em um tempo no futuro, pelo cálculo de uma seqüência de ações de controle que minimizem uma função objetivo, expressa pela Eq. 16, com a aplicação da primeira ação de controle da seqüência calculada e atualização de medição com novos cálculos de minimização. A Figura 3 ilustra este esquema. Existem muitas formulações de MPC que introduzem formas de MPC com estabilidade garantida, como por exemplo, a formulação de

MPC com horizonte infinito apresentada por Muske e Rawling (1993).

$$\mathbf{z}_{k+1} = \mathbf{A}\mathbf{z}_k + \mathbf{B}\mathbf{v}_k \quad (14)$$

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{C}\mathbf{z}_k \quad (15)$$

$$J(\mathbf{z}, \mathbf{v}, k) = \sum_{j=0}^{\infty} \mathbf{z}_{k+j|k}^T \mathbf{Q}\mathbf{z}_{k+j|k} + \mathbf{v}_{k+j|k}^T \mathbf{R}\mathbf{v}_{k+j|k} \quad (16)$$

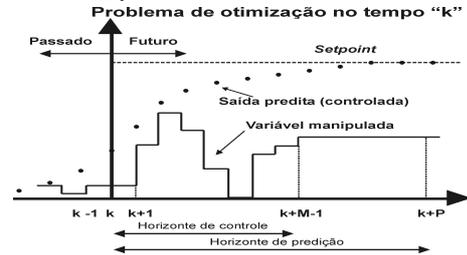


Figura 3 - Estrutura básica do MPC.

Onde $\mathbf{z}_k \in \mathbb{R}^z$ é o vetor de estados, $\mathbf{u}_k \in \mathbb{R}^u$ é o vetor de entradas e $\mathbf{y}_k \in \mathbb{R}^y$ é o vetor de saídas. Durante a operação, o sistema deve respeitar restrições pertencentes a um conjunto poliédrico formado por estados e entradas, isto é, $\mathbf{v} \in \mathbf{V}$ e $\mathbf{z} \in \mathbf{Z}$. Uma matriz positiva definida, $\mathbf{Q} = \mathbf{Q}^T > 0$, e uma matriz positiva semi-definida, $\mathbf{R} = \mathbf{R}^T \geq 0$, são os pesos de desempenho.

V. MPC MÍN-MÁX ROBUSTO

A análise de robustez de interesse aqui está baseada principalmente na análise de sensibilidade a incertezas e seus efeitos no desempenho e estabilidade de algoritmos MPC (Zhou e Doyle, 1998). Como resultado é essencial à descrição de incertezas no projeto de algoritmos de controle robusto explícito (Bagdwell, 1997). A existência de desvio planta/modelo pode conduzir a formulação a um fraco desempenho e levando instabilidade aos sistemas de controle.

As mais importantes abordagens para projeto de controladores MPC robusto são baseadas na formulação mín-máx (Löfberg, 2003), onde uma seqüência de movimentos de controle procurada pode lidar com o problema de controle na presença de desvio planta/modelo. Como em um MPC nominal, também aqui considerações especiais devem ser levadas em conta a fim de garantir estabilidade robusta. Formulações baseadas em LMI têm se mostrado promissoras como controladores preditivos robustos (Silva et al., 2004).

O algoritmo de controle apresentado por Lee e Looley (2000) com formulação de incerteza invariante no tempo, não é robustamente estável, mas ele pode ser robusto se o conjunto de parâmetros é variante no tempo. Para se ter o algoritmo de controle robustamente estável, é necessário formular o projeto do controlador usando a descrição de incerteza variante no tempo. Os maiores problemas para essa abordagem residem nos seguintes fatos: (a) o grande esforço computacional; (b) a natureza não convexa do problema. Para a minimização dessas dificuldades,

Lee e Cooley (2000) propuseram uma formulação convexa usando a estrutura mín-máx. Entretanto, o controlador obtido ainda demanda um grande esforço computacional.

A idéia nesse trabalho é introduzir uma restrição de robustez no problema de controle com formulação de incerteza invariante no tempo, que força uma propriedade de estabilidade robusta, com aceitável esforço computacional e facilmente estendido a outras formulações de MPC.

Existem muitas estratégias para “robustificar” um algoritmo MPC. Neste artigo, as idéias apresentadas por Bagdwell (1997) irão forçar a robustez na forma de uma restrição. Forçar a robustez por essa restrição é similar a requerer que a função custo seja menor ou igual à função custo de malha aberta (isto é, o custo obtido implementando a restrição de trajetórias ótimas previamente computadas) para todos os valores de parâmetros. Este requerimento pode ser expresso pela Eq. 17. Onde \mathbf{U}_k^* é uma versão deslocada do valor ótimo de \mathbf{U}_{k-1} para o problema de otimização mín-máx. A vantagem desta formulação dá-se pelo fato de que a restrição de contração dada pela Eq. 17 é baseada diretamente no índice de desempenho e por consequência, mais intuitivo que a maior parte das restrições de contração. O resultado de estabilidade robusta é confiado inteiramente às restrições de contração, que apresentam as características de viabilidade desejáveis para o problema de otimização resultante.

$$J_k(\mathbf{U}_k, \Theta_k) \leq J_k(\bar{\mathbf{U}}_k^*, \Theta_k), \forall \theta_k \in \Theta \quad (17)$$

O MPC robustamente estável é definido de forma que o movimento de controle $\mathbf{u}(k)$, no instante k de amostragem, é dado pelo primeiro elemento $\mathbf{u}(k|k)$ de $\mathbf{U}: \{\mathbf{u}(k|k), \mathbf{u}(k+1|k), \dots, \mathbf{u}(k+m-1|k)\}$, que é a solução do problema de otimização dado pelas Eq. 18-35: Onde m é o horizonte de controle.

$$\min_{\mathbf{U} \in \Xi^m} \max_{\Theta \in \Omega^m} \left[J_k(\mathbf{U}_k, \Theta_k) = \mathbf{X}_{k+1}^T \mathbf{K} \mathbf{X}_{k+1} + \mathbf{U}_{k+1}^T \Lambda \mathbf{U}_{k+1} \right] \quad (18)$$

$$\mathbf{X}_{k+1} = \bar{\mathbf{A}} \mathbf{z}_k + \bar{\mathbf{B}}(\Theta_k) \mathbf{U}_k \quad (19)$$

$$\mathbf{X}_{k+1} = \begin{bmatrix} x_{k+1} & \dots & x_{k+m} \end{bmatrix}^T \quad (20)$$

$$\mathbf{U}_{k+1} = \begin{bmatrix} u_k & \dots & u_{k+m-1} \end{bmatrix}^T \quad (21)$$

$$\Theta_{k+1} = \begin{bmatrix} \delta_k & \dots & \delta_{k+m-1} \end{bmatrix}^T \quad (22)$$

$$\bar{\mathbf{A}} = \begin{bmatrix} \mathbf{A} \\ \vdots \\ \mathbf{A}^m \end{bmatrix} \quad (23)$$

$$\bar{\mathbf{B}}(\Theta_k) = \begin{bmatrix} \mathbf{B}(\theta_k) & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} \\ \mathbf{A}\mathbf{B}(\theta_k) & \mathbf{B}(\theta_k) & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \mathbf{0} \\ \mathbf{A}^{m-1}\mathbf{B}(\theta_k) & \mathbf{A}^{m-1}\mathbf{B}(\theta_k) & \dots & \mathbf{B}(\theta_k) \end{bmatrix} \quad (24)$$

$$\mathbf{B}(\theta_k) = \mathbf{B} \begin{bmatrix} 1 + \delta^1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 + \delta^2 & \vdots & \vdots \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & 1 + \delta^{\dim(\mathbf{u})} \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$\mathbf{K} = \text{diag} \left[\mathbf{Q}, \dots, \mathbf{Q}, \bar{\mathbf{Q}} \right] \quad (26)$$

$$\bar{\mathbf{Q}} = \mathbf{Q} + \mathbf{A}^T \bar{\mathbf{Q}} \mathbf{A} \quad (27)$$

$$\Lambda = \text{diag} \left[\mathbf{R}, \dots, \mathbf{R} \right] \quad (28)$$

$$\Xi^m = \Xi \times \dots \times \Xi, \quad \Omega^m = \Omega \times \dots \times \Omega \quad (29)$$

$$\text{Sujeito à,} \\ \mathbf{u}_{k+j} \in \Xi, j=0, \dots, m-1 \quad (30)$$

$$\mathbf{u}_{k+m+j} = 0 \text{ com } j \geq 0 \quad (31)$$

$$\theta_{k+j} \in \Omega \quad (32)$$

$$\delta^j \leq |0,1| \quad (33)$$

$$J_k(\mathbf{U}_k, \Theta_k) \leq J_k(\bar{\mathbf{U}}_k^*, \Theta_k), \forall \theta_k \in \Theta \quad (34)$$

$$\bar{\mathbf{U}}_k^* = \Phi \mathbf{U}_{k-1}^*, \Phi = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{I} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{I} & \ddots & \mathbf{0} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \mathbf{0} & \mathbf{I} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \dots & \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad (35)$$

VI. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 4 apresenta a malha aberta do processo em questão. O processo é estável em malha aberta. A Figura 5 mostra a resposta do sistema sob perturbação interna como os reguladores atuais.

A Figura 6 mostra o comportamento do sistema e da ação de controle com IHMPC. Os parâmetros de ajuste do controlador foram: horizonte de controle $m = 8$, $\mathbf{Q} = 10\mathbf{I}$, $\mathbf{R} = \mathbf{I}$ e $\mathbf{S} = \mathbf{I}$.

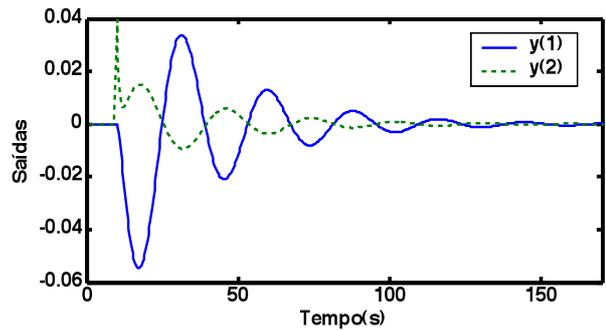


Figura 4: Sistema em malha aberta

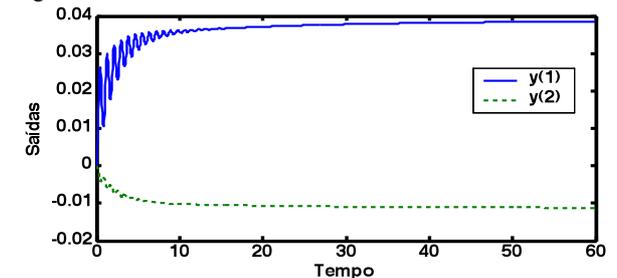


Figura 5: Sistema com controladores originais submetido a 1% de perturbação externa (d).

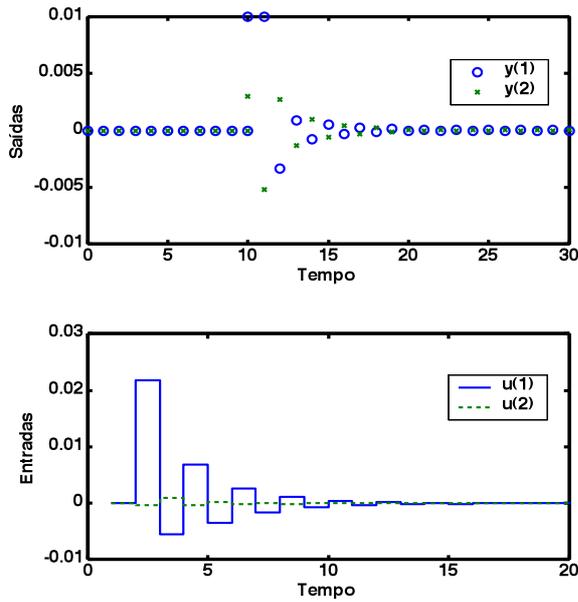


Figura 6: Comportamento do sistema com IHMPC.

A Figura 7 mostra o comportamento do sistema com MPC robusto baseado em otimização Mín-Máx com incerteza variante no tempo. A Figura 8 mostra os resultados para o RMPC com restrição. Para ambos os casos foram utilizados os seguintes ajustes de projeto: \mathbf{Q} e \mathbf{R} iguais a matrizes identidade de ordem adequada e incerteza dada por δ^1 e δ^2 limitados a região $[-0,1 - 0,1] \times [0,1 0,1]$.

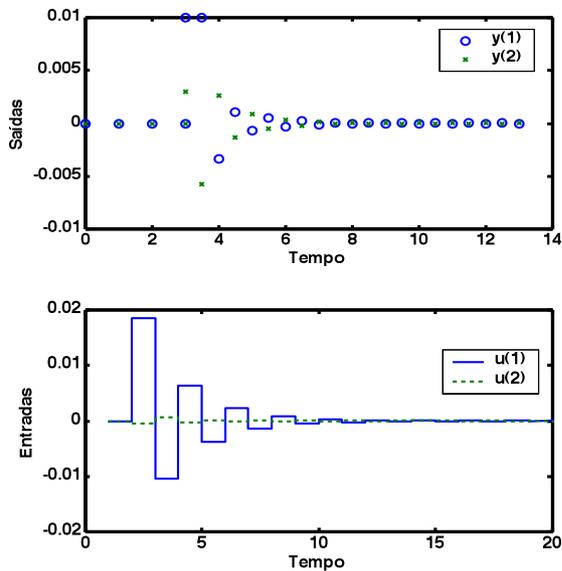


Figura 7: Sistema utilizando RMPC com incerteza variante no tempo.

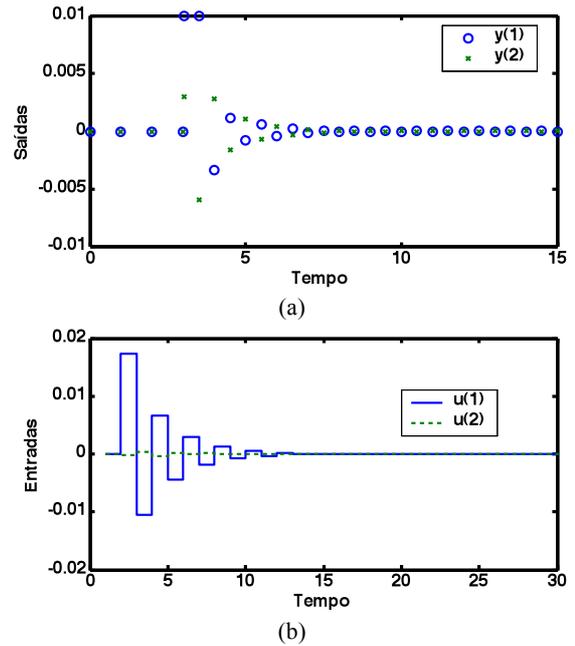


Figura 8: Sistema utilizando RMPC com restrição de robustez.

VII. CONCLUSÕES

Este artigo aplicou as seguintes técnicas de controle no modelo linear simplificado da PCH de Martins (4x2,25 MW): controle MPC de horizonte infinito (IHMPC) e controle MPC robusto Mín-Máx com restrição de robustez e incerteza de 10% nas entradas.

O sistema é estável em malha aberta e os com os atuais controladores em operação. Poder-se-ia pensar que um ajuste resolveria o problema. Porém uma vez que se trata de equipamentos puramente manuais os recursos de ajustes encontram-se limitados, sendo está a melhor resposta com os atuais equipamentos de controle. O controle foi realizado sem *off-set*, em tempo reduzido. O algoritmo de controle preditivo robustos com restrição foi aplicado ao processo e os resultados demonstram a sua aplicabilidade. Comparando com os resultados do RMPC com incerteza variante o RMPC com restrição proposto possui desempenho aceitável. A intenção aqui não foi de mostrar os melhores ajustes mas sim a possibilidade para atingi-lo. A exigência computacional do problema de controle robusto se manteve em níveis aceitáveis. Como sugestões para futuros trabalhos podem-se citar a análise de desempenho dos controladores aqui apresentados juntamente com a avaliação dos limites de robustez e a avaliação comparativa destes controladores e a extensão do estudo a modelos completos do processo.

VIII. REFERÊNCIAS

- Anderson P. M., Fouad A. A. (1982). *Power System Control and Stability*, The Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
- Badgwell, T. A. (1997). *Robust Model Predictive Control of Stable Linear Systems*, Int. J. Control, Vol. 68, pp. 797-818.
- Elegerd O. L. (1976). *Introdução à Teoria de Sistemas de Energia Elétrica*, Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda., São Paulo.
- Gomes L R (1992 a). *Manutenção Geral nos Sistemas de Excitação – Máquina 03 e 04 da Usina dos Martins*, 01.124-PD/PR3-096/92, CEMIG.
- Gomes L R (1992 b). *Manutenção Geral nos Sistemas de Regulação de Velocidade – Máquina 03 e 04 da Usina dos Martins*, 01.124-PD/PR3-097/92, CEMIG.
- Lee, J.H.; Cooley, B. L. (2000). *Min-Max Predictive Control Techniques for Linear State-Space System With a Bounded Set of Input Matrices*, Automatica, Vol. 36, pp. 463-473.
- Löfberg J.(2003). *Minimax Approaches to Robust Model Predictive Control*, Tese de Doutorado, Linköping, Suíça.
- Mayne D.Q., Rawlings J. B., Rao C. V., Sokaert, P. O. M. (2000). *Constrained Model Predictive Control: Stability and Optimality*, Automática, Vol. 36, pg. 789-814.
- Muske, K. R., Rawlings, J. B.(1993). *Model Predictive Control With Linear Models*, AIChE Journal, Vol 39, Nº 2, pg. 262-287.
- Oliveira-Lopes, L. C. (2000). *Reference System Nonlinear Model Predictive Control*, Tese de Doutorado, Lehigh University, USA.
- Silva C. H. F., Henrique H. M., Gomes L. R., Oliveira-Lopes, L. C. (2003). *Controle Preditivo Robusto Aplicado a Pequenas Centrais Hidrelétricas: Estudo de um Caso Real*, Anais do IV Simpósio Sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas, Recife-PE.
- Silva, C. H. F., Henrique, H. M., Gomes L. R.(2004). *Modelagem e Aplicação de Técnicas de Controle Moderno e Preditivo em Pequenas Centrais Hidroelétricas*, Anais do III Congresso Internacional de Instrumentação, Sistemas e Automação, São Paulo/SP.
- Skogestad, S., Postlethwaite, I. (1997). *Multivariable Feedback Control: Analysis and Design*, John Wiley & Sons, Chichester, England.
- Zhou, K.; Doyle, J. C. (1998). *Essentials of Robust Control*, Prentice Hall, New Jersey.

IX. COPYRIGHT

O autor é o único responsável pelo material incluído neste artigo.

X. BIOGRAFIA



Cláudio Homero Ferreira da Silva é natural de Araguari/MG. É Engenheiro Químico (UFU/2000), Mestre (UFU/2002) e Doutor (UFU/2009) em Desenvolvimento de Processos Químicos, Especialista em Formas Alternativas de Energia (UFLA/2010), com Aperfeiçoamento em Gerenciamento de Projetos (IETEC/2010). Atualmente trabalha na Cemig Geração e Transmissão onde atua como Gerente de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) em alternativas energéticas.



RESUMO

O crescimento acelerado das empresas e a globalização e as têm colocado as organizações em uma competitividade acirrada. Com a concorrência demasiada e as exigências cada vez maiores por parte dos clientes, fazer um produto diferenciado e ter vantagens competitivas em geral é uma questão de sobrevivência no mercado. A tecnologia vem se destacando neste aspecto porque ela permite ser bem administrada, vantagens competitivas sólidas para ascensão e permanência no mercado. Este trabalho tem por objetivo apontar as cinco forças determinadas por Porter como ameaças às empresas já consolidadas no mercado e em seguida, com foco na ameaça oferecida pelos fornecedores, a utilização da tecnologia, principalmente do *E-commerce* para minimizar essa força ou ameaça. A metodologia utilizada foi bibliográfica, através do levantamento de conceitos e teorias em livros que abordam o assunto.

Palavras-chave: Forças, E-commerce., Tecnologia

INTRODUÇÃO

A obtenção de vantagens competitivas no mercado atual pode significar a sobrevivência no mesmo, e a tecnologia surge como uma das principais ferramentas para a conquista destas vantagens.

De acordo com a literatura, existem cinco ameaças significativas que podem comprometer o sucesso da organização, tendo isto como base, este trabalho abordará todos eles focando na ameaça representada pelos fornecedores.

Partindo destes conceitos foi possível visualizar a minimização da ameaça citada através do uso da tecnologia em geral que fornece meios para o gerenciamento eficaz dos fornecedores.

O E-commerce é um importante aliado no intuito de diminuir o poder dos fornecedores da empresa por todas as opções estratégicas e vantagens que ele oferece e que serão aprofundadas posteriormente.

1. AS CINCO FORÇAS DE PORTER

A Figura 1 abaixo (PORTER, 2004) mostra as cinco forças de Porter em um diagrama de fácil entendimento:

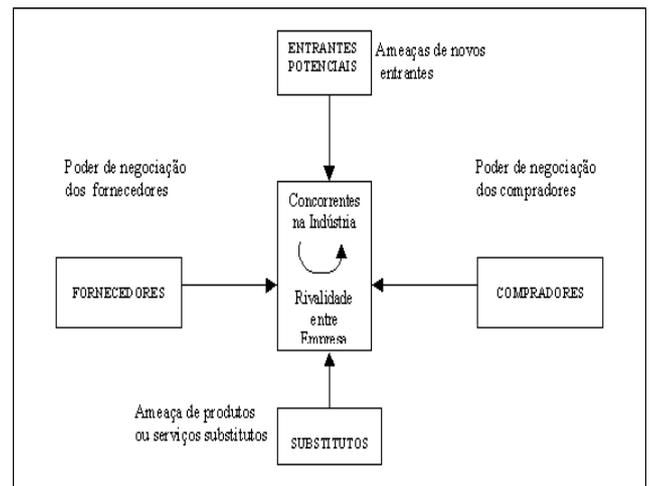


Figura 1: Forças que Dirigem a Concorrência na Indústria (PORTER, 2004)

1.1 Rivalidade entre Concorrentes

Serra, Torres e Torres (2004) afirmam que esta é a força mais significativa. É a ameaça que deve preocupar mais as empresas que já ocupam espaço no mercado, e talvez, por isso, a mais difícil de ser controlada.

Essa rivalidade resume-se em disputas por clientes e fornecedores e por posições táticas no mercado que envolvem aspectos como preço, propaganda, desenvolvimento de novos produtos, entre outros. Alguns dos aspectos que tornam a intensidade da rivalidade entre concorrentes forte são:

- O número de concorrentes é grande;
- A diversidade desses concorrentes é alta;
- A taxa de crescimento do mercado é baixa, o que faz com que, para que ganhem espaço no mercado as empresas precisam diminuir o preço, e automaticamente, sua margem de lucro;
- Os custos fixos são altos e impactam diretamente no preço final;
- Os custos de estocagem são altos;
- A diferenciação de produto é pequena.

1.2 Ameaça de Novos Entrantes no Mercado

- em larga escala, permitindo que o novo concorrente possa produzir em quantidades menores e oferecer o mesmo preço do mercado;
- A diferenciação de produto é pequena;
- O capital necessário é baixo;
- Os controles sobre os canais de distribuição são pequenos;
- O acesso à matéria-prima das empresas estabelecidas é pequeno;
- O acesso ao subsídio do governo é fácil.

1.3 Ameaça de Produtos e Serviços Substitutos

São aqueles que não são iguais, mas atendem a mesma necessidade. Para Aaker (2007) não competem com a mesma intensidade que os concorrentes primários (mesmos produtos, mesmos mercados), mas ainda são relevantes. Substitutos que mostram uma relação custo/benefício e uma substituição de produto para o cliente com custos mínimos devem ser observados com atenção. Dentre vários itens podem-se citar alguns que impulsionam a ameaça de novos entrantes no mercado:

1.4 Poder dos Compradores (clientes)

É a capacidade de barganha dos clientes para com as empresas do setor. Os compradores têm

- A importância do fornecedor para qualidade do produto final do comprador é baixa.

1.5 Poder dos Fornecedores

Refere-se ao poder de barganha das empresas que provêm insumos e serviços para outras empresas. Segundo Porter (2004), “Os fornecedores podem exercer poder de negociação sobre os participantes de uma indústria ameaçando elevar os preços ou reduzir a qualidade dos bens e serviços fornecidos. Poderosos fornecedores de matérias-primas chave podem apertar a lucratividade de um mercado que não está apto a repassar os aumentos no custo em seus próprios preços”.

Seu domínio se torna forte quando, dentre outros itens, tem-se no mercado:

Além de observar as atividades das empresas concorrentes, a ameaça da entrada de novos participantes depende das barreiras existentes quanto a sua entrada, além do poder de relação das organizações já estabelecidas (SERRA, TORRES e TORRES, 2004).

Dentre os fatores que tornam a ameaça de um novo concorrente alta, pode-se considerar:

- As economias de escala são baixas, o que faz com que a empresa já estabelecida não tenha a vantagem da produção
- poder de decidir atributos objetivos e subjetivos do produto como: preço, qualidade, prazo, atendimento, relacionamento, entre outros. O poder dos compradores é alto quando:
 - A concentração de compradores em relação às empresas vendedoras é maior, isto é, grande número de pequenas empresas que vendem para um pequeno grupo de grandes empresas compradoras;
 - O volume de compra é alto;
 - Há pouca diferenciação de produtos entre as empresas do mercado;
 - Existe forte possibilidade dos clientes comprarem os fornecedores;
 - Há um ganho na relação custo/benefício do produto substituto;
 - A margem de lucro dos produtos que vêm a substituir é alta;
 - Os custos de troca pelo comprador do produto são baixos.
 - Os compradores têm bom conhecimento dos custos e da estrutura das empresas vendedoras;
 - A lucratividade dos compradores é alta;
 - A redução dos custos por meio dos produtos comprados é pequena;

- A concentração dos fornecedores em relação a concentração de compradores no mercado é alta;
- A disponibilidade de produtos substitutos é baixa;
- A importância do comprador para o fornecedor é baixa;
- A diferenciação dos produtos e serviços dos fornecedores é alta;
- Os custos de troca pelo comprador são altos; e
- A ameaça de empresas fornecedoras adquirirem empresas compradoras é alta.

1.6 Estratégias para Diminuir o Poder de Barganha dos Fornecedores

Existem algumas estratégias normalmente utilizadas pelas empresas para minimizar o poder dos fornecedores, algumas focadas em tecnologia outras voltadas a questão de gerenciamento. Pode-se destacar dentre as mais vistas no mercado:

- **Parcerias:** é o investimento no relacionamento com o fornecedor. Este é um importante tópico muito valorizado quando se fala em clientes, entretanto as empresas de hoje têm percebido que um bom relacionamento com o fornecedor pode fazer toda a diferença para aquisição de uma vantagem competitiva no mercado.
- **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos:** é a otimização de toda a cadeia de suprimentos, adotando uma visão de melhoria contínua com foco não no gerenciamento de compras e estoque, mas na negociação. A tecnologia também auxilia, o *E-procurement* entendido como o processo completo de compra, assim tornando uma das ferramentas mais efetivas.
- **Aumento da Dependência dos Fornecedores:** Nesse caso indica-se tornar dependente de seus fornecedores criando alianças, com isso tornando-se parceiros dos fornecedores.
- **Conhecimento dos Métodos e Custos dos Fornecedores:** quando há este conhecimento o poder de negociação com o fornecedor aumenta, sabe-se onde e quando usar a melhor estratégia.
- **Aquisição de um Fornecedor:** uma vez que determinado fornecedor provê um produto chave para a empresa, a estratégia de aquisição torna-se
 - **Service Provider** (Provedores de acesso), **ESP** – Eletronic Software Provider (Compra por download) e **HSP** – Hosting Service Provider (Data center – hospedagem de CPD's)
 - **Produto:** É a venda de um bem tangível.
 E os autores citados acima ainda definem o CE em algumas categorias:
 - a. **Negócio – Negócio:** B2B (empresa-empresa) são empresas ou outros tipos de organização.
 - b. **Negócio – Consumidor:** B2C (empresa-consumidor) evolue transações de varejo entre empresa e comprador individuais.
 - c. **Consumidor – Consumidor:** C2C (Consumidor-consumidor) onde os consumidores vendem diretamente uns aos outros.
 - d. **Negócio – Administração**
 - e. **Consumidor – Administração**
 Além das categorias, outros autores como Truban e King, 2004 (*apud* KALAKOTA; WHINSTON, 1997)¹ definem o CE a partir de seis perspectivas:
 - **Perspectiva da comunicação:** Onde a CE é a distribuição de produtos, serviços, informações ou pagamentos por meio de redes de computadores ou outros meios eletrônicos.
 - **Perspectivas de processo comercial:** o CE é a aplicação de tecnologia para a automação de transações e do fluxo de trabalho.
 - **Perspectiva on-line:** o CE é uma ferramenta que satisfaz a necessidade de empresas, consumidores e administradores quanto á diminuição de custos e á

importante para minimizar o poder do mesmo, diminuir custos e evitar futuros problemas de fornecimento.

2 A UTILIZAÇÃO DO E-COMMERCE PARA MINIMIZAÇÃO DO PODER DOS FORNECEDORES

2.1 Comércio Eletrônico

Segundo Truban e King (2004) definem Comércio eletrônico como processo de compra, venda e troca de produtos, serviços e informações por redes de computadores ou pela internet, com o objetivo de atender diretamente todos os seus clientes, utilizando para tanto as facilidades de comunicação e de transferência de dados mediadas pela internet.

Existem 2 tipos de E-Commerce:

- **Serviço:** ASP – Application Solution Provider (Hospeda, gerencia e dá suporte à aplicativos), BSP – Business Service Provider (Gerenciamento e implantação de soluções - extensão do APS), EDI – Eletronic Data Interchange (Intercâmbio eletrônico de dados), ISP – Internet elevação nos níveis de qualidade a agilidade de atendimento.
 - **Perspectiva on-line:** o CE é a possibilidade de compra e venda de produtos e informações pela internet e por outros serviços on-line.
 - **Perspectiva da cooperação:** o CE é um instrumento de mediação inter e intracooperativa dentro de uma organização.
 - **Perspectiva comunitária:** o CE é um ponto de encontro para os membros de uma comunidade poder aprender realizar negócios e cooperar uns com os outros.

2.1 Vantagens do CE.

Segundo o SEBRAE, com o CE pode-se obter vantagens como: a Redução de custo nas transações, aceleração do fluxo de bens e informações, a melhoria dos níveis de serviço ao consumidor e o acesso facilitado ao mercado mundial são vantagens proporcionadas pelo CE que são vistas como vantagens competitivas adquiridas pela empresa.

¹ Kalakota, R. e Whinston, A. B. Eletronic Commerce: A manager's guide. Reading, MA: Addison Wesley, 1997.

2.2 E-commerce de Fornecedores

Classificando esse tipo de CE pela sua natureza como B2B significa que compradores e vendedores são empresas que se inter-relacionam através da internet. O sistema de TI citado acima no processo de obter vantagem sobre fornecedores, permite formar alianças ou parcerias ao invés de

competição. Assim é possível, com o sistema E-commerce de Fornecedores que todas as partes saiam ganhando no processo.

A tendência do CE é a busca de informações em tempo real ao levantamento da necessidade. Companhias tem conseguido programar a remessa das mercadorias no momento exato em que são necessárias, diminuindo seus custos de estoque. Esse sistema de gerenciamento de estoque é denominado *Just-in-time* (DEITEL, DEITEL STEINBUHLER, 2004).

Os benefícios são palpáveis e poderiam ser resumidos em termos de:

- Rapidez no processo de obtenção de informação;
- Minimização do volume de estoque;
- Maior assertividade no processamento das informações;
- Redução da utilização de recursos financeiros, principalmente com salários. O que permite o acesso aos seus parceiros através do endereço eletrônico restrito, reconvertendo a sua antiga forma de comunicação (fax e telefone) para comunicações via Internet, assim os acessos on-line, passarão de simples encomendas para disponibilização a todo tipo de informação. Com esta nova forma de negócio, as mensagens confidenciais transmitidas são seguras, não havendo fuga de informação.

A sua força distingue-se através do estabelecimento de relações on-line com os seus parceiros, permitindo a estes a mobilização da sua interface de acordo com as suas capacidades, sendo acessadas de acordo com as suas necessidades, permitindo múltiplos acessos a vários níveis de informações.

CONCLUSÃO

A partir da análise das cinco forças de Porter e a pesquisa desenvolvida sobre CE e focando no *E-commerce*, conclui-se que os sistemas de SI podem oferecer vantagem competitiva temporária, sendo mais difícil identificar situações em que esses projetos produzam uma vantagem competitiva sustentável, pois as empresas concorrentes tendem a copiar esses projetos de TI e melhorá-los. O que vai diferenciá-lo vai ser a gestão de como você vai tratar essas forças apresentadas ao longo da pesquisa a seu favor. Com isso o nosso foco foi então a minimização da força que os fornecedores podem exercer sobre determinada organização, de uma forma que tragamos os fornecedores através de SI estabelecendo parcerias assim equilibrando os dois lados onde ambos saiam satisfeito.

BIBLIOGRAFIA

- AAKER, D. A. **Administração Estratégia de Mercado**. 7ª Edição. Porto Alegre : Bookman, 2007;
- DEITEL, H. M. *at all*. **E-business e E-commerce para Administradores**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2004;
- PORTER, M. E. **Estratégia Competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência**. 2ª Ed. 9ª Reimp. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004;
- SEBRAE. **Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas**. Disponível em: < <http://www.sebraesc.com.br/faq/default.asp?vcidtexto=4513>>. Acesso em: 10 de junho de 2011;
- SERRA, F. A. R ; TORRES, M. C. S.; TORRES, A. P. **Administração Estratégica: conceitos, roteiro prático e casos**. Rio de Janeiro: Reichamnn e Affonso, 2004;
- TURBAN, E. e KING, D. **Comércio Eletrônico: estratégia e gestão**. São Paulo: Prentice Hall, 2004

COPYRIGHT

O autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo matéria incluído neste artigo.