1 Introdução

As opções de geração de energia no Brasil de forma sustentável e a custos competitivos estão fortemente relacionadas às fontes de energia alternativa. Apesar do suprimento da demanda interna de energia no Brasil ser realizado eminentemente por geração hidrelétrica (74% do total), esta possui restrições quanto ao elevado custo de capital para implementação das usinas e grande dependência do nível dos reservatórios. Tendo em vista estas restrições, somadas aos desafios para atendimento às previsões de crescimento de demanda para os próximos 10 anos, as fontes de energia alternativa têm sido observadas pelo próprio governo brasileiro como opções economicamente viáveis e de geração ambientalmente sustentável.

Em 2001, o governo brasileiro foi forçado a impor o racionamento de energia elétrica em todo o país, em decorrência de seguidos anos de falta de investimentos na capacidade de geração e da escassez de chuvas que deixou o nível dos reservatórios abaixo da média histórica. Esta situação gerou uma profunda reestruturação do setor elétrico, a qual entre outras melhorias levou à criação do Ambiente de Contratação Livre (ACL), que permitiu aos geradores, distribuidores e empresas com consumo significativo de energia, negociar livremente contratos bilaterais (CCEE, 2011).

Sob as novas regras criadas, e a fim de garantir um fornecimento constante de energia durante condições adversas de chuva, foram construídas novas plantas térmicas a gás natural, mas que se mostraram ineficientes devido ao alto custo do despacho térmico (PIRES; GIAMBIAGI; SALES, 2002). Paralelamente, o aumento das pressões ambientais e a perspectiva de diminuição das reservas de combustíveis fósseis criaram um crescente interesse por fontes alternativas de energia, que deverão assumir um importante papel na geração futura de energia (WWEA, 2011).

O sucesso dos automóveis *flex fuel* no Brasil, que utilizam gasolina, etanol ou ambos os combustíveis misturados, nos últimos dez anos tem promovido o

crescimento da indústria sucroalcooleira e contribuído para o aumento da demanda por etanol. A cana de açúcar é uma fonte muito eficiente para a produção de etanol, através da fermentação e destilação do caldo da cana, resultante do processo de esmagamento. Este processo também gera grandes quantidades de resíduos como o bagaço, que é usado em sistemas combinados de geração de energia térmica e elétrica (CHP) nas usinas de cana de açúcar.

As plantas mais modernas de etanol têm adotado unidades de cogeração de alta pressão que utilizam o bagaço da cana e permitem a geração de eletricidade excedente e subsequente venda de energia para o sistema. Essa dinâmica normalmente ocorre no período da safra da cana, em que a geração de energia pela biomassa coincide com o período de seca hidrológica no Sudeste, quando os reservatórios estão em seu nível mais baixo. A energia gerada durante este período através da biomassa da cana, pode contribuir para preservar a capacidade de geração hidrelétrica, funcionando como um fator de segurança para o Sistema Interligado Nacional (STREET, BARROSO, FLACH, PEREIRA, GRANVILLE; ANEEL, 2009, 2011a)

Além do etanol do bagaço, a cana de açúcar também fornece pontas e folhas (palha) que representam cerca de 30% do total de energia disponível na cana (HASSUANI, LEAL, MACEDO; SEABRA; MACEDO, 2005, 2011). Este percentual representa uma quantidade significativa de energia que atualmente é pouco aproveitada. Historicamente, a palha é queimada no campo antes da colheita para facilitar o processo manual de extração da cana. No entanto, à medida que a colheita vem se tornando mecanizada, a palha pode ser separada do resto da cana e parcialmente deixada no campo, proporcionando a cobertura e adubação para a próxima safra. De forma complementar, o recolhimento de parte da palha do solo tem grande potencial energético e pode assumir a posição de mais um insumo para a geração de energia das usinas que já operam com a cogeração do bagaço. (SEABRA; TAO; CHUM; MACEDO, 2010).

Nesta dissertação, foi analisado o caso de uma usina de cana de açúcar real no Brasil, que já realiza a cogeração pelo bagaço da cana. O bagaço é utilizado como combustível para os processos de indústria e como matéria-prima para a unidade de cogeração, cuja energia excedente é vendida no Ambiente de Contratação Regulada (ACR), sob contratos de longo prazo a um preço fixo. A empresa tem a opção americana de investir no recolhimento da palha deixada no

campo, a fim de gerar quantidades adicionais de bioeletricidade a ser vendida no Ambiente de Contratação Livre (ACL), pelo preço de energia no mercado *spot*. Uma vez que a empresa investe no recolhimento e processamento da palha, também tem a opção europeia de investir em equipamentos de briquetagem, permitindo o *switch* (alternância) entre a exportação de energia ou a venda de briquetes no mercado. Foi assumido que as receitas da venda de energia estão em função dos preços futuros de energia, que são modelados como um processo estocástico geométrico de reversão à média (MRM).

Projetos de agronegócios, como os de cogeração em usinas de cana de açúcar, geralmente apresentam muitas incertezas e flexibilidades embutidas, as quais requerem o uso de métodos de avaliação adequados para determinar o valor dos projetos e as decisões ótimas envolvidas. A avaliação pelo tradicional fluxo de caixa descontado (FCD) apresenta limitações, uma vez que porções significativas do valor do projeto são capturadas de forma determinística (TRIGEORGIS, 1996). Isso inclui o valor da flexibilidade gerencial para adiar, expandir ou abandonar projetos em resposta às condições de mercado observadas após o início do projeto e do valor estratégico de novas oportunidades de investimento decorrentes do desenvolvimento de novas tecnologias.

O conceito de modelagem das flexibilidades de projetos de investimentos sob incertezas deriva do trabalho seminal de Black, Scholes (1973) e Merton (1973) para a avaliação de opções financeiras. Tourinho (1979) foi o primeiro a mostrar que este método poderia ser aplicado para investimentos em ativos reais, e outros autores, como Dixit e Pindyck (1994), Trigeorgis (1996) e Copeland e Antikarov (2003), posteriormente desenvolveram o que ficou conhecido como o método de opções reais.

Como descrito em Silva (1999), o método de opções reais tem sido amplamente aplicado na modelagem dos efeitos da política industrial em projetos de agronegócios. Schatzki (2003) analisou a opção de *switch* disponível para proprietários de terras escolherem entre a produção agrícola ou de reflorestamento. Ge, Mourits e Huirne (2005), calcularam as flexibilidades existentes no controle de doenças contagiosas de animais, com base nas incertezas sobre o avanço da epidemia, as ações irreversíveis, como abate e vacinação de animais, e a possibilidade de aprendizado durante a epidemia. Cardoso, Martin, Marçal, Kayo e Kimura (2009), aplicaram opções reais para determinar o

momento ideal para investir em uma plantação de café no Brasil. Dias, Bastian-Pinto, Brandão e Gomes (2011), utilizaram opções reais para avaliar uma usina de açúcar e etanol no Brasil que teve a opção de adicionar uma unidade de cogeração para produzir bioeletricidade.

Esses artigos analisam diferentes modelos de apreçamento de flexibilidades em projetos de agronegócios. No entanto, não foram encontrados estudos na literatura que abordassem a viabilidade econômica do recolhimento da palha da cana para fins de geração de energia pela abordagem de opções reais. Sendo assim, busca-se de forma inovadora neste estudo, modelar as opções de aproveitamento da palha como uma série de opções compostas, no qual primeiramente a empresa tem a opção de investir no recolhimento de palha e expandir a capacidade de cogeração a qualquer momento durante os primeiros cinco anos. Uma vez que este investimento é realizado, a empresa pode ainda fazer um investimento suplementar na produção de briquetes, que permitirá a escolha ótima entre a venda da energia excedente ou venda de briquetes.

Este estudo está organizado da seguinte forma. Após esta introdução, na seção dois apresenta-se o referencial teórico e a revisão de literatura relacionada à avaliação de investimentos, flexibilidade gerencial, *commodities* e geração de energia. A seção três aborda o uso da biomassa como fonte de energia alternativa e as flexibilidades de uso deste insumo. Na seção quatro é detalhada a metodologia utilizada neste estudo e o desenvolvimento do modelo por opções reais aplicado a uma planta de cogeração. Na seção cinco apresentam-se os resultados. E por último, na seção seis é feita a conclusão.