



Encontro Internacional sobre Gestão  
Empresarial e Meio Ambiente

## **ESTUDO SOBRE A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE FONTES RENOVÁVEIS NO BRASIL: AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA DA CANA-DE- AÇÚCAR NA COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR SUCROENERGÉTICO.**

**DANIELA APARECIDA CASSULA MONREAL**

Faculdades Oswaldo Cruz  
dcassula@gmail.com

**JULIO CESAR ZANZINI**

Faculdades Oswaldo Cruz  
juliozanzini@gmail.com

**JULIANA DOS SANTOS LINO**

Faculdades Oswaldo Cruz  
jslino@hotmail.com

**TALITA LUZ DA SILVA**

Faculdades Oswaldo Cruz  
ta.litaluz@hotmail.com

# **ESTUDO SOBRE A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE FONTES RENOVÁVEIS NO BRASIL: AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA DA CANA-DE-AÇÚCAR NA COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR SUCROENERGÉTICO.**

## **RESUMO**

O Brasil empregou o modelo de produção de eletricidade baseado na hidroeletricidade, que utiliza grandes reservatórios. Devido a atual instabilidade das condições climáticas e aos aspectos socioambientais envolvidos, torna-se inviável que a matriz elétrica se expanda nos mesmos padrões. A solução é a diversificação da matriz elétrica, através da exploração de outras fontes renováveis que acatem aos modelos de baixa emissão de gases do efeito estufa. Uma alternativa é a produção por meio da queima da biomassa da cana-de-açúcar, que permite a autossuficiência energética em períodos de safra e, ainda gera lucro com a comercialização do excedente de energia elétrica. Os objetivos deste estudo são, levantar dados evolutivos da matriz energética mundial e brasileira, demonstrar a importância da bioenergia, identificar os métodos da geração de bioenergia através do bagaço da cana-de-açúcar, verificar a potência energética da biomassa, avaliar os benefícios econômicos para a indústria do setor sucroalcooleiro, reconhecer os poluentes atmosféricos e os impactos ambientais da produção de bioenergia e avaliar a aplicação dos princípios da química verde e da produção mais limpa no setor sucroalcooleiro. O processo de cogeração apresenta-se, eficiente e sustentável ambientalmente, além de sua inerente complementaridade com o parque hidroelétrico atual.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cana, biomassa, energias renováveis, cogeração.

## **STUDY ON THE RENEWABLE SOURCES OF ENERGY EFFICIENCY IN BRAZIL: EVALUATION OF THE USE OF BIOMASS SUGARCANE IN COGENERATION OF ELECTRICITY IN SUGARCANE INDUSTRY.**

## **ABSTRACT**

Brazil employed the electricity production model based on hydroelectricity, which uses large reservoirs. Due to the current instability of climate conditions and environmental aspects involved, it is impossible that the energy matrix to expand to the same standards. The solution is to diversify the energy matrix, through the exploitation of other renewable sources to abide by the models of low emission of greenhouse gases. An alternative is to produce by burning biomass from sugarcane, which allows energy self-sufficiency in crop periods and also generates income from the sale of the electricity surplus. The objectives of this study are up outcome data of global and Brazilian energy matrix, demonstrate the importance of bioenergy, identify methods of generating bioenergy through the bagasse of sugarcane, check the energy output from biomass, to evaluate the economic benefits for the sugar and alcohol sector industry, recognize the atmospheric pollutants and the environmental impacts of bioenergy production and evaluate the application of the principles of green chemistry and cleaner production in the sugarcane industry. The cogeneration process is presented, environmentally efficient and sustainable, as well as their inherent complementarity with the current hydroelectric park.

**KEYWORDS:** Sugarcane, sustainability, environmental performance.

## INTRODUÇÃO

Um dos parâmetros utilizados para se avaliar o grau de desenvolvimento econômico, social e ambiental de um país é conhecer o seu nível de independência energética, assim como o tipo de energia gerada por este. A eletricidade, recurso indispensável para o crescimento econômico de um país, pode ser obtida através de diversas fontes, sendo estas renováveis ou não. Neste contexto, o Brasil se destaca por ser um país pouco dependente de combustíveis fósseis para a geração de eletricidade. A Biomassa foi uma importante fonte de energia, desde os primórdios da civilização, até meados do século XIX. Até 1850, cerca de 85% de toda energia utilizada pelo homem derivava de madeira, carvão e outros produtos que possuíam origem vegetal. Entretanto, já no século XX a produção de energia foi dominada por combustíveis fósseis, como o carvão mineral, petróleo e gás, que representavam, ainda no início do século XXI, cerca de 80% de toda a energia produzida no mundo.

Tendo a Revolução Industrial no século XIX como um marco para o desenvolvimento industrial e o consequente aumento da produção em larga escala de bens para consumo, acompanhado do exponencial crescimento populacional, que proporcionou intensificação na aquisição de bens de consumo, verificou-se a oportunidade e a necessidade em se ampliar e aprimorar a geração de eletricidade a fim de atender este crescente mercado. Paralelo a esta ampliação da geração de eletricidade, principalmente com a utilização da queima de combustíveis fósseis, observou-se como principal fenômeno as Mudanças Climáticas decorrentes do aumento da emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE). Este contexto contribuiu para que no final do século XX se buscasse novas alternativas para a geração de energia, principalmente a partir de fontes renováveis e que fossem menos impactantes ao meio ambiente.

A matriz eletroenergética brasileira destaca-se pela grande prevalência de fontes renováveis, que a situam entre as mais limpas do mundo. Aproximadamente 85% da eletricidade do Brasil são originadas a partir de fontes renováveis. Uma fonte renovável, para geração de eletricidade, extremamente promissora é a biomassa da cana-de-açúcar, também conhecida como bagaço, resíduo do processo produtivo do setor sucroalcooleiro. No ano de 2010 o país contava com 367 usinas termelétricas movidas a biomassa do bagaço da cana-de-açúcar, através de um método denominado cogeração. A cogeração pela biomassa ocupa o terceiro lugar como fonte de geração de eletricidade no país, ultrapassando o petróleo e outras fontes renováveis de geração de energia elétrica. Com a reformulação do setor elétrico brasileiro, surge na década de 1990 a regulamentação da produção de energia elétrica através dos autoprodutores e produtores independentes, através do Decreto 2.003 de 10 de setembro de 1996 (BRASIL, 1996). Isso possibilitou às usinas do setor sucroalcooleiro a comercializarem o excedente de energia elétrica produzida como uma alternativa para complementar a matriz eletroenergética do país. Outro marco importante para reforçar a cogeração pela biomassa da cana-de-açúcar ocorreu no ano de 2002, com a instituição do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), onde se buscou a diversificação da matriz energética brasileira, principalmente através da utilização de fontes renováveis (BRASIL, 2002).

A atividade de produção de energia, em particular da energia elétrica, tem como principal desafio para o século XXI expandir e diversificar sua matriz e oferta, com o propósito de manter a qualidade de vida e possibilitar o progresso econômico e social, que possui uma demanda contínua. Todavia essa expansão deve ser dada de forma a diminuir ou minimizar impactos ambientais, mas suportando o crescimento econômico. Frente a essa exigência e ao atual panorama mundial referente a questões ambientais, onde as discussões orbitam em pautas como Produção Mais Limpa, Desenvolvimento Sustentável e Química Verde, ou seja, várias metodologias e mecanismos que objetivam, entre outros temas, a

redução na geração de resíduos e a preservação dos recursos naturais, a produção de eletricidade a partir de recursos renováveis derivados de resíduos de um processo produtivo aparece como um cenário importante a ser analisado.

Desta forma, são objetivos deste estudo: levantar dados evolutivos da matriz energética mundial e brasileira; demonstrar a importância da bioenergia no panorama energético brasileiro; identificar os métodos da geração de bioenergia através do bagaço da cana-de-açúcar; verificar a potência energética da biomassa; avaliar os benefícios econômicos para a indústria do setor sucroalcooleiro; reconhecer os poluentes atmosféricos e os impactos ambientais da produção de bioenergia; avaliar a aplicação dos princípios da química verde e da produção mais limpa no setor sucroalcooleiro.

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A energia é um dos parâmetros utilizados para avaliar o grau de desenvolvimento tecnológico, econômico e socioambiental de uma determinada sociedade. Esta é necessária para transformar recursos naturais em bens e serviços que contribuam para o bem estar da população. A partir do final do século XX, a sociedade mundial demonstrou uma crescente preocupação com os impactos causados ao meio ambiente, decorrentes das atividades antrópicas, sendo esta preocupação o que motivou o desenvolvimento e implantação de novas alternativas para a geração de energia, principalmente originadas por fontes renováveis e/ou menos impactantes ao meio ambiente. Neste contexto, o Brasil ocupa lugar de destaque nesse panorama, sendo um dos países menos dependentes de combustíveis fósseis para a geração de energia (SPIRO; STIGLIANI, 2009).

A atividade de produção de energia, em especial da energia elétrica, tem como principal desafio para o século XXI, a busca pelo desenvolvimento sustentável, aliando a expansão da oferta, consumo consciente, preservação ambiental, além de garantir a melhoria da qualidade de vida. Em outras palavras, tem o desafio de reduzir impactos ambientais e ao mesmo tempo, ser capaz de suportar o crescimento econômico, pois proporciona a inclusão social de uma parcela significativa da população, gerando oferta de trabalho e a consequente geração de renda. Considera-se para esta atividade, a necessidade de se diversificar e “limpar” a matriz energética, com iniciativas que abranjam soluções para o aumento da eficiência dos processos e a redução de custos para a implantação de produção de energias renováveis, de forma a torná-las comercialmente viáveis. Embora a expansão do consumo de energia elétrica possa refletir o crescimento econômico e a melhoria da qualidade de vida, deve-se ressaltar que este apresenta aspectos negativos, sendo eles, a possibilidade do esgotamento de recursos utilizados para a produção de energia, impactos ao meio ambiente e a necessidade de elevados investimentos exigidos para a construção de novas usinas e pesquisas de novas fontes energéticas (ANEEL, 2008).

Alves (2011), afirma que durante a Revolução Industrial, a lenha perdeu para o carvão mineral a posição de principal combustível e os países que possuíam uma maior quantidade de reservas de carvão mineral tiveram um maior avanço na sua industrialização. Ainda por este fator, o setor energético de alguns países baseava-se na geração de energia elétrica por meio de termelétricas a carvão. A utilização desta fonte de energia para a indústria e para as termelétricas causam graves impactos socioambientais, principalmente pela emissão de material particulado (MP) e gases poluentes, com destaque para os Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e Enxofre (SO<sub>x</sub>), além do sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S). Para Silva Filho (2003), à medida que ocorreu a intensificação do uso da energia elétrica, a construção e o aperfeiçoamento de sistemas de geração, transmissão e distribuição de eletricidade foram observados. Esse fator foi determinante para o atendimento da crescente demanda. Tal intensificação do uso gerou gigantescos sistemas compostos por usinas de energia elétrica,

linhas de transmissão e redes de distribuição, conectados por subestações de transformação, controlados e operados de forma integrada.

A geração de energia elétrica em um país dependerá do tipo de fonte disponível, com o seu grau de desenvolvimento e com a demanda local de eletricidade. Esta também deverá obedecer às tecnologias disponíveis para a sua geração. Destaque à evolução dos outros tipos de energia como, por exemplo, as energias geotérmicas, a eólica e a obtida pela biomassa, além da energia térmica convencional (obtida pela queima do carvão natural), a hidrelétrica e a nuclear.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética – EPE - do Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2013), em 1980, a produção mundial de energia elétrica foi de 8.018 TWh. Já no ano 2010, essa produção foi de 20.225 TWh. É possível observar que em 30 anos houve um aumento significativo na geração da energia elétrica, onde o estudo destaca o aumento da produção por outras fontes, além do uso do petróleo. O aumento na geração de energia elétrica evidencia-se pelo crescimento da população, que passou de aproximadamente 4 bilhões e 400 milhões de pessoas em 1980, para cerca de 6 bilhões e 900 milhões de pessoas em 2010 (UNITED NATIONS, 2012) e também pelo desenvolvimento tecnológico. Outra questão relevante diz respeito às mudanças ocorridas quanto à origem da eletricidade. Após a Conferência de Estocolmo em 1972, verifica-se uma preocupação com a preservação dos recursos naturais, a prevenção do esgotamento dos recursos não renováveis e a prevenção da poluição (ONU, 1972). Por essa razão, o uso de fontes limpas de energia passa a ser cada vez mais incorporado entre os países.

O início da produção de energia elétrica no Brasil data de 1883, onde foi construída a primeira usina termelétrica no Município de Campos – Rio de Janeiro, sendo o carvão o principal combustível. No mesmo ano foi construída a primeira usina hidrelétrica na cidade de Diamantina – Minas Gerais (ANEEL, 2008 apud ALVES, 2011). Entre os anos de 1880 e 1890, observa-se a instalação de usinas hidrelétricas e termelétricas e a consequente substituição de energia a gás para energia elétrica na iluminação pública do país. A partir de 1901 observa-se um importante salto na geração de energia hidrelétrica, sendo esta responsável por aproximadamente 80% da energia elétrica fornecida (ALVES, 2011). No início do Século XX, o país contava com 13 usinas hidrelétricas e 5 usinas termelétricas. As termelétricas concentravam-se nas regiões onde não existiam recursos hídricos disponíveis para a implantação de hidrelétricas (ALMEIDA, 2008). Na década de 1930, o Brasil encontrava-se em franco desenvolvimento industrial e o setor elétrico encontrava-se sob o domínio de empresas privadas que possuíam e praticavam a liberdade tarifária, o que ocasionou no período uma reação dos empresários brasileiros (MELLO, 1999, apud ALMEIDA, 2008). Desta forma, com a aprovação do Código das Águas em 1934, somente o governo, e não mais o proprietário do solo, passa a ser detentor dos recursos hídricos e minerais (LEITE, 2007 apud ALVES 2011). Segundo Lorenzo (2006), apud Almeida (2008), o Código das Águas trouxe mudanças importantes para a legislação do setor para a exploração dos serviços de energia elétrica e para a determinação das tarifas de energia, pois reforçava a atuação do Estado sobre o setor.

Para Alves (2011), observou-se entre os anos de 1970 e 1980 um intenso aumento do consumo de energia elétrica, no qual as taxas de crescimento foram em torno de 10% ao ano. Ocorreu neste período a implementação de várias obras. Ainda durante a década de 1990, grandes empreendimentos para a geração de energia elétrica foram concluídos, porém, mesmo com esta ampliação do parque gerador de energia não foi possível evitar a crise de abastecimento de energia elétrica no ano de 2001 e surge no período o Plano de Racionalização de Energia. Nesta época, as ações do governo para conter a crise consistiram em adotar medidas que diminuíssem o consumo de energia e que aumentassem a oferta. O aumento da oferta ocorreu graças à adoção de medidas que aumentaram a conclusão de

termelétricas e a utilização do excedente de energia de cogeneradores, além de agilizar a construção de novas linhas de transmissão (ALMEIDA, 2008).

Como forma de se complementar a oferta de energia elétrica no Brasil, há alguns incentivos por parte do governo para a geração através da biomassa (SILVA, 2012). No ano de 2010, de acordo com o Banco de Informações de Geração - BIG (BRASIL, 2013) o país contava com 405 usinas termelétricas movidas à biomassa, responsável por uma potência instalada de 10.273,15 MW de energia. Destas usinas, 367 usavam o bagaço da cana-de-açúcar como fonte de matéria-prima para a geração elétrica, contribuindo com uma potência instalada de 8.532,6 MW de energia, representando 24,8% da capacidade instalada das termelétricas do país. Ressalta-se que há também as termelétricas que são abastecidas pelo licor negro (resíduo da celulose), madeira, biogás e casca de arroz (SILVA, 2012). Já no ano de 2014, 502 usinas termelétricas são movidas a biomassa. Destas, 386 utilizam o bagaço da cana-de-açúcar para a cogeração de energia elétrica, contribuindo para uma potência instalada de aproximadamente 9.839 MW de eletricidade, sendo esta cerca de 99,33% da biomassa utilizada para a produção de energia elétrica (BRASIL, 2014). Conforme o Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS (2013), as termelétricas a biomassa, principalmente as que utilizam o bagaço da cana-de-açúcar surgem como uma alternativa complementar no período de baixos índices de chuva, assumindo assim, um papel importante da matriz eletroenergética brasileira.

Ainda, conforme a ONS (2013), as fontes de biomassa, embora não estejam disponíveis durante todo o ano, estão sujeitas às safras agrícolas, onde as usinas do setor sucroalcooleiro apresentam disponibilidade de combustível em cerca de sete meses do ano, onde, na Região Sudeste e Centro-oeste corresponde ao período de estiagem e as barragens das hidrelétricas apresentam níveis mais baixos. Segundo Silva (2012), a participação da biomassa na matriz energética nacional torna-se importante não somente pela diversificação entre as fontes, mas também por que a colheita da cana-de-açúcar (período de safra) ocorre entre os meses de março a novembro, período de estiagem nos Estados da Região Centro-Sul do país, regiões onde se concentram a maioria das hidrelétricas. Desta forma, a energia elétrica fornecida pela cogeração contribui para a manutenção do nível dos reservatórios e complementar a oferta de eletricidade no Sistema Interligado Nacional SIN.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2004) entende-se por aspecto ambiental qualquer “elemento das atividades ou produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente”. Essa interação pode gerar um ou mais impactos ambientais, que, segundo a ABNT (2004) o impacto ambiental é definido como “qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização”. O ciclo produtivo da energia elétrica pela cogeração do setor sucroalcooleiro envolve várias etapas distintas, iniciada com o plantio e colheita da cana-de-açúcar, que é transportada até a usina e processada para a geração dos produtos (SANT ANNA, 2013). Este ciclo produtivo possui aspectos ambientais característicos. De acordo com Santos (2012), no que tange aos aspectos ambientais, a cogeração de eletricidade pela biomassa da cana de açúcar no setor sucroalcooleiro tem como vantagens em comparação a outras fontes: menor emissão de gases do efeito estufa, preservação dos recursos naturais e menores impactos na implantação do sistema e no transporte de energia. A baixa emissão de gases do efeito estufa deve-se ao fato de não liberar na atmosfera compostos contendo enxofre, além da baixa formação de óxidos nitrosos. Além disso, o CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) gerado pela termelétrica através da queima do bagaço é absorvido pela lavoura de cana-de-açúcar, durante o processo de fotossíntese.

## **METODOLOGIA**

Para a realização deste trabalho, optou-se pelo método de estudo de caso. Os dados foram coletados em visita técnica em uma Usina de Açúcar, Etanol e Bioenergia, localizada no Município de Pirassununga - Estado de São Paulo, ocorrida em 09/10/2014. Para a coleta de dados, elaborou-se um roteiro, contendo questionamentos sobre o processo de cogeração de energia através do bagaço e palha da cana-de-açúcar.

## **APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

O sistema de cogeração foi adotado há muito tempo pela empresa, porém a produção para a comercialização é recente, com início há cinco anos. A inserção de um novo produto para comercialização fez com que houvesse a aquisição de novos equipamentos, sendo estes mais eficientes que o sistema utilizado anteriormente.

O processo de cogeração depende de todas as etapas do ciclo produtivo de açúcar e etanol. A biomassa consiste no resíduo sólido da produção de açúcar e etanol (bagaço da cana-de-açúcar) e de parte da palha. A fase agrícola é a primeira etapa do processo. Após passar pela fase de plantio e desenvolvimento da planta, o processo produtivo sucroalcooleiro chega à etapa da colheita da cana-de-açúcar, que pode ser realizada de forma manual ou mecanizada, através de maquinário específico denominado colheitadeira. A etapa agrícola interfere na geração dos produtos da usina sucroalcooleira, onde o tipo de colheita adotada é um ponto determinante. Segundo Fernandes et al (2013), a forma como a cana-de-açúcar é colhida traz interferências para a qualidade da matéria-prima, onde a colheita mecanizada possibilita um maior aproveitamento da planta para fins energéticos, além de garantir uma melhoria da matéria-prima para a indústria. Isso porque, de acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento - Conab (2011), a colheita mecanizada possibilita um maior recolhimento de resíduos, em especial, da palha, para a transformação em combustíveis nas caldeiras das unidades produtoras. Isso se deve ao fato de que a palha resultante da colheita, além de ser utilizada em conjunto com o bagaço gerado após a moagem para a produção de eletricidade, tem o potencial para a produção do Etanol Celulósico ou de Segunda Geração.

O bagaço saído das moendas é direcionado para uma esteira principal, movida por um sistema de pistões, e é levado para duas caldeiras. Todo este processo é automatizado e monitorado. Parte do bagaço gerado é direcionada automaticamente para as caldeiras.

O bagaço é misturado com a palha, no qual, 25% da palha gerada é utilizada para a cogeração de energia. Este procedimento segue as orientações do fabricante dos equipamentos da cogeração. A palha, que possui folhas longas, é previamente tratada, passando por um triturador. Tal procedimento viabiliza a preservação do equipamento, pois antes de entrar nas caldeiras, tanto o bagaço quanto a palha são puxadas por um sistema de seis ou oito rolos. Caso as fibras da palha não estejam trituradas, há o risco de estas danificarem o equipamento.

As caldeiras do sistema de cogeração operam a uma temperatura de 520° C, onde cada uma possui uma capacidade de gerar 250 ton/h de vapor e 67 kgf/cm<sup>2</sup> de pressão. Nesta etapa do processo, a queima do bagaço é completa. O resíduo gerado neste processo consiste em impurezas presentes no bagaço, tais como areia e pedras, ou o bagaço com uma quantidade maior de umidade que não foi queimado completamente. As impurezas geradas pela queima são remetidas a um operador. Para a limpeza deste equipamento há o fornecimento de água, e esta mistura é drenada do interior das caldeiras. Estes resíduos sólidos, juntamente com outros resíduos orgânicos da usina são encaminhados para uma central de compostagem.

A utilização da palha juntamente com o bagaço da cana-de-açúcar traz benefícios para a cogeração, uma vez que para cada tonelada de cana-de-açúcar, é produzido em média 204 kg de palha e seu poder calorífico inferior (PCI) é quase o dobro (1,7) do PCI do bagaço

(TUDESCHINI, 2012). Através de estudo realizado por Almeida (2009), a queima da palha da cana-de-açúcar unida ao bagaço aumenta a produção do vapor em 70%, aumentando consequentemente a geração de energia elétrica.

Parte do vapor gerado pelas caldeiras é direcionado para os processos industriais que utilizam energia mecânica e a outra parte é encaminhado para as turbinas que geram a energia elétrica. O vapor que movimenta as turbinas gera energia, que por sua vez, é enviada para geradores para a produção de eletricidade. Como sistema de tratamento das emissões da caldeira, a usina utiliza o lavador de gases. Anualmente, a usina é monitorada por meio de visitas da CETESB, que realiza a medição de poluentes do sistema.

O vapor produzido pelas caldeiras passa por um sistema de tubos e é distribuído para três turbinas, sendo que uma delas opera em um sistema de condensação, que gera 22 MWh de energia utilizando 80 toneladas de vapor. As demais, que operam por sistema de contrapressão necessitam de 154 toneladas de vapor, gerando cada uma delas um total de 25 MWh de energia elétrica. Desta forma, a usina tem condições de gerar 72 MWh de energia, dos quais aproximadamente 20 MWh destina-se para utilização da usina e o restante (cerca de 50 MWh) é comercializado para a rede elétrica a uma potência de 138 mil volts. Esta comercialização ocorre por meio de contratos do Governo Federal, através da ANEEL. Toda a energia enviada para a rede da concessionária local requer um contrato de locação da rede elétrica, onde a usina paga pela utilização desta.

Os sistemas com geradores a contrapressão são os mais utilizados na indústria sucroalcooleira (DANTAS, 2010). Em contrapartida, quando se considera somente a eficiência do processo, o gerador em condensação é mais eficiente, pois a produtividade média do sistema aumenta (SOUZA; AZEVEDO, 2006). Os sistemas de cogeração que possuem turbinas a vapor de contrapressão e turbinas de condensação são favoráveis às usinas, pois podem alcançar diferentes níveis de pressão, o que pode estar unido à necessidade de estabilizar o fornecimento da energia elétrica às concessionárias. Essa combinação também permite uma maior flexibilidade às entregas de energia elétrica e calor para o processo (DANTAS, 2010). Em usinas que utilizam o ciclo a vapor com turbinas de condensação observa-se um aumento na eficiência global da geração de energia, onde este sistema possibilita uma maior obtenção em volume de energia elétrica. Cabe ressaltar que sua instalação exige investimentos altos (BRASIL, 2008).

O potencial de geração de energia elétrica está relacionado diretamente à tecnologia empregada, para que se tenha um processo mais assertivo e com viabilidade econômica e ambiental eficientes (SOUZA; AZEVEDO, 2006). Vale ressaltar que as caldeiras de alta pressão são mais eficientes que as de baixa e média pressão, já que possuem uma redução significativa nas emissões atmosféricas (ARIEDI JUNIOR; MIRANDA, 2013).

De acordo com Leme (2005), as emissões decorrentes da queima do bagaço em uma caldeira são estimadas em 6,75 kgCO<sub>2</sub>eq/tc. Comparando estes dados com as emissões provenientes da queima de óleo combustível, verifica-se uma redução de 130,12 kg CO<sub>2</sub>eq/tc quando ocorre a utilização do bagaço da cana-de-açúcar. Quando no sistema é observada a geração de eletricidade excedente com a utilização de equipamentos mais eficientes, as emissões de GEE com a queima do bagaço há um balanço positivo, uma vez que com uma quantidade menor de bagaço queimado ocorre uma maior geração de eletricidade. Para Miranda (2012), a participação do uso de energias renováveis na matriz de energia elétrica brasileira, como por exemplo, a utilização da biomassa, faz com que o país assumira uma posição favorável em relação à média mundial no que diz respeito às emissões de GEE. Estima-se que na safra 2013/2014 evitou-se a liberação de aproximadamente 4 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Sem a bioeletricidade, ao se comparar o total de emissões do ano de 2012, no ano de 2013 esta seria cerca de 13% superior (UNICA, 2014).

Para o atendimento das exigências do mercado europeu, a obtenção de algumas certificações é necessária para tornar os produtos do setor sucroalcooleiro mais competitivos. Desta forma, surge a certificação BONSUCRO, que atesta a boa conduta da cadeia canavieira, no qual são observados o consumo de energia e água, a emissão de GEE e outros fatores que comprovem a sustentabilidade do combustível e de todos os produtos produzidos. (FERRACIOLI, 2013). Trata-se de uma organização global e sem fins lucrativos, dedicada a reduzir os impactos ambientais e sociais da produção de cana-de-açúcar, reconhecendo também a sua viabilidade econômica (BONSUCRO, 2013). Uma vez que a cogeração de energia reduz as emissões de GEE, de acordo com Bonsucro (2011), a comercialização do excedente da energia gerada, principalmente em turbinas de condensação, gera um crédito na obtenção da certificação.

O setor sucroenergético e o governo do Estado de São Paulo assinaram o Protocolo Agroambiental, que antecipa os prazos legais para o fim da queima da palha da cana-de-açúcar até o ano de 2017. Esse avanço e o uso de palha de cana-de-açúcar na produção de bioeletricidade contribuirão para a redução de 62 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, somente no Estado de São Paulo. Quando comparada a outras culturas do campo, a cana-de-açúcar se sobressai. Após a colheita, a palha que permanece no solo, oferece proteção natural contra a erosão e existência de ervas daninhas, reduzindo consideravelmente o uso de defensivos agrícolas. Paralelo ao etanol, que representa uma alternativa ao petróleo, a bioeletricidade cria uma opção que melhor complementa nosso sistema hidrelétrico. O Brasil possui uma matriz elétrica limpa, essencialmente mantida pelo potencial de energia gerado pelos rios. A complementariedade da Bioeletricidade sucroenergética à energia hidrelétrica gera uma economia de 4% dos reservatórios para cada 1000MW médios de bioeletricidade no período de estiagem, compreendido entre os meses de abril a novembro (UNICA, 2011).

## CONCLUSÕES

O panorama energético atual em níveis mundial e nacional demonstra um crescimento tanto na capacidade instalada, quanto na geração. Para o atendimento desta demanda, há a necessidade em se buscar novas alternativas para a atual matriz eletroenergética, como a utilização de energias de fontes renováveis, seja esta pelo aumento da demanda, pela questão das alterações climáticas ocasionadas pela geração de GEE ou pela instabilidade da matriz hidrelétrica atual. Com isso, percebe-se que a biomassa proveniente da cana-de-açúcar, em especial o bagaço, destaca-se na matriz de cogeração elétrica, pela sua maior disponibilidade em relação a outras fontes de biomassa e pela a crescente expansão do setor sucroalcooleiro no país.

A bioeletricidade sucroenergética apresenta vantagens extremamente atrativas para matriz elétrica brasileira, uma vez que a intrínseca complementariedade que a bioeletricidade oferece ao parque hidroelétrico é outro tema de enorme relevância, já que a expansão da geração hidrelétrica vem se tornando cada vez mais limitada. Conclui-se, portanto, que a expansão da capacidade de geração de bioeletricidade ocasionaria grandes ganhos em termos de aumentar a segurança energética da matriz elétrica brasileira e melhora os níveis de diversificação da mesma.

Analisando o caráter ambientalmente sustentável, observa-se que a incorporação de resíduos do processo sucroalcooleiro (o bagaço e a palha) para a geração de energia elétrica diminuem expressivamente o volume de resíduos, atendendo, desta forma, aos princípios da Química Verde, principalmente no que diz respeito ao uso de fontes de matérias-primas renováveis e a busca pela eficiência energética. Já no que se refere a P+L, a adoção de sistemas com alta eficiência para a cogeração, permitem que os resíduos dos processos, em especial a biomassa, adquiram o papel de matéria-prima para um novo produto do processo

produtivo, tornando assim a usina autossuficiente energeticamente. Percebe-se ainda que o setor atende os requisitos legais da Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, no que diz respeito ao aproveitamento energético dos resíduos sólidos como uma destinação final ambientalmente adequada.

Na questão relativa às emissões atmosféricas produzidas no processo de queima da biomassa da cana-de-açúcar para a geração de vapor, evidenciou-se que o tratamento das mesmas é realizado através de lavador de gases existentes nas caldeiras, contribuindo para a não liberação de material particulado na atmosfera. No tocante ao CO<sub>2</sub> emitido, percebe-se um balanço positivo, onde o gás gerado é consumido pela cana-de-açúcar através do sequestro para a realização da fotossíntese.

No que se refere aos aspectos ambientais, a cogeração elétrica traz para o setor, impactos ambientais positivos, uma vez que a energia (mecânica e elétrica) utilizada na indústria é proveniente da própria usina e a mesma comercializa o excedente, preservando assim os recursos hídricos, além de que as emissões de CO<sub>2</sub> provenientes da queima da biomassa são absorvidas pela fotossíntese dos próprios canaviais. Outro fator refere-se à geração de resíduos, que é diminuída em usinas que possuem sistema de cogeração. Desta forma, previne-se a contaminação do solo e dos recursos hídricos. Deve-se ressaltar que para a realização deste trabalho levou-se em consideração toda a cadeia produtiva (agrícola e industrial) da cogeração elétrica e por esta razão, outros aspectos ambientais foram identificados, porém, para uma melhor análise dos seus impactos, faz-se necessária a realização de um estudo mais aprofundado para o levantamento de aspectos e impactos ambientais.

## REFERÊNCIAS

1. ALMEIDA, J. A. J. **P&D no setor elétrico brasileiro: um estudo de caso na Companhia Hidro Elétrica do São Francisco**. 2008, 99 p. Tese (Mestrado em Economia) - Universidade Federal do Pernambuco, Recife. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/biblioteca/trabalhos/trabalhos/dissertacao\\_Jose\\_Alvaro.pdf](http://www.aneel.gov.br/biblioteca/trabalhos/trabalhos/dissertacao_Jose_Alvaro.pdf)>. Acesso em 24/08/2014.
2. ALMEIDA, M. **Utilização do palhiço da cana-de-açúcar para a geração de energia elétrica na indústria sucroalcooleira**. 2009. Disponível em: <[http://www.piracicabaengenharia.com.br/artigos\\_full.asp?nID=355](http://www.piracicabaengenharia.com.br/artigos_full.asp?nID=355)>. Acesso em 26/10/2014.
3. ALVES, M. **Estudo de sistemas de cogeração em usinas de açúcar e álcool, com utilização do bagaço e palha da cana**. 2011, 134 p. Tese (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000807858>>. Acesso em: 12/08/2014.
4. ARIEDI JUNIOR, V.R.; MIRANDA, J.R. Combustão do bagaço da cana-de-açúcar, autossuficiência energética e carbono neutro. In: WORKSHOP AGROENERGIA, 7. 2013. Ribeirão Preto. **Anais**. Ribeirão Preto: 2013. p. 1-8. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/93215/1/ResumoAgroenergia-2013-003.pdf>> Acesso em 16/08/2014.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 14001: Sistemas da Gestão Ambiental – Requisitos com orientação para uso**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

6. BONSUCRO. **Um guia para bonsucro.** 2013. Disponível em: < [http://bonsucro.com/site/wp-content/uploads/2013/02/PT\\_A-Guide-to-Bonsucro-FINAL\\_DEC2013.pdf](http://bonsucro.com/site/wp-content/uploads/2013/02/PT_A-Guide-to-Bonsucro-FINAL_DEC2013.pdf)>. Acesso em 09/11/2014.
7. BONSUCRO. **Guia de Auditoria:** Padrão de produção incluindo Bonsucro EU, 2011. Disponível em: < <http://bonsucro.com/site/wp-content/uploads/2013/02/Guia-de-Auditoria-para-o-Padr%C3%A3o-de-Produ%C3%A7%C3%A3o-Vers%C3%A3o-em-Portugues.pdf>>. Acesso em 09/11/2014.
8. BRASIL. Lei nº 10.438 de 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, nº 9.648, de 27 de maio de 1998, nº 3.890-A, de 25 de abril de 1961, nº 5.655, de 20 de maio de 1971, nº 5.899, de 5 de julho de 1973, nº 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/2002/110438.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/110438.htm)>. Acesso em 04/11/2014.
9. BRASIL. Lei nº 9.427 de 26 de dezembro de 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19427cons.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19427cons.htm)>. Acesso em 04/11/2014.
10. BRASIL. Ministério de Minas e Energia - MME. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil.** 3 ed. Brasília: ANEEL, 2008. Disponível em: < [http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas\\_par2\\_cap4.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par2_cap4.pdf)>. Acesso em 25/10/2014.
11. BRASIL. Ministério de Minas e Energia - MME. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2013.** Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: < [http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/20130909\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/20130909_1.pdf)>. Acesso em 31/08/2014.
12. BRASIL. Ministério de Minas e Energia - MME. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Banco de Informações de Geração – BIG. **Informações Gerenciais.** 2013. Disponível em: < [http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Z\\_IG\\_Mar\\_2013.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Z_IG_Mar_2013.pdf)>. Acesso em 16/11/2014.
13. BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa - MME de Pesquisa Energética – EPE. **Balço Energético Nacional 2014** – ano base 2013. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2014\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2014_Web.pdf)>. Acesso em 16/08/2014.
14. BRASIL. Ministério de Minas e Energia - MME. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil.** 3 ed. Brasília: ANEEL, 2008. Disponível em: < [http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas\\_par2\\_cap4.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par2_cap4.pdf)>. Acesso em 25/10/2014.
15. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **A Geração termoeétrica com a queima do bagaço da cana-de-açúcar no Brasil:** análise do desempenho da safra 2009-2010. 2011. Disponível em: < [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11\\_05\\_05\\_15\\_45\\_40\\_geracao\\_termo\\_baixa\\_res..pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_05_05_15_45_40_geracao_termo_baixa_res..pdf)>. Acesso em 12/08/2014.

16. DANTAS, D. N. **Uso da biomassa da cana-de-açúcar para a geração de energia elétrica:** análise energética, exergética e ambiental de sistemas de cogeração em sucroalcooleiras do interior paulista. 2010, 131 p. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-20042010-082319/pt-br.php>>. Acesso em 12/08/2014.
17. FERNANDES, A. V. B.; DÓREA, J. A. O.; AMORIN, J. R. R.; PEREIRA, S. M. B.; LEITE, M. S.; ARAUJO, P. J. P. Aplicação de programação para redução de emissão de CO<sub>2</sub> pela queima de biomassa: cultura da cana-de-açúcar. **Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnologia**, v.1, n. 16, p. 79-95, 2013. Disponível em: < <https://periodicos.set.edu.br/index.php/cadernoexatas/article/view/526>>. Acesso em 09/11/2014.
18. FERRACIOLI, K. G. **O papel das certificações ambientais no setor sucroalcooleiro do Estado de São Paulo**, 2013, 104 p. Tese (Mestre em Ciências) – Universidade Paulo, Piracicaba. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-16122013-164810/pt-br.php>>. Acesso em 16/08/2014.
19. LEME, R. M. **Estimativa das emissões de poluentes atmosféricos e uso da água na produção de eletricidade com biomassa da cana-de-açúcar**. 2005, 160 p. Tese (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Disponível em: < <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000380195>>. Acesso em 09/11/2014.
20. MIRANDA, M. M. **Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil:** implicações da aplicação da Avaliação de Ciclo de Vida. 2012, 164 p. Tese (Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em: < <http://goo.gl/PXjplW>>. Acesso em 09/11/2014.
21. OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – ONS. **Plano da operação energética 2013/2017** – PEN 2013, v. 1, 2013. Disponível em: < [http://www.ons.org.br/download/avaliacao\\_condicao\\_operacao\\_energetica/PEN%202013%20-%20Vol%201%20-%20Condi%20C3%A7%C3%B5es%20de%20Atendimento.pdf](http://www.ons.org.br/download/avaliacao_condicao_operacao_energetica/PEN%202013%20-%20Vol%201%20-%20Condi%20C3%A7%C3%B5es%20de%20Atendimento.pdf)>. Acesso em 13/11/2014.
22. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **Declaração sobre o ambiente humano**. Estocolmo, 1972. Disponível em: <<http://www.ufpa.br/npadc/gpeea/DocsEA/DeclaraAmbienteHumano.pdf>>. Acesso em 08/09/2014.
23. SANT ANNA, R. F. **Análise diagnóstica da cadeia produtiva de bioeletricidade a partir da biomassa da cana-de-açúcar**. 2013, 158 p. Tese (Mestrado em Agronegócio) – Universidade de Brasília – Brasília. Disponível em: < [http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/13354/1/2013\\_RafaelLavradorSantAnna.pdf](http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/13354/1/2013_RafaelLavradorSantAnna.pdf)>. Acesso em 12/08/2014.
24. SANTOS, F. A. **Análise da aplicação da biomassa da cana como fonte de energia elétrica:** usina de açúcar, etanol e eletricidade. 2012, 127 p. Tese (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: < [www.teses.usp.br/.../DissertacaoFernandoAlves.pdf](http://www.teses.usp.br/.../DissertacaoFernandoAlves.pdf)>. Acesso em 12/08/2014.
25. SILVA, R. I. **Avaliação de fontes alternativas para a geração de energia elétrica a partir da biomassa de palha da cana:** uma abordagem por opções reais. 2012. 77p. Tese (Mestrado em Administração de Empresas) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de

- Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: < [http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca\\_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=20244@1](http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=20244@1)>. Acesso em 16/08/2014.
26. SOUZA, Z. J.; AZEVEDO, P. F. Geração de energia elétrica excedente no setor sucroalcooleiro: um estudo a partir das usinas paulistas. **RER**, n. 02, v. 44, p. 179-199, 2006. Disponível: < <http://www.scielo.br/pdf/resr/v44n2/a02v44n2.pdf>> Acesso em 09/11/2014.
  27. SPIRO, T. G.; STIGLIANI, W. M. **Química Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Person Prentice Hall, 2009.
  28. TUDESCHINI, L. G. **A bioeletricidade sucroenergética na diversificação da matriz energética brasileira**: potenciais, barreiras e perspectivas, 2009, 69 p. Monografia (Bacharel em Ciências Econômicas) – Universidade de São Paulo, Piracicaba. Disponível em: < [www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=9851879](http://www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=9851879)>. Acesso em 09/11/2014.
  29. UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA. **Bioeletricidade da cana em São Paulo poupa 4% da água nos reservatórios no Sudeste/Centro-oeste**. 2014 b. Disponível em: < <http://www.unica.com.br/noticia/1762967392036840550/bioeletricidade-da-cana-em-sao-paulo-poupa-4-por-cento-da-agua-nos-reservatorios-no-sudeste-por-cento2Fcentro-oeste/>>. Acesso em 09/11/2014.
  30. UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA. **Bioeletricidade: A energia verde e inteligente do Brasil**, 2011. Disponível em: <[http://bioeletricidade.com.br/cartilha\\_bioeletricidade.pdf](http://bioeletricidade.com.br/cartilha_bioeletricidade.pdf)> Acesso em; 09/11/2014.
  31. UNITED NATIONS - UN. **World Population Prospects: The 2012 Revision**. Disponível em: < [http://esa.un.org/wpp/unpp/panel\\_population.htm](http://esa.un.org/wpp/unpp/panel_population.htm)>. Acesso em 08/09/2014.