

# TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO NO PROCESSO DE APROVEITAMENTO DO PALHIÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR PARA GERAÇÃO DE ENERGIA<sup>1</sup>

*Optimization Techniques for Processing Sugarcane Residual Biomass for Electric Energy Generation*

Helenice de Oliveira Florentino<sup>2</sup>, Socorro Rangel<sup>3</sup> e Edmea Cássia Baptista<sup>4</sup>

**Resumo:** A cana-de-açúcar é matéria-prima de grande flexibilidade. Com ela é possível produzir açúcar e álcool de vários tipos, fabricar alimentos e bebidas e gerar eletricidade. A cana pode ser completamente aproveitada: palhiço, bagaço, méis, torta e outros resíduos. Mas hoje a grande preocupação com esta cultura é o resíduo de colheita, pois é gerado em grande quantidade; no Brasil 80% deste ainda é queimado na pré-colheita, provocando muitos problemas ambientais. O objetivo deste artigo é mostrar a importância da modelagem matemática e de técnicas de otimização no processo de aproveitamento do resíduo de colheita da cana-de-açúcar para co-geração de energia. Parte das técnicas e modelagens discutidas são contribuições do Grupo de Modelagem e Otimização de Sistemas da UNESP (Núcleos de Botucatu, São José do Rio Preto, Bauru, Sorocaba e Presidente Prudente).

**Palavras-chave:** Otimização, resíduos de colheita, cana-de-açúcar, energia.

**Abstract:** Sugarcane is a very flexible raw material. It can be used to produce several products such as sugar, beverages, alcohol fuel, as well as electric energy to generation. Sugarcane straw, bagasse, vinasse, filter cake and other residues can be thoroughly used. However, there is a major concern with using sugarcane residue since most of it, around 80%, is still burnt in Brazil for safety and profit reasons, causing several problems to the environment. The objective of this work is to show the importance of applying mathematical models and optimization techniques to the process of electric energy generation from sugarcane biomass. Some of the techniques discussed are contributions from the UNESP Modeling and Systems Optimization research group.

**Keywords:** Optimization, crop residue, sugarcane, energy.

## 1 INTRODUÇÃO

O surgimento do veículo bicombustível e o crescimento da exportação de açúcar contribuíram fortemente para que o Brasil

se tornasse o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo. Segundo levantamento de agosto de 2006, feito pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a produção nacional de cana-de-açúcar no ciclo

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 27.11.2006 e aceito em 9.3.2007.

<sup>2</sup> Dep. de Bioestatística – IB/UNESP, Bairro Rubião Júnior S/N, 18618-000 Botucatu-SP, <helenice@ibb.unesp.br>.

<sup>3</sup> Dep. de Ciências de Computação e Estatística – IBILCE/UNESP, Rua Cristóvão Colombo, 2265, 15054-000 São José do Rio Preto-SP, <socorro@ibilce.unesp.br>. <sup>4</sup> Dep. de Matemática – FC/UNESP, Av. Luis Edmundo Carrijo Coube, 14-01, Bauru-SP, <baptista@fc.unesp.br>.

2006/2007 está estimada em 471,2 milhões de toneladas, plantadas em 6,2 milhões de hectares, superando em 9,2% a safra de 2005/2006. A região centro-sul do Brasil é responsável por 86,3% da produção nacional da cana-de-açúcar e a Região Norte/Nordeste por 13,7%, no entanto o Estado de São Paulo é o maior produtor, com 59,9% da produção brasileira. Do total apurado, 423,4 milhões de toneladas de cana-de-açúcar serão destinadas à indústria sucroalcooleira, sendo 238,4 milhões de toneladas para fabricação de açúcar e 185 milhões de toneladas para produção de álcool (anidro, hidratado e neutro). O restante será utilizado na fabricação de cachaça, rapadura, açúcar mascavo, ração animal, sementes para novos plantios, entre outros (CONAB 2006).

Da cana obtém-se também a energia elétrica, co-gerada no processo de queima do bagaço. O vapor, obtido desta queima, movimenta turbinas, gerando energia elétrica que torna auto-suficientes as unidades industriais. A energia excedente é vendida às concessionárias de energia elétrica. O vapor e o calor gerados pela queima do bagaço são muito importantes no processo de obtenção de açúcar e de álcool (RIPOLI; RIPOLI, 2004).

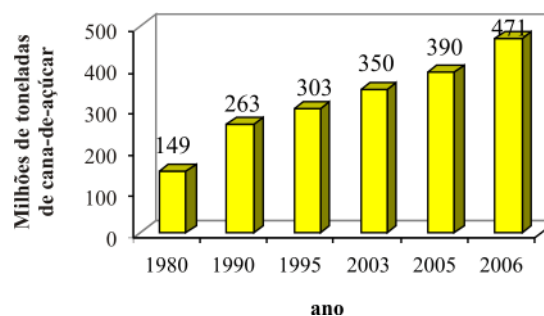
Dessa forma, pode-se dizer que os três principais produtos do setor sucroalcooleiro hoje são açúcar, álcool e energia. Estes produtos têm trazido uma grande riqueza para o País. Mas, com as dimensões e complexidade deste setor, existem muitos problemas de ordens econômica, produtiva, fundiária, ambiental e social a serem tratados. Alguns destes problemas estão evidentes, como exemplo cita-se o grande dilema dos resíduos da colheita, que se queimados causam muitos danos ao meio ambiente, se deixados no solo aumentam o número de pragas e doenças da cana, e se transferidos para a usina e usados junto com o bagaço na geração de energia geram problemas com custo e tecnologia apropriada. Portanto, o aproveitamento dessa biomassa, formada por ponteiros, palhas,

folhas e parte do colmo, é de grande interesse para o setor sucroalcooleiro.

O objetivo deste trabalho é mostrar a importância e utilidade de modelos matemáticos e técnicas de otimização no processo de aproveitamento dos resíduos da cana-de-açúcar para co-geração de energia. Parte dessas técnicas e modelagens são contribuições do Grupo de Modelagem e Otimização de Sistemas da UNESP (Núcleos de Botucatu, São José do Rio Preto, Bauru, Sorocaba e Presidente Prudente)<sup>1</sup>.

## 2 O PERFIL DO SETOR SUCROALCOLEIRO NO BRASIL

No Brasil, a cana-de-açúcar é primariamente produzida para obtenção de álcool e açúcar (IBGE, 2005; CONAB, 2006; FNP, 2006). Conforme mostra a Figura 1, nas últimas décadas, devido a fatores políticos e econômicos e ao surgimento do veículo bicomcombustível, o setor sucroalcooleiro teve uma grande expansão. Dados da CONAB mostram que nos últimos dez anos houve um crescimento de 54,7% na produção de cana-de-açúcar.



Fontes: UNICA, COGEN-SP e IBGE.

**Figura 1** – Produção de cana-de-açúcar no Brasil, em milhões de toneladas.

**Figure 1** – Brazilian sugarcane production in millions of tons.

<sup>1</sup> <[www.ibilce.unesp.br/otimiza](http://www.ibilce.unesp.br/otimiza)>.

O Estado de São Paulo produz 60% de todo o açúcar do Brasil. Por ser um produto muito competitivo no mercado internacional, torna o Estado responsável por 70% das exportações brasileiras. São Paulo gera ainda 61% da produção brasileira de álcool.

O Brasil possui 304 indústrias sucroalcooleiras em atividade, sendo 227 na região centro-sul e 77 na Região Norte-Nordeste, e conta com 30 projetos em fase de implantação. O setor sucroalcooleiro movimenta cerca de R\$ 40 bilhões por ano, com faturamentos diretos e indiretos, o que corresponde a aproximadamente 2,35% do PIB nacional; emprega cerca de 3,6 milhões de brasileiros; e congrega mais de 72.000 agricultores. É um mercado de grande potencial e de muita importância social, pois gera impostos para cofres públicos e milhares de empresas brasileiras são beneficiadas pelos investimentos, compras de equipamentos e insumos e contratação de serviços (UNICA, 2006).

Outra grande importância desse setor é que ele fez do Brasil o principal país do mundo a implantar, em larga escala, um combustível renovável alternativo ao petróleo. O álcool é reconhecido mundialmente pelas suas vantagens ambientais, sociais e econômicas, e os países do Primeiro Mundo estão interessados nas tecnologias brasileiras.

### 3 O PALHIÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar passa por diversos processos no setor sucroalcooleiro. Inicialmente têm-se o preparo do solo, a escolha das variedades a serem plantadas e o processo de cultivo. Quando a cana atinge a maturação ela é colhida. Atualmente a colheita pode ser manual, com cana queimada, ou mecanizada, com cana crua. Depois de colhida, a cana é imediatamente levada para o centro de produção. Na usina ela é pesada, lavada, picada e prensada, liberando caldo, e deste resultam o açúcar, o álcool e outros resíduos que são reaproveitados. Outro produto do processo de moagem é o bagaço, que é todo aproveitado

no sistema de co-geração de energia, que é utilizada no sistema de produção da usina. A energia excedente é vendida às empresas concessionárias de energia elétrica.

Atualmente uma grande preocupação dos órgãos ambientais e governamentais é o resíduo gerado na colheita da cana-de-açúcar, pois no Brasil mais de 80% da cana colhida é cortada à mão, e o corte é precedido de queima para tornar o trabalho mais seguro e rentável. Esta queima libera gases que poluem a atmosfera e pode causar incêndios em zonas rurais e residenciais, danificar redes elétricas e atingir reservas e mananciais. Mas o governo tem se manifestado com rigor, impondo decretos e normas a serem seguidos, na tentativa de sanar os problemas causados pela queima da cana. Estes decretos estabelecem prazos para que os usineiros abandonem esse sistema (RIPOLI; RIPOLI, 2004).

Por outro lado, a proibição da queima no processo produtivo tornará disponível a biomassa residual de colheita, conhecida como palhada ou palhiço (ponteiros, palhas, folhas e frações de colmo). Um hectare de cana gera em média 26,56 toneladas de palhiço (RIPOLI et al., 1998; RIPOLI; RIPOLI, 2004). Sem as queimadas e com o maior acúmulo do palhiço sobre o solo, criam-se condições favoráveis para o aparecimento de parasitas e também para o atraso da brota da cana, comprometendo, assim, a próxima safra (ORLANDO FILHO et al., 1994; ARÉVALO; BERTONCINI, 1999; VASCONCELOS, 2002; MACEDO et al., 2003).

No Estado de São Paulo, 25% da área plantada está sendo colhida por máquinas. A legislação paulista estipulou prazos para que o fogo deixe de ser usado no manejo da cana. Mas a evolução tecnológica é gradativa, exigindo o desenvolvimento de políticas realistas de reciclagem, o reaproveitamento de mão-de-obra e o monitoramento de impactos ambientais relacionados com a erosão e difusão de pragas que acompanham a mecanização (UNICA, 2006).

O destino desse material remanescente no campo tem sido objeto de muitos estudos, conforme será discutido na próxima seção. As vantagens no seu recolhimento, na sua recuperação e no seu aproveitamento têm mobilizado pesquisadores de universidades, gerentes e diretores de usinas.

#### 4 TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO NO PROCESSO DE APROVEITAMENTO DO PALHIÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Existe uma expectativa de que sejam implantadas novas usinas para atender à demanda de açúcar e álcool, o que promoverá outro grande crescimento do setor sucroalcooleiro. Este crescimento resultará em fortes impactos sobre as questões econômicas, produtivas, fundiárias, ambientais e sociais, gerando novos desafios (UNICA, 2006).

Para acompanhar o desenvolvimento acelerado do setor sucroalcooleiro, a gestão das usinas precisa avançar em eficiência, o que requer investimentos em racionalização administrativa nas unidades processadoras, e neste aspecto a modelagem matemática associada às técnicas de otimização constitui uma importante ferramenta para auxílio na resolução de problemas neste setor. A seguir serão discutidos alguns problemas envolvidos no processo de aproveitamento do palhiço da cana-de-açúcar para geração de energia, cujo processo de solução pode ser auxiliado por técnicas de otimização.

Um dos pontos de grande importância na cultura da cana-de-açúcar é a correta escolha das variedades a serem plantadas, mas esta não é tarefa fácil, pois existem muitas variedades, que são modificadas para se adaptarem a diversos tipos de clima e solos, o que resulta em diferenças de qualidade. E estas diferenças podem ser grandes, por exemplo, da ordem de 43 a 68% nos teores de fibra, de 32 a 57% nos de açúcares totais e de até 12% de poder calorífico da biomassa residual de colheita (RIPOLI; RIPOLI, 2004).

Desta forma, o correto manejo dessa cultura começa pela escolha certa das variedades a serem plantadas. Muitos trabalhos mostram que essa seleção pode ser auxiliada por modelos de otimização, visando minimizar a quantidade de resíduo de colheita, maximizar a quantidade de energia a ser gerada pela biomassa residual, minimizar custos no manejo do palhiço, entre outros. As técnicas utilizadas para estes fins estão dentro das seguintes áreas de otimização: Programação Linear, Teoria de Jogos, Programações Inteira, Mista e 0-1, Programação Multiobjetivo, Programação Fuzzy e muitas outras (SARTORI et al., 2001; SARTORI; FLORENTINO, 2002; FLORENTINO; SARTORI, 2003; FLORENTINO et al., 2005).

Para a coleta do palhiço a ser aproveitado na produção de energia, em geral, têm-se as seguintes operações: primeiro este resíduo é enleirado e posteriormente enfardado. Os fardos são movimentados por uma garra carregadora e colocados em caminhões para serem transportados para o centro de processamento. Pelo fato de muitos equipamentos envolvidos serem adaptações de máquinas de outras culturas e por serem necessários diferentes tipos de máquinas neste processo, o sistema de coleta do palhiço apresenta ainda muitos problemas, dentre os quais podem ser citados: o processo tem um custo muito elevado, pois gasta-se muita energia de petróleo em forma de combustível; as máquinas provocam a compactação do solo; é necessária uma logística complicada da frota de caminhões para carregar e descarregar o resíduo; e o palhiço é queimado junto com o bagaço, o que muitas vezes apresenta problemas como o embaraçamento nas esteiras, as quais foram projetadas para transportar o pó do bagaço até as caldeiras, podendo causar atraso nas atividades da usina, esfriamento das caldeiras e perda de matéria-prima (RIPOLI, 2002; PEREA, 2005). Muitos trabalhos foram desenvolvidos utilizando técnicas de otimização para auxiliar na resolução dos problemas com o manejo dessa

biomassa, e alguns se preocupam com a viabilidade econômica no aproveitamento do palhico para produção de energia e com a otimização do balanço de energia deste processo (FLORENTINO, 2005; TOLENTINO et al., 2005; SPADOTTO; FLORENTINO, 2006; LIMA; FLORENTINO, 2006).

Um problema atacado nas indústrias sucroalcooleiras é a compactação dos solos. O uso de máquinas no campo tem relação direta com o aumento da compactação dos solos, prejudicial ao desenvolvimento da cana no plantio e nas rebrotas (PINTO, 2002). O setor de transporte deve escolher o melhor arranjo dos componentes físicos envolvidos nas operações mecanizadas e preocupar-se com a sua operacionalidade do ponto de vista econômico. Para cumprir estas tarefas de forma otimizada, necessita-se do desenvolvimento de métodos, do levantamento das condições locais e do estabelecimento de critérios para quantificar o número de veículos que racionalizem as operações mecanizadas, o que implica o uso de modelos matemáticos para otimizar o sistema de transporte do setor sucroalcooleiro (RIPOLI; PARANHOS, 1987; IANNONI; MORABITO, 2002; PINTO, 2002; PAIVA; MORABITO, 2006).

Os sistemas de co-geração, que permitem produzir simultaneamente energia elétrica e calor útil, configuram a tecnologia mais racional para a utilização de combustíveis. Este é o caso das indústrias sucroalcooleiras, que além de demandarem potência elétrica e térmica, dispõem de combustíveis residuais que se integram de modo favorável ao processo de co-geração. No Brasil, os empreendimentos termelétricos que utilizam biomassa podem ter como fonte diversos combustíveis, entre eles se destacam o bagaço e o palhico, que são fontes importantes no setor sucroalcooleiro.

A transformação da energia térmica disponibilizada pelos combustíveis em energia mecânica é realizada por diferentes equipamentos, cuja construção é baseada em

alguns dos diversos ciclos termodinâmicos. As usinas termoelétricas operam no *Ciclo de Rankine*, trabalho de Correa Neto (2001), modificado para a inclusão de trocadores de calor responsáveis pelo superaquecimento, reaquecimento e pré-aquecimento da água de alimentação da caldeira.

Segundo Samed (2004a), um problema de fundamental importância decorrente da geração termoelétrica é a minimização do custo do combustível utilizado. A geração termoelétrica, visando minimizar os custos de geração, pode ser modelada de forma a tentar explorar criteriosamente os fenômenos e as propriedades intrínsecas que auxiliam a compreensão do problema real. Este problema constitui uma das áreas de maior interesse dos engenheiros e pesquisadores dos sistemas elétricos de potência e denomina-se Despacho Econômico (DE). O DE é definido como sendo um processo de alocação ótima da demanda de energia elétrica entre as unidades geradoras disponíveis, de tal forma que as restrições operacionais sejam satisfeitas e que o custo de geração seja mínimo.

O problema DE, sem considerar o ponto de válvula, é formulado como um problema quadrático, cuja função-objetivo é denominada função custo total de geração e é obtida pela soma dos custos de cada uma das unidades geradoras. O custo de cada unidade geradora é obtido por meio de sua curva característica de entrada-saída. Uma curva de entrada-saída idealizada pode ser aproximada por uma expressão não-linear, convexa e suave. O objetivo do DE é minimizar a função custo total, atendendo à demanda (considerando as perdas) e satisfazendo os limites operacionais. As condições de otimalidade aplicadas a este problema constituem o Critério dos Custos incrementais iguais. A emissão de poluentes também pode ser incluída como uma restrição desse problema. Sua formulação matemática pode ser encontrada em Samed (2004a). Diversos métodos de otimização podem ser aplicados na

resolução de variantes desse problema, entre eles destacam-se: métodos de pontos interiores (BALBO et al., 2005a), métodos relacionados aos algoritmos genéticos (KIM, 2002; SAMED et al. 2004a, b, c, 2005), procedimentos híbridos envolvendo métodos de pontos interiores, Lagrangianos e seus variantes (PINTO; RANGEL, 1998; BALBO et al., 2005a,b; BAPTISTA et al., 2005a,b; CANTAO et al. 2005).

A modelagem matemática e as técnicas de otimização podem contribuir para a otimização do processo de aproveitamento do palhço da cana-de-açúcar para gerar energia, obter um planejamento ótimo da produção na indústria, determinar o melhor ponto de operação do sistema de geração de energia elétrica da usina, e estudos de preservação ambiental.

Com o exposto, pode-se concluir que a utilização de modelos matemáticos e técnicas de otimização pode contribuir para agilizar a determinação de estimativas e tomadas de decisões no setor sucroalcooleiro. Pequenos ganhos percentuais no desempenho das atividades podem resultar em economias substanciais, dependendo da escala de produção.

## 6 AGRADECIMENTOS

O Grupo de Modelagem e Otimização de Sistemas da UNESP, Núcleos de Botucatu, São José do Rio Preto, Bauru, Sorocaba e Presidente Prudente, agradece o constante apoio que vem recebendo dos órgãos financiadores: FAPESP (Procs.: 2001/10393-2, 2004/08993-2, 2006/024776-9, CAPES, CNPq (Procs.: 301384-2, 473001-7, 309964-7, FUNDUNESP e também da PROPe- Pró-Reitoria de Pesquisa da UNESP.

## REFERÊNCIAS

AREVALO, R. A.; BERTONCINI, E. I. Manejo químico de plantas daninhas nos resíduos de colheita de cana crua. **STAB, Açúcar, Álcool Subprodutos**, v. 17, n. 4, p. 36-38, 1999.

BALBO, A. R.; BAPTISTA, E.C.; ARENALES, M. N. An adaptation of the dual-affine interior point method for the surface flatness problem. **European Journal of Operational Research**, v. 61, p. 1-18, 2005a.

BALBO, A. R.; SOUZA, M. A. S.; BAPTISTA, E. C. Aplicação de um método primal-dual de pontos interiores, do tipo previsor-corretor, ao problema de despacho econômico. In: CONGRESSO NACIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: 2005b. p. 1-7.

BAPTISTA, E. C.; BELATI, E. A.; COSTA, G. R. M. Logarithmic barrier-augmented lagrangian function to the optimal power flow problem. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 27, n. 7, p. 528-532, 2005a.

BAPTISTA, E. C.; SOUSA, V. A.; COSTA, G. R. M. A função barreira modificada e o problema de fluxo de potência ótimo. **Tema**, v. 6, n. 1/3, p. 1-10, 2005b.

CANTÃO, L. A. P.; SARTORI, M. M. P.; CANTÃO, R. F. Programação matemática fuzzy aplicada ao problema de minimização de resíduos da colheita de cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 37., 2005, Gramado. **Anais...** Gramado: 2005. p. 2029-2035.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 11 set. 2006.

CORREA NETO, V. **Análise de viabilidade da cogeração de energia elétrica em ciclo combinado com gaseificação de biomassa de cana-de-açúcar e gás natural**. 2001. 174 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2001.

FLORENTINO, H. O. **Programação linear inteira em problemas de aproveitamento da biomassa residual de colheita da cana-de-açúcar**. 2005. 64 f. Tese (Livro Docência) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2005.

FLORENTINO, H. O.; TOLENTINO, G.; SARTORI, M. M. P. Aproveitamento da biomassa residual de colheita da cana-de-açúcar com menor custo. In: CONGRESSO TEMÁTICO DE DINÂMICA, CONTROLE E APLICAÇÕES - DINCON, 4., 2005, Bauru. **Resumos...** Bauru: 2005. p. 5.

- FLORENTINO, H. O.; SARTORI, M. M. P. Game theory in sugarcane crop residue and available energy optimization. **Biomass&Bioenergy**, v. 25, p. 29-34, 2003.
- FNP – FNP Online. Disponível em: <<http://www.fnp.com.br>>. Acesso em: 11 jul. 2006.
- IANNONI, A. P.; MORABITO, R. Análise do sistema logístico de recepção de cana-de-açúcar: um estudo de caso utilizando simulação discreta. **Gestão & Produção**, v. 9, p. 107-128, 2002.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa industrial produção física** - Agroindústria. Rio de Janeiro, 2005. (Comunicação Social de 15 de Fevereiro)
- KIM, J. O. et al. Atavistic genetic algorithm for economic dispatch with valve point effect. **Electric Power Systems Research**, v. 62, p. 201-207, 2002.
- LIMA, A. D.; FLORENTINO, H. O. Modelos matemáticos aplicados à cultura da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, 29., 2006, Campinas. **Resumos...** Campinas: 2006. p. 58.
- MACEDO, I. C. **Geração de energia elétrica através da biomassa no Brasil**: situação atual, oportunidades e desenvolvimento, MCT- CT-Energy – cgee. Disponível em: <[http://ftp.mct.gov.br/Fontes/Fundos/Documentos/CTEnergy/ctenerg\\_estudo003\\_02.pdf](http://ftp.mct.gov.br/Fontes/Fundos/Documentos/CTEnergy/ctenerg_estudo003_02.pdf)>. Acesso em: 15 jul. 2006.
- ORLANDO FILHO, J.; MACEDO N.; TOKESHI, H. Seja doutor do seu canavial. **Informações Agronômicas**, n. 67, p. 17, 1974.
- PAIVA, R.; MORABITO, R. Modelagem matemática de otimização aplicada ao planejamento agregado da produção em usinas de açúcar e álcool: formulação e resultados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL - SBPO, 38., 2006, Goiânia-GO. **Anais...** Goiânia: SBPO, 2006. v. 1. p. 24-34.
- PEREA, L. A. Co-geração de energia na indústria sucroalcooleira. In: SIMPÓSIO DE CADEIAS PRODUTIVAS, 1., 2005. Botucatu. **Anais...** Botucatu: Universidade Estadual de São Paulo, 2005. p. 1-33.
- PINTO, L. A. P.; RANGEL, M. S. N. Algoritmos de pontos interiores para programação inteira. In: CONGRESSO NACIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, 21., 1998, Caxambu. **Resumos...** Caxambu: 1998. p. 307.
- PINTO, R. S. A. **Indicadores de desempenho de frotas empresas agroindustriais canavieiras brasileiras**. Piracicaba: 2002. 110 p.
- RIPOLI, M. L. C. **Mapeamento do palhão enfardado de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) e do seu mapeamento energético**. Piracicaba: 2002. 91 p.
- RIPOLI, T. C. et al. Sugar cane biomass energy in Brazil. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON AGRICULTURAL ENGINEERING 13., 1998, Morocco. **Anais...** Morocco: ICAE. 1998. v.4. p. 51-57.
- RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar**: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: 2004. 302 p.
- RIPOLI, T. C. C.; PARANHOS, S. B. Sistemas de colheitas. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar**: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargil, 1987. v. 2.
- SAMED, M. M. A. et al. Otimização do custo do combustível utilizado em sistemas de geração termoelétrica através de um algoritmo genético híbrido co-evolutivo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 2004, Curitiba. **Anais...** Curitiba: CBEQ, 2004. v. 1. p. 1-8.
- SAMED, M. M. A. et al. Algoritmo genético para otimização multiobjetivo aplicado a estratégia de despacho. In: CONGRESSO TEMÁTICO DE DINÂMICA, CONTROLE E APLICAÇÕES, 4., 2005, Bauru. **Anais...** Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2005. v. 4. p. 1016-1023.
- SAMED, M. M. A. et al. Duas abordagens evolutivas para resolver o despacho econômico considerando o efeito do ponto de válvula. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA – CBA, 2004, Gramado-RS. **Anais...** Gramado: SBA, 2004. v. 1. p. 1-6.
- SAMED, M. M. A. Um algoritmo genético híbrido co-evolutivo para resolver problemas de despacho, 2004, 174 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento de Processos) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.

- SARTORI, M. M. P. et al. Determination of the optimal quantity of crop residues for energy in sugarcane crop management using linear programming in variety selection and planting strategy. *Energy*, n. 26, p. 1031-1040, 2001.
- SARTORI, M. M. P.; FLORENTINO, H. O. Avaliação de modelos de minimização de biomassa residual. *Bragantia*, v. 61, p. 297-303, 2002.
- SPADOTTO, A. F.; FLORENTINO, H. O. Empacotamento do palhico da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, 19., 2006, Campinas. *Resumos...* Campinas: 2006. p. 59.
- TOLENTINO, G.; FLORENTINO, H. O.; SARTORI, M. M. P. Programação multiobjetivo aplicada à problemas de biomassa residual de colheita da cana-de-açúcar. In: SEAGRO, 11., 2005, Londrina. *Anais...* Londrina, 2005. p. 182.
- UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO – ÚNICA. Disponível em: <<http://www.portalunica.com.br>>. Acesso em: 10 set. 2006.
- VASCONCELOS, A. C. M. **Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita**. 2002. 140 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.