

**AVALIAÇÃO DE PROJETO DE  
INVESTIMENTO EM USINA  
TERMELÉTRICA À CAPIM ELEFANTE:  
UMA ABORDAGEM PELA TEORIA DE  
OPÇÕES REAIS**

Carlos Frederico V. T. da Fontoura

Luiz E. T. Brandão

Leonardo Lima Gomes

Carlos Bastian-Pinto

***TD. 006/2011***

***Programa de Pós-Graduação em Economia***

***Aplicada FE/UFJF***

Juiz de Fora

2011

# AVALIAÇÃO DE PROJETO DE INVESTIMENTO EM USINA TERMELÉTRICA À CAPIM ELEFANTE: UMA ABORDAGEM PELA TEORIA DE OPÇÕES REAIS

Carlos Frederico Vanderlinde Tarrisse da Fontoura  
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro  
[ctfonto@gmail.com](mailto:ctfonto@gmail.com)

Luiz E. T. Brandão  
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro  
[brandao@iag.puc-rio.br](mailto:brandao@iag.puc-rio.br)

Leonardo Lima Gomes  
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro  
[leonardo.lima@iag.puc-rio.br](mailto:leonardo.lima@iag.puc-rio.br)

Carlos Bastian-Pinto  
Universidade do Grande Rio - Unigranrio  
[carlos.bastian@unigranrio.br](mailto:carlos.bastian@unigranrio.br)

## **Resumo**

O Brasil é um país cuja matriz elétrica é fortemente dependente da geração por usinas hidrelétricas. Dentro desse cenário, a utilização de usinas termelétricas à biomassa representa uma alternativa vantajosa, pois associa a diversificação da matriz energética brasileira à utilização de fontes renováveis, além de não ser poluidora como suas contrapartes movidas a combustíveis fósseis não renováveis como óleo combustível, diesel e gás. Este estudo teve como objetivo realizar a avaliação econômico-financeira de um projeto de investimento em uma usina termelétrica à biomassa, utilizando estratégias com e sem flexibilidades gerenciais e operacionais, de forma a identificar se o uso da metodologia de opções reais é a mais adequada para a avaliação deste tipo de projeto. Para a estratégia sem incertezas e flexibilidades foi adotado o método do Fluxo de Caixa Descontado. Já para as estratégias com incertezas e flexibilidades, dado que os métodos tradicionais de avaliação de investimento não capturam o valor da flexibilidade gerencial, utilizamos a metodologia das opções reais e incorporamos as incertezas referentes ao mercado de energia elétrica (PLD) e as flexibilidades relacionadas à possibilidade da usina comercializar a energia elétrica gerada integral ou parcialmente nos mercados de longo ou curto prazo. Além disso, há a possibilidade de instalação de uma usina de briquetagem, que permitiria a planta comercializar energia elétrica no mercado de curto prazo ou biomassa em formato de briquetes, dependendo do que for financeiramente mais interessante. Para determinação do preço da energia de curto prazo, ou Preço de Liquidação das Diferenças (PLD), foi considerado que este é uma variável estocástica, visto que seu valor futuro é pelo

menos parcialmente aleatório. Para sua modelagem, foi adotado o modelo de Clewlow, Strickland e Kaminski (2000), que combina um movimento de reversão à média com um processo de saltos. Os valores obtidos para cada estratégia demonstram que a estratégia 3 apresenta um ganho de 1034% quando comparada com a estratégia 1 e um ganho de 136% quando comparada com a estratégia 2. Além disso, enquanto a estratégia 2 apresenta aproximadamente 28,7% de probabilidade de seu valor ser menor do que o da estratégia 1, na estratégia 3 não existe essa possibilidade. Portanto, os resultados obtidos indicam que a existência de incertezas e flexibilidades gerenciais aumenta o valor do projeto e reduz significativamente o risco de insucesso do mesmo, o que reforça a idéia de que a avaliação por opções reais, apesar de mais complexa, pode ser mais adequada para determinar o real valor do projeto. Considerando a necessidade de uma matriz energética cada vez mais limpa, renovável e diversificada, os projetos movidos à biomassa tendem a ganhar uma importância cada vez maior, principalmente, no que diz respeito à reutilização de resíduos agrícolas ou industriais. Neste sentido, a correta avaliação do valor destes projetos por meio de uma metodologia que incorpore e valora as incertezas de mercado e flexibilidades gerenciais como a teoria de opções reais contribui para atrair o investimento da iniciativa privada.

## **Introdução**

Em 2004 o governo brasileiro instituiu o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) com o objetivo de aumentar a participação de projetos de geração de energia de fontes eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs). O PROINFA previa a instalação de 144 usinas, totalizando 3.299 MW de capacidade instalada, sendo 685 MW provenientes de 27 usinas à base de biomassa. Os contratos eram garantidos por 20 anos pela Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás) e os empreendimentos podiam ser financiados pelo Programa de Apoio Financeiro ao PROINFA criado pelo BNDES, que permitia o financiamento de até 80% do projeto e a amortização em até 12 anos. O programa impulsionou a adoção dessas fontes alternativas de geração elétrica e demonstrou o potencial do Brasil na adoção de uma matriz elétrica cada vez mais sustentável (MME, 2010b).

O Brasil possui diversas vantagens comparativas que possibilitam a sua atuação como um dos líderes no mercado mundial de produtos agrícolas, agroindustriais e silviculturas, em particular aqueles dedicados a energia. Algumas das vantagens mais significantes são a vasta extensão de áreas agriculturáveis, a intensa radiação solar recebida, a grande disponibilidade de água a diversidade climática e a interação entre os centros de pesquisa agrícola como a EMBRAPA e a agroindústria (MME, 2007). Logo, a utilização de usinas termelétricas à biomassa representa uma alternativa vantajosa, pois associa a diversificação da matriz energética

brasileira à utilização de fontes renováveis, além de não ser poluidora como as usinas que utilizam combustíveis fósseis.

Neste trabalho analisamos o projeto de investimento em uma usina termelétrica à capim elefante em condições de incerteza de preço de energia, considerando que ela tem a flexibilidade de comercializar energia elétrica gerada integral ou parcialmente nos mercados de longo ou curto prazo. Além disso, há a possibilidade de instalação de uma usina de briquetagem, que permitiria a planta comercializar energia elétrica no mercado de curto prazo ou biomassa em formato de briquetes. Dado que os métodos tradicionais de avaliação de investimento não capturam o valor dessa flexibilidade gerencial, para esta análise utilizamos a metodologia das opções reais.

A teoria de opções reais tem sido utilizada em diversas áreas como recursos naturais, avaliação de terrenos e estratégia internacional (Minardi, 2000). Alguns dos primeiros estudos, datados das décadas de 80 e 90, referiam-se a aplicação desta metodologia na avaliação do melhor momento para investir em desenvolvimento urbano (Titman, 1985), no estudo da relação entre opções de alteração de escala (redução ou expansão) de produção e o valor da empresa (Majd & Pindyck, 1987; McDonald & Siegel, 1986; Pindyck, 1988) e na avaliação de investimentos em recursos naturais e manufatura flexível (Brennan & Schwartz, 1985; Triantis & Hodder, 1990).

No Brasil, a teoria de opções reais tem sido aplicada em setores como o de exploração e produção de petróleo (Dias, 2004, 2005; Dias & Rocha, 1999; Saito et al., 2000), mineração (Lima & Suslick, 2001; Vidal, 2008), biocombustíveis (Bastian-Pinto et al., 2010; Bastian-Pinto et al., 2009; Brandão Filho, 2005; Brandão et al., 2009) e energia elétrica (Batista, 2007; Caporal & Brandão, 2008; Gomes & Luiz, 2009). Não foram encontrados na literatura, no entanto, trabalhos abordando o problema do apreçamento de projetos flexíveis de geração de energia alternativa a partir de biomassa.

Este trabalho está organizado da seguinte forma. Após esta introdução analisamos o uso de biomassa para geração de energia, e em particular as características do capim-elefante. Na seção 3 apresentamos a modelagem adotada para a simulação do PLD, e na seção 4 desenvolvemos o modelo de uma usina termelétrica a biomassa sob diferentes cenários de operação. Na seção 5 apresentamos os resultados obtidos e em seguida concluímos.

## **Biomassa**

O conceito de biomassa engloba qualquer recurso renovável proveniente de matéria orgânica. A Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) define o termo biomassa como:

*Todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia. Assim como a energia hidráulica e outras fontes renováveis, a biomassa é uma forma indireta de energia solar. A energia solar é convertida em energia química,*

*através da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos. (ANEEL, 2005 p. 77)*

Essa definição ampla inclui fontes como lenha, resíduos agrícolas, industriais ou de parques e jardins e, principalmente, culturas energéticas dedicadas que são plantações de florestas ou gramíneas destinadas especificamente para esse fim (MAZZARELLA, 2007). Entre as vantagens da utilização da biomassa para produção de energia elétrica podemos citar o baixo custo de produção no caso de resíduos, e o balanço nulo de emissões de dióxido de carbono. Por outro lado, a diversidade de fontes dificulta o controle governamental sobre a origem dos insumos e contribui para a associação da utilização da biomassa a problemas como desflorestamento e desertificação (ANEEL, 2008).

O crescimento da participação da biomassa na matriz energética brasileira tem sido constante nos últimos anos, o que pode ser observado no Balanço Energético Nacional de 2010 (EPE, 2010), no qual consta um crescimento na oferta interna de energia elétrica proveniente de biomassa de 23,3 TWh para 27,4TWh, perfazendo um aumento de 17,5%. É importante ressaltar que esse crescimento ocorre, principalmente, na forma de sistemas de co-geração pela qual é possível obter energia térmica e elétrica, ou seja, em sistemas de produção de energia que são instalados em unidades que inicialmente não possuíam como finalidade a comercialização de energia elétrica.

Este fato pode ser inferido pela observação da distribuição de usinas termelétricas movidas à biomassa por tipo de insumo disposta na tabela 1. Percebe-se que a quantidade de unidades geradoras movidas a bagaço de cana é muito superior a das demais, pois com sua instalação em usinas produtoras de açúcar e etanol, o que antes era um resíduo, passa a gerar energia térmica e elétrica para o processo produtivo, sendo o excedente exportado para o Sistema Elétrico Brasileiro (SEB). Entretanto, esta não é a única rota tecnológica disponível para a transformação da biomassa em energia (MME, 2007).

Tabela 1 – Usinas termelétricas a biomassa em operação em 2008 por insumo

Insumo	Usinas Termelétricas	Potência Total
Licor negro (resíduo da celulose)	13	944 MW
Madeira	27	232 MW
Biogás	3	45 MW
Casca de arroz	4	21 MW
Bagaço de cana de açúcar	252	4000 MW

Fonte: Aneel (2008)

Mesmo considerando o crescimento dos últimos anos, a biomassa ainda possui uma participação de apenas 5,4% na oferta interna de energia elétrica do SEB. Entretanto, devido à

importância dada ao investimento em energia de fontes renováveis presente no Plano de Desenvolvimento Energético 2010–2019, espera-se um crescimento cada vez maior da capacidade instalada com fonte de geração em biomassa, porém sem resultar em um crescimento efetivo do percentual de participação da biomassa na oferta total de energia brasileira, como pode ser observado na tabela 2.

Tabela 2 - Capacidade Instalada com Fonte de Geração em Biomassa

Fonte	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<b>Biomassa (MW)</b>	5.380	6.083	6.321	6.671	7.071	7.421	7.621	7.771	8.121	8.521
<b>Participação</b>	4,78%	5,14%	5,15%	5,10%	5,30%	5,27%	5,16%	5,11%	5,15%	5,10%

Fonte: MME (2010a)

Atualmente, a fonte mais explorada no país é o bagaço de cana-de-açúcar, principalmente devido à alta produtividade das lavouras canavieiras, associada à instalação de sistemas de co-geração nas usinas e destilarias destinadas a produção de açúcar e etanol. Outras vantagens importantes desta cultura são a grande quantidade de resíduos gerados pela atividade principal (produção de açúcar e etanol) que podem ser aproveitados para geração de energia; a coincidência entre o período de colheita e o período de estiagem das principais bacias hidrográficas brasileiras que são a principal fonte de energia do SEB; e por fim; a proximidade dos grandes centros consumidores como São Paulo e as capitais do nordeste (MME, 2007).

### Capim elefante

O capim-elefante, cujo nome científico é *Pennisetum purpureum*, é uma gramínea forrageira descoberta em 1905 pelo coronel Napier na África Tropical que foi introduzida no Brasil em 1920, estando hoje difundida por todo o território nacional (Lopes, 2004). Por ser uma gramínea perene, não precisa ser replantada após cada colheita e atinge de 3 a 5 metros de altura chegando a 2 cm de diâmetro. Sua utilização está muito associada com pastagem para gado, sendo sua utilização como forrageira para gado leiteiro objeto de extensos estudos da Embrapa.

Os primeiros estudos sobre sua utilização como fonte de biomassa energética datam de meados da década de 90 e tratavam inicialmente de sua utilização no setor siderúrgico e posteriormente no setor de geração elétrica. Tal interesse é justificado por sua grande produtividade de biomassa decorrente de sua alta eficiência fotossintética. Essa produtividade fica aparente quando realizamos algumas comparações com outras fontes já consolidadas de biomassa conforme exposto na tabela 3.

Tabela 3 – Comparação de produtividade de energia por hectare

Fontes de Energia	Energia Produzida	Energia Produzida
	kcal/Kg	kcal/kg.ha por ano
Capim-elefante Carajás (Ex. Paraíso)	4.200	189.000.000
Capim <i>Brachiaria brizantha</i>	3.900	97.500.000
<i>Eucalyptus grandis</i>	4.641	92.820.000
Bagaço de cana	3.700	29.600.000

Fonte: Vilela e Cerize (2010)

Comparando com a produtividade de outras fontes de biomassa, como bagaço de cana-de-açúcar e o eucalipto, percebe-se que o capim-elefante é uma das fontes de mais alto potencial produtivo, e, além disso, se adapta muito bem às condições de cultivo existentes no Brasil. Como pode ser observado na tabela 4, a energia produzida por quilo de capim-elefante é pouco superior à do capim *Brachiaria* e à do Bagaço de cana, e chega até a ser inferior à do eucalipto (principal fonte atual de celulose e carvão vegetal). Contudo, quando analisamos a energia gerada por hectare (ha) anualmente, percebemos que ela é muito superior as demais. Isto se deve ao fato de que, enquanto o eucalipto produz até 20 toneladas de matéria seca por hectare por ano, estudos demonstram que o capim-elefante pode produzir entre 20 e 60 toneladas. Além disso, uma floresta de eucalipto necessita de sete anos para crescer até um nível em que seja possível utilizá-la como fonte de biomassa, enquanto a primeira colheita de capim-elefante pode ser feita após cento e oitenta dias (Vilela & Cerize, 2010).

O capim-elefante pode ser utilizado também para produção de briquetes. Os briquetes são resultado de um processo de compactação de biomassa picada (menor que 50mm) na qual a elasticidade natural das fibras é destruída por meio da utilização de alta pressão e/ou alta temperatura. Com a destruição da elasticidade, a lignina atua como ligante das partículas da biomassa vegetal tornando o briquete próprio para estocagem e transporte (Vilela, 2010).

Os briquetes possuem diversas vantagens frente a biomassa não compactada, dentre as quais podem ser destacadas: homogeneização dos resíduos vegetais; secagem e condensação da energia; formas e granulometria mais adequadas ao processo térmico; menor conteúdo de pó e menor geração de cinzas; reduzido risco de explosão; e; transporte e estocagem da biomassa mais fáceis.

### **Modelagem do Preço da Energia**

O Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) é o preço da energia de curto prazo, ou preço *Spot*, determinado semanalmente pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). O preço do PLD pode ser considerado uma variável estocástica, visto que seu valor futuro é pelo menos parcialmente aleatório. Para a modelagem do PLD, adotamos o modelo de Clewlow, Strickland e Kaminski (2000), que combina um movimento de reversão à média com um processo de saltos, conforme ilustrado na Eq. 1.

$$dS = \eta(\ln\bar{S} - \ln S)Sdt + \sigma dz + kSdq \quad (1)$$

Onde  $dS = \eta(\ln\bar{S} - \ln S)Sdt + \sigma dz$  é o modelo 1 de Schwartz (1997) e  $kSdq$  é o processo de salto, sendo  $k$  o tamanho proporcional do salto que é randômico e determinado pelo logaritmo natural dos saltos proporcionais sendo normalmente distribuídos:

$$\ln(1 - k) \sim N\left(\ln(1 + \bar{k}) - \frac{1}{2}\gamma^2, \gamma^2\right)$$

onde  $\bar{k}$  é o tamanho médio do salto e  $\gamma$  é o desvio padrão do tamanho proporcional do salto.

O processo de saltos é um processo de tempo discreto, onde os saltos não ocorrem de forma contínua, mas em instantes específicos. Logo, para frequências de saltos típicas,  $dq = 0$  na maior parte do tempo e somente assume valor 1 quando o momento randômico de um salto ocorre. Ou seja, quando nenhum salto está ocorrendo, o comportamento do PLD é idêntico ao de um simples movimento de reversão a média.

Clelow, Strickland e Kaminski (2001) definem  $x = \ln S$  e propõem a seguinte discretização para este modelo. (Eq. 2):

$$\Delta x_i = \left\{ \left[ \eta(\ln\bar{S} - x_i) - \frac{\sigma^2}{2} \right] \Delta t + \sigma \sqrt{\Delta t} \varepsilon_{1i} \right\} + (\bar{k} + \gamma \varepsilon_{2i}) \cdot (u_i < \phi \Delta t) \quad (2)$$

Onde:

$\eta$  é a velocidade de reversão a média (velocidade com a qual a variável estocástica reverte ao valor da média de longo prazo);

$\sigma$  é a volatilidade do processo;

$\varepsilon_1$  e  $\varepsilon_2$  são variáveis independentes randômicas com distribuição normal padrão;

$\phi$  é a frequência de saltos em base semanal, ou seja, o número médio de saltos por semana e;

$u_i$  é um número randômico (0,1) com distribuição de probabilidade uniforme.

Percebe-se que o valor de  $(u_i < \phi \Delta t)$  é igual a 1 (um) caso a condição seja verdadeira, e 0 (zero) se falsa. Esta ultima condição gera os saltos de forma randômica, na frequência média correta no limite onde  $\Delta t$  tende a zero. Se consideramos a distribuição probabilística uniforme dos valores de  $u$  e que  $\phi \Delta t$  é a probabilidade de ocorrência de um salto, a probabilidade do valor de  $u_i$  ser menor do que  $\phi \Delta t$  é exatamente a probabilidade de ocorrência de um salto.

Entretanto, a utilização de uma distribuição normal para a variável  $\varepsilon_2$  pode resultar em valores negativos para o PLD e para solucionar este problema, optou-se por substituir a componente  $(\bar{k} + \gamma \varepsilon_{2i})$ , por uma distribuição lognormal com média  $\bar{k}$  e desvio padrão  $\gamma$ . Logo, a equação de discretização modificada é dada pela Equação 3:



$$S_t = \exp \left\{ \ln[S_{t-1}]e^{-\eta\Delta t} + \left[ \ln(\bar{S}) - \frac{\sigma^2}{2\eta} \right] (1 - e^{-\eta\Delta t}) + \sigma \sqrt{\frac{1 - e^{-2\eta\Delta t}}{2\eta}} N(0,1) \right\} +$$

$$(\log N(\bar{k}, \gamma)) \therefore (u_i < \phi\Delta t) \quad (3)$$

O processo neutro a risco de um processo de reversão à média, conforme detalhada por Bastian-Pinto (2009), envolve a subtração do prêmio de risco normalizado  $\left[ \frac{(\mu-r)}{\eta} \text{ ou } \frac{\pi}{\eta} \right]$  da média de longo prazo ( $\bar{x}$ ), sendo  $\mu$  a taxa de desconto ajustada ao risco,  $r$  a taxa de juros livre de risco e  $\pi$  o prêmio de risco. Logo, a equação modificada e neutra ao risco que será utilizada neste estudo é dada pela Equação 4.

$$S_t = \exp \left\{ \ln[S_{t-1}]e^{-\eta\Delta t} + \left[ \ln(\bar{S}) - \frac{\sigma^2}{2\eta} - \frac{\pi}{\eta} \right] (1 - e^{-\eta\Delta t}) + \right.$$

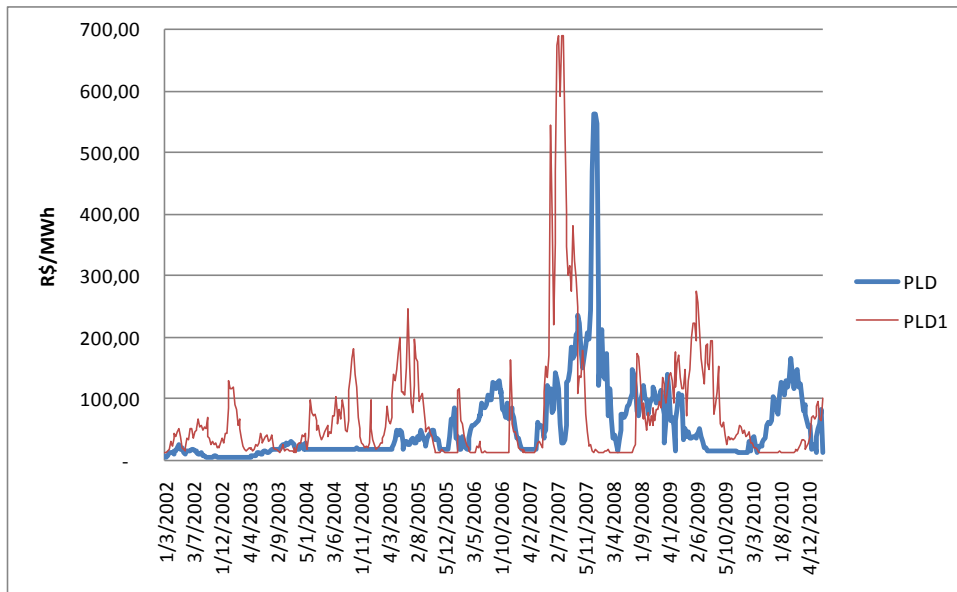
$$\left. \sigma \sqrt{\frac{1 - e^{-2\eta\Delta t}}{2\eta}} N(0,1) \right\} + \quad (4)$$

$$(\log N(\bar{k}, \gamma)) \therefore (u_i < \phi\Delta t)$$

A estimação dos parâmetros do processo de reversão a média ( $\eta$ ,  $\sigma$  e  $\bar{S}$ ) segue Bastian-Pinto (2009). Dado que os saltos só podem ser observados como parte de uma série temporal que inclui o comportamento normal de reversão à média, torna-se necessário filtrar os saltos desta série e determinar os seus parâmetros ( $\bar{k}$ ,  $\gamma$  e  $\phi$ ) antes da estimação dos parâmetros movimento de reversão a média. Neste trabalho modelamos diretamente o valor do PLD ao invés dos retornos da série, adotando a premissa de que a distribuição dos valores absolutos do PLD é normal e que os saltos correspondem a valores que estão fora do intervalo de três desvios padrão, que serão expurgados da série do processo de reversão à média.

Para estimação dos parâmetros de salto, são expurgados da série os valores limite do MRM e determinados a média ( $\bar{k}$ ) e o desvio padrão ( $\gamma$ ). Na Figura 1 podemos observar a série histórica do PLD bem como uma simulação de preços.

Figura 1 – Simulação PLD com limites



### Aplicação em uma usina termelétrica à biomassa

Consideramos uma usina com capacidade instalada de 30 MWmed que possui três estratégias possíveis para a venda da energia gerada. No caso base, usina comercializa toda sua capacidade por meio de um contrato de fornecimento de energia com o prazo de 20 anos e valor pré-determinado. Neste cenário, o fluxo de caixa futuro da usina é conhecido e não há incertezas.

A segunda estratégia adota um modelo híbrido de comercialização onde parte da capacidade instalada (25 MWmed) é vendida em contratos de longo prazo e o restante (5MWmed) vendido no mercado de curto prazo, sujeitando-se às incertezas de preço sobre esta parcela.

A terceira estratégia busca mitigar este risco a partir do fato de que estes 5MWmed equivalem a uma determinada quantidade de biomassa que pode ser transformada em outro produto com maior valor de mercado. Essa estratégia requer a instalação de uma unidade de briquetagem de forma a criar uma flexibilidade de troca de subproduto (*output switch*). Com isso a usina pode optar, numa base semanal, entre vender energia elétrica no mercado de curto prazo ou não produzir energia elétrica e transformar a biomassa disponível em briquetes para venda no mercado.

Embora outras estratégias com diferentes relações de venda no mercado de longo e curto prazo sejam tecnicamente viáveis, limitamos a parcela de energia para venda no curto prazo a 5MWmed para não comprometer a viabilidade de financiamento da usina dentro do programa PROINFA.

Cada estratégia tem receitas, custos, além de alíquota e incidência de impostos diferenciados.

## Caso Base: Estratégia 1

A receita líquida proveniente da venda de energia em contrato de longo prazo é dada por:

$$RL_{LP} = V_{LP}(P - TUST - CV_e - ID_e \times P)$$

Onde:

- $V_{LP}$  Volume de energia elétrica negociado em contratos de longo prazo;  
 $P$  Preço da energia elétrica;  
 $TUST$  Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão  
 $CV_e$  Custo variável da produção de energia elétrica  
 $ID_e$  Impostos diretos incidentes sobre a comercialização de energia elétrica

O valor da estratégia 1 é  $VPL_{EST1} = \sum_{t=1}^n \frac{FC_{EST1}(t)}{(1+\mu)^t} - I$ , onde

$$FC_{EST1}(t) = LAJIR(t) \times (1 - Impostos) + Depreciação(t) - CAPEX - \Delta CGOL$$

e

$$LAJIR(t) = RL_{LP}(t) - CF_e \times Cap_{usina} \times Cot_{dolar} - CF_{Bio} \times A_{plantio} - Depreciação$$

Onde:

- $n$  Número de anos do projeto;  
 $FC_{EST1}(t)$  Fluxo de caixa do projeto básico;  
 $\mu$  Taxa de desconto;  
 $I$  Investimento necessário em  $t=0$ ;  
 $RL_{LP}(t)$  Receita Líquida da venda de energia em contratos de longo prazo;  
 $CF_e$  Custo fixo da usina termelétrica;  
 $Cap_{usina}$  Capacidade da usina termelétrica;  
 $Cot_{dolar}$  Cotação do dólar (PTAX);  
 $CF_{Bio}$  Custo fixo da biomassa (manutenção da área de plantio, colheita, picagem, secagem, compactação e transporte);  
 $A_{plantio}$  Área utilizada para o plantio do capim-elefante;  
Impostos Impostos incidentes sobre o LAJIR;  
Depreciação Parcela da depreciação dos investimentos realizados no projeto;  
CAPEX Investimento bruto em ativos fixos;  
 $\Delta CGOL$  Variação no capital de giro operacional líquido.

Considerando que o projeto requer um estoque de biomassa antes começar a produzir e que a área para plantio precisa passar por um processo de formação antes do início do cultivo, o investimento necessário pode então ser dividido nas seguintes parcelas:

- $I_0 = 50\%$  do custo da planta de geração termelétrica ( $I_{ee}$ ) +  $100\%$  do custo de aquisição da área de plantio ( $I_{aq}$ ) +  $100\%$  do custo de formação ( $I_{cf}$ );

- $FC_{EST1}(t = 1) = - [50\% \text{ do custo da planta de geração termelétrica} + 100\% \text{ de } (CF_{Bio} \times A_{plântio})]$ .

## Valor do projeto - Estratégia 2

Com a adoção do modelo híbrido de comercialização, o fluxo de caixa gerado pela venda de 5MWmed no mercado de curto prazo é incerto. Para que seja possível calculá-lo, será necessário simular os valores do PLD para os próximos 20 anos (tempo de vida do projeto). A Receita Líquida da venda de energia no mercado de curto prazo pode ser calculada por meio da eq. (10). Esta equação deverá ser utilizada em base semanal, pois o valor do PLD é determinado pela CCEE nesta base.

$$RL_{spot} = V_{spot} \times [(P_{spot} + \text{Ágio})(1 - ID_e) - TUST - CV_e]$$

Onde:

$V_{spot}$  Volume de energia elétrica negociada em contratos de curto prazo;

$P_{spot}$  Preço do PLD determinado pela CCEE para a respectiva semana;

$\text{Ágio}$  Ágio pago pelo mercado em contratos de curto prazo de energia incentivada;

O VPL da estratégia 2 pode ser calculado por  $VPL_{EST2} = \sum_{t=1}^n \frac{FC_{EST2}(t)}{(1+\mu)^t} - I$ , onde:

$$FC_{EST2}(t) = LAJIR(t) \times (1 - \text{Impostos}) + \text{Depreciação}(t) - CAPEX - \Delta CGOL$$

e

$$LAJIR(t) = RL_{LP}(t) - \text{Depreciação} + \sum_1^{52} RL_{spot}(t) - CF_e \times Cap_{usina} \times Cot_{dolar} - CF_{Bio} \times A_{plântio}$$

Onde:

$FC_{EST2}(t)$  Fluxo de caixa do projeto na Estratégia 2 no ano t.

$RL_{LP}(t)$  Receita Líquida da venda de energia em contratos de longo prazo no ano t;

$\sum_1^{52} RL_{spot}(t)$  Receita Líquida de caixa da venda de energia no mercado de curto prazo no ano t resultante do somatório do fluxo de caixa de cada semana do ano;

Como o fluxo de caixa da venda de energia no mercado de curto prazo é semanal, os resultados obtidos foram consolidados em base anual de forma a facilitar o cálculo do VPL. Com relação a  $I_0$ ,  $FC_{EST2}(t = 1)$  e a depreciação, as mesmas observações feitas na estratégia 1 aplicam-se a este cenário.

### Valor do projeto com opções - Estratégia 3

A estratégia 3 é caracterizada por fluxos de caixa anuais decorrentes da venda de energia elétrica por contratos de longo prazo com duração de 20 anos somados aos fluxos de caixa decorrentes da opção entre venda de energia elétrica no mercado de curto prazo e venda de briquetes. A criação dessa opção será realizada por meio da instalação de uma unidade de briquetagem na usina termelétrica.

A Receita Líquida da venda briquetes pode ser calculado por meio da eq. (11). Esta equação deverá ser utilizada em base semanal, visto que seu valor deverá ser comparado ao da  $RL_{spot}$  que está nesta mesma base.

$$RL_{briq} = V_{briq} \times [P_{briq} - (CF_{briq} + CE_{briq}) - ID_{briq} \times P_{briq}]$$

Onde:

$V_{briq}$  Volume semanal de briquetes vendidos;

$P_{briq}$  Valor da tonelada no mercado atacadista (CIF);

$CF_{Briq}$  Custo de frete para a Grande São Paulo.

$ID_e$  Impostos diretos incidentes sobre a comercialização de briquetes.

A opção de alternância pode ser modelada como uma seqüência de opções européias, visto que a opção de vender um dos subprodutos (eletricidade ou briquetes) em uma determinada semana é totalmente independente da decisão tomada em qualquer outra semana. A otimização do processo de escolha entre subprodutos é dada por:

$$RL_{OP}(y) = \max (RL_{spot}(y), RL_{briq}(y))$$

Onde:

$RL_{OP}(y)$  Receita Líquida na semana y;

$RL_{spot}(y)$  Receita Líquida da venda de energia elétrica no mercado de curto prazo na semana y;

$RL_{briq}(y)$  Receita Líquida da venda de briquetes na semana y.

Logo, como a Receita Líquida do cenário resulta da adição das Receitas Líquidas anuais decorrentes da venda de energia elétrica por contratos de longo prazo com a Receita Líquida da venda de energia no mercado spot ou da venda de briquetes, o seu VPL pode ser obtido por

$$VPL_{EST3} = \sum_{t=1}^n \frac{FC_{EST3}(t)}{(1+\mu)^t} - I, \text{ onde:}$$

$$FC_{EST3}(t) = LAJIR(t) \times (1 - Impostos) + Depreciação(t) - CAPEX - \Delta CGOL$$

e

$$LAJIR(t) = RL_{LP}(t) + \sum_1^{52} RL_{OP}(t) - CF_e \times Cap_{usina} \times Cot_{dolar} - CF_{fix_{briq}} \times Cap_{Briq_{unid}} - CF_{Bio} \times A_{plantio}$$

Onde:

$FC_{EST3}(t)$  Fluxo de caixa do projeto na Estratégia 2 no ano t.

$RL_{LP}(t)$  Receita Líquida da venda de energia em contratos de longo prazo no ano t;

$\sum_1^{52} RL_{OP}(t)$  Receita Líquida da venda de energia no mercado spot ou da venda de briquetes no ano t resultante do somatório do fluxo de caixa de cada semana do ano;

$CF_{fix_{briq}}$  Custo fixo da unidade de briquetagem;

$Cap_{Briq_{unid}}$  Capacidade de produção anual da unidade de briquetagem.

Assim como na estratégia 2, o fluxo de caixa da opção é semanal e os resultados obtidos foram consolidados em base anual de forma a facilitar o cálculo do VPL. Como a biomassa só estará disponível ao final do segundo ano, o investimento para implantação da unidade de briquetagem pode ser feito integralmente no segundo ano. Logo, investimento necessário pode então ser dividido nas seguintes parcelas:

- $I_0 = 50\%$  do custo da planta de geração termelétrica ( $I_{ee}$ ) + 100% do custo de aquisição da área de plantio ( $I_{aq}$ ) + 100% do custo de formação ( $I_{cf}$ );
- $FC_{EST3}(t = 1) = - [50\%$  do custo da planta de geração termelétrica + 100% de ( $CF_{Bio} \times A_{plantio}$ ) + 100% do custo da unidade de briquetagem ( $I_{Briq}$ )].

### Premissas, Dados Utilizados e Resultados

As principais variáveis cujos valores precisam ser estimados para elaboração deste estudo podem ser divididas em três grupos: variáveis associadas ao investimento e custos fixos da usina termelétrica, à receita líquida da venda de briquetes e à receita líquida da venda de energia elétrica. Foi adotada uma taxa de desconto ajustada ao risco de 11,5%, baseada nas taxas utilizadas no PLE 2030 de 8, 10 e 12%.

Tabela 4 – Variáveis associadas ao investimento e custos fixos da usina termelétrica

Parâmetro	Valor	Unidade	Fonte
$Cot_{dolar}$	1,6669	BRL/USD	PTAX do dia 18 de fevereiro de 2011
$I_{ee}$	1.500	USD/kWmed	MME (2007)

$I_{Briq}$	2.630.299,10	BRL	Adaptado de Silva et al. (Silva, Felfli, Pérez, Rocha, & Simões, 2006)
$I_{aq}$	3.565,49	BRL/ha	Adaptado de IEA (2010)
$I_{cf}$	1.515,21	BRL/ha	MAZZARELLA (2007)
$CF_e$	55	USD/kWmed	MME (2007)
$Cap_{usina}$	30	MWmed	Definido para o projeto
$CFix_{briq}$	10,33	BRL/t	Adaptado de Silva et al. (Silva, et al., 2006)
$CapBriq_{unid}$	24.546	t/ano	Definido para o projeto
Produtividade capim elefante	37,5	t.ms/ha/a	(Andrade et al., 2000a); (Andrade et al., 2000b); (Embrapa, 2009)
$A_{plantio}$	6.094	ha	$Área = \frac{Capacidade\ Instalada}{Rendimento \times Produtividade}$

Tabela 5 – Variáveis associadas à receita líquida da venda de briquetes

Parâmetro	Valor	Unidade	Fonte
$P_{briq}$	270	BRL/t	Gentil (2008)
$V_{briq}$	755	t	Adaptado de Silva et al. (Silva, et al., 2006)
$CF_{briq}$	33,65	BRL/t	Gentil (2008)
$CE_{briq}$	22,50	BRL/t	Silva et al. (Silva, et al., 2006)
$ID_{briq}$	21,65	%	Silva et al. (Silva, et al., 2006)

Tabela 6 – Variáveis associadas à receita líquida da venda de energia elétrica.

Parâmetro	Valor	Unidade	Fonte
$P$	155	BRL/MWh	(Energia, 2010; EnergiaDireta, 2011)
$CV_e$	6	USD/MWh	MME (2007)
$TUST$	2,5	BRL/MWh	MME (2007)
$ID_e$	9,75	%	MME (2007)
$Ágio$	35,46	BRL/MWh	20,00 BRL/MWh - ágio contrato curto prazo (Gomes et al., 2010); 15,46 BRL/MWh – 50% TUSD Eletropaulo 04/06/2011 (energia incentivada).

Para o caso Base (Estratégia 1) e Estratégia 2, foram adotadas os parâmetros das Tabela 7 e Tabela 8, respectivamente.

Tabela 7 – Valores das variáveis do Caso Base: Estratégia 1

Variável	Valor
$V_{elp}$ (MWh/ano)	262.800
$n$ (anos)	20
$r$ (%)	6,168

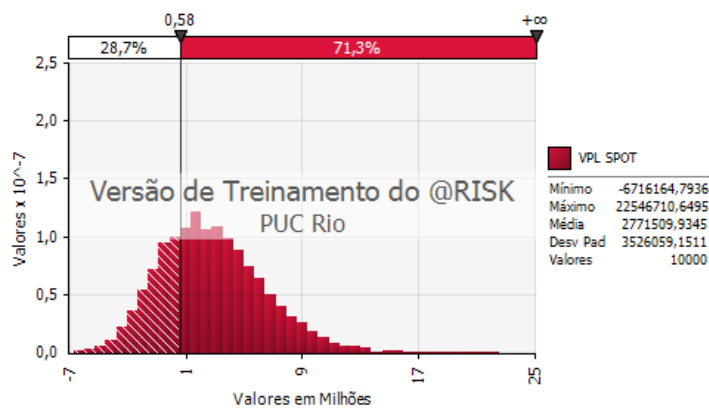
$CF_{Bio}$ (R\$/ha)	1.449,19
---------------------	----------

Tabela 8 – Valores das variáveis do projeto - Estratégia 2

Variável	Valor
$V_{elp}$ (MWh/ano)	219.000
$V_{spot}$ (MWh/semana)	4.200
Ágio (R\$/MWh)	35,46

Com base nos parâmetros e dados utilizados, o VPL do caso base é de R\$ 575.799,14. Para o caso da Estratégia 2, de maior risco, o VPL é significativamente maior, com valor de R\$ 2.771.509,93. Entretanto, conforme pode ser observado na Figura 2, há uma probabilidade de 28,7% desta estratégia apresentar valor menor do que o do projeto básico, o que não pode ser ignorado.

Figura 2 – Distribuição de probabilidade do projeto – Estratégia 2



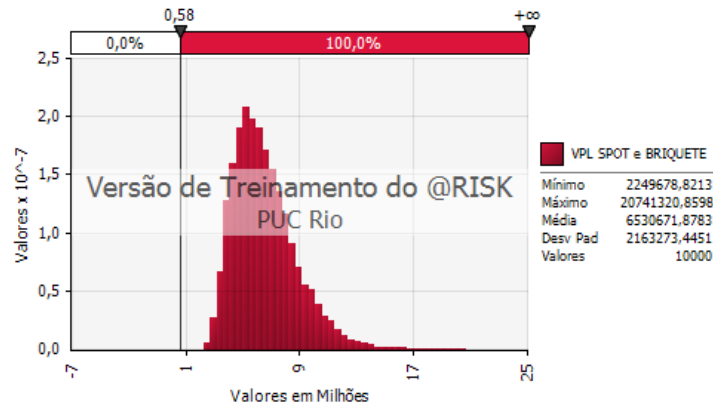
Para o caso da Estratégia 3, foram utilizados os mesmos parâmetros da Estratégia 2 acrescido preço do briquete de R\$ 270,00 por tonelada. A distribuição probabilística do valor do VPL obtida para o projeto com opções – estratégia 3 pode ser observada na Figura 3. Pode-se perceber que este cenário apresenta diversas vantagens sobre os demais.

- O valor mínimo do VPL é superior ao do projeto básico, ou seja, não há possibilidade desta estratégia resultar em VPL menor do que o esperado para o projeto básico;
- O valor máximo do VPL da estratégia 3 é inferior ao da estratégia 2, entretanto os valores mínimo e médio são superiores; Considerando que a probabilidade de ocorrência do valor máximo é remota, será utilizado o valor médio como termo de comparação.



O VPL médio obtido para o para a estratégia 3 é de R\$ 6.530.761,88. Além disso, como pode ser observado na figura 3, a probabilidade do VPL deste cenário ser pior do que o do caso base é praticamente nula.

Figura 3 - Distribuição de probabilidade do VPL do projeto com opções – Estratégia 3



## Conclusões e Recomendações

Projetos de geração de energia através de fontes alternativas como biomassa tem atraído um crescente interesse nos últimos anos. Neste trabalho analisamos o valor das flexibilidades existentes em um projeto de geração de energia elétrica por queima de biomassa considerando três estratégias operacionais distintas.

Na primeira, foi considerado que toda a capacidade de geração é contratada a preço firme por 20 anos. Na segunda, uma parte da energia gerada é vendida no mercado de curto prazo (PLD + ágio) através de contratos bilaterais. A terceira estratégia é semelhante à segunda, acrescida de uma componente variável resultante da escolha da maior receita líquida entre a comercialização de energia elétrica no mercado de curto prazo e a venda de briquetes, configurando uma opção real de alternância de *output*. Este estudo apresentou ainda uma inovação ao modelo de Clewlow, Strickland e Kaminski (2000) ao modificar a componente de salto de forma a impossibilitar a obtenção de valores negativos para o PLD. O resultado foi uma nova equação em tempo discreto para este modelo que pode vir a ser útil em futuras análises relacionadas ao tema.

Os resultados indicam que a existência da incerteza quanto ao preço da energia elétrica no mercado de curto prazo e da flexibilidade gerencial de escolha do subproduto a ser comercializado aumenta significativamente o valor do projeto. A estratégia 3 apresenta um ganho de 1034% quando comparada com a estratégia 1 e um ganho de 136% quando comparada com a estratégia 2. Além disso, enquanto a estratégia 2 apresenta 28,7% de probabilidade de seu valor ser menor do que o da estratégia 1, na estratégia 3 esse risco é eliminado. Portanto, os

resultados obtidos indicam que a existência de incertezas e flexibilidades gerenciais aumenta o valor do projeto e reduz significativamente o risco de insucesso do mesmo.

Considerando a necessidade de uma matriz energética cada vez mais limpa, renovável e diversificada, os projetos movidos à biomassa tendem a ganhar uma importância cada vez maior, principalmente, no que diz respeito à reutilização de resíduos agrícolas ou industriais. Neste sentido, a correta avaliação do valor destes projetos por meio de uma metodologia que incorpore e valora as incertezas de mercado e as flexibilidades gerenciais como a teoria de opções reais contribui para atrair o investimento da iniciativa privada.

Algumas limitações deste estudo incluem a falta de dados mais detalhados do mercado de briquetes, por ser ainda pouco desenvolvido, e também de série histórica dos contratos bilaterais de fornecimento de energia no mercado livre, uma vez que não são divulgados.

## Referências

- Andrade, A. C., Fonseca, D. M. d., Gomide, J. A., Alvarez V., V. H., Martins, C. E., & Souza, D. P. H. d. (2000a). Produtividade e valor nutritivo do capim-elefante cv. Napier sob doses crescentes de nitrogênio e potássio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29, 1589-1595.
- Andrade, J. B. d., Ferrari Junior, E., & Beisman, D. A. (2000b). *Avaliação do capim-elefante (pennisetum purpureum schum.) visando o carvoejamento*. Paper presented at the 3º Encontro de Energia no Meio Rural, Campinas.
- ANEEL. (2005). Atlas de energia elétrica do Brasil - 2ª Edição. In A. N. d. E. Elétrica (Ed.). Brasília.
- ANEEL. (2008). Atlas de energia elétrica do Brasil - 3ª Edição. In A. N. d. E. Elétrica (Ed.). Brasília.
- Bastian-Pinto, C., Brandão, L., & Alves, M. L. (2010). Valuing the switching flexibility of the ethanol-gas flex fuel car. *Annals of Operations Research*, 176(1), 333-348.
- Bastian-Pinto, C., Brandao, L., & Hahn, W. J. (2009). Flexibility as a source of value in the production of alternative fuels: The ethanol case. *Energy Economics*, 31(3), 411-422.
- Batista, F. R. S. (2007). *Estimação do Valor Incremental do Mercado de Carbono nos Projetos de Fontes Renováveis de Geração de Energia Elétrica no Brasil: Uma Abordagem pela Teoria das Opções Reais*. PUC-Rio, Rio de Janeiro.
- Brandão Filho, J. E. (2005). *Previsão de Demanda por Gás Natural Veicular: Uma Modelagem Baseada em Dados de Preferência Declarada e Revelada*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Brandão, L., Penedo, G., & Bastian-Pinto, C. (2009). *The Value of Switching Inputs in a Biodiesel Plant in Brazil*. Paper presented at the 13th Annual International Conference on

- Real Options at University of Minho, Portugal & University of Santiago de Compostela, Spain. .
- Brennan, M. J., & Schwartz, E. S. (1985). Evaluating Natural Resource Investments. *The Journal of Business*, 58(2), 135-157.
- Caporal, A., & Brandão, L. E. T. (2008). Avaliação de uma Unidade de Geração de Energia Através da Teoria de Opções Reais. *Brazilian Business Review*, 5(2), 108-127.
- Clewlow, L., Strickland, C., & Kaminski, V. (2000). Jumping the gaps. *Energy and Power Risk Management Magazine*(Dezembro), 26-27.
- Clewlow, L., Strickland, C., & Kaminski, V. (2001). Extending mean-reversion jump diffusion. *Energy and Power Risk Management Magazine*(Fevereiro), 30-31.
- Dias, M. A. (2004). Valuation of exploration and production assets: an overview of real options models. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 44(1-2), 93-114.
- Dias, M. A. (2005). *Opções Reais Híbridas com Aplicações em Petróleo*. PUC-Rio, Rio de Janeiro.
- Dias, M. A., & Rocha, K. (1999). *Petroleum Concessions With Extendible Options using Mean Reversion with Jumps to model Oil Prices*. Paper presented at the 3rd Real Option Conference, Wassenaar/Leiden. Netherlands.
- Embrapa. (2009). Potencial produtivo e eficiência da fixação biológica de nitrogênio em diferentes genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach) para uso como fonte alternativa de energia *Boletim de Pesquisa & Desenvolvimento* 41. Seropédica: Embrapa Agrobiologia.
- Energia, J. d. (2010). Preço do leilão torna energia eólica viável no mercado livre Retrieved 03 de Março, 2011, from <http://www.abeeolica.org.br/zpublisher/materias/Noticias.asp?id=19572>
- EnergiaDireta. (2011). Cotações Retrieved 17 de Janeiro, 2011, from [https://www.energiadireta.com.br/index.php?sub=lista\\_cota.php](https://www.energiadireta.com.br/index.php?sub=lista_cota.php)
- EPE. (2010). Balanço Energético Nacional 2010 - ano base 2009. In E. d. P. Energética (Ed.). Rio de Janeiro.
- Gentil, L. V. B. (2008). *Tecnologia e Economia do Briquete de Madeira*. Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília.
- Gomes, L. L., Brandão, L. E., & Pinto, A. C. F. (2010). Otimização de Carteiras de Contratos de Energia Elétrica através da Medida Ômega. *Revista Brasileira de Finanças*, 8(1), 45–67.
- Gomes, L. L., & Luiz, I. G. (2009). Valor Adicionado aos Consumidores Livres de Energia Elétrica no Brasil por Contratos Flexíveis: Uma Abordagem pela Teoria das Opções. *Revista Eletronica de Administracao - REAd*, 15(2).
- IEA. (2010). Valor de Terra Nua. Retrieved 03/03/2011, from Instituto de Economia Agrícola [http://ciagri.iea.sp.gov.br/bancoiea/precor.aspx?cod\\_tipo=1&cod\\_sis=8](http://ciagri.iea.sp.gov.br/bancoiea/precor.aspx?cod_tipo=1&cod_sis=8)

- Lima, G. A. C., & Suslick, S. B. (2001). Quantificação do momento de investir em ativos minerais por meio da teoria das opções reais. *Rem: Revista Escola de Minas*, 54, 149-154.
- Lopes, B. A. (2004). *O Capim Elefante*. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. Retrieved from <http://www.forragicultura.com.br/arquivos/capimelefanteBruna.pdf>
- Majd, S., & Pindyck, R. S. (1987). Time to Build, Option Value, and Investment Decisions. *Journal of Financial Economics*, 18(1), 7-27.
- MAZZARELLA, V. (Producer). (2007). Capim Elefante como fonte de energia no Brasil: realidade atual e expectativas. *INEE - Instituto Nacional de Eficiência Energética*. Retrieved from [http://www.inee.org.br/down\\_loads/eventos/0945VicenteMazzarelaIPT.ppt](http://www.inee.org.br/down_loads/eventos/0945VicenteMazzarelaIPT.ppt)
- McDonald, R., & Siegel, D. (1986). The Value of Waiting to Invest. *The Quarterly Journal of Economics*, 101(4), 707-728.
- Minardi, A. (2000). Teoria de Opções aplicada a Projetos de Investimento. *RAE - Revista de Administração de Empresas*, 40(2), 74-79.
- MME. (2007). *PNE 2030 - Geração Termelétrica (Biomassa)*. Brasília: Retrieved from [http://www.epe.gov.br/PNE/20080512\\_8.pdf](http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_8.pdf).
- MME. (2010a). Plano Decenal de Expansão de Energia 2019. In M. d. M. e. Energia (Ed.). Brasília.
- MME. (2010b). PROINFA - PROGRAMA DE INCENTIVO AS FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA ELÉTRICA Retrieved 03/07/2010, 2010, from <http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/>
- Pindyck, R. S. (1988). Irreversible Investment, Capacity Choice, and the Value of the Firm. *American Economic Review*, 78(5), 969-985.
- Saito, R., Schiozer, D. J., & Castro, G. N. d. (2000). SIMULAÇÃO DE TÉCNICAS DE ENGENHARIA DE RESERVATÓRIOS: exemplo de utilização de opções reais. *RAE - Revista de Administração de Empresas*, 40(2), 64-73.
- Silva, C. A. d., Felfli, F. F., Pérez, J. M. M., Rocha, J. D., & Simões, A. F. (2006). *Estudo da viabilidade técnico: econômica de uma fabrica de briquetes para fins de geração energética*. Paper presented at the 6º ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, Campinas.
- Titman, S. (1985). Urban Land Prices Under Uncertainty. *The American Economic Review*, 75(3), 505-514.
- Triantis, A. J., & Hodder, J. E. (1990). Valuing Flexibility as a Complex Option. *The Journal of Finance*, 45(2), 549-565.
- Vidal, A. P. (2008). *Avaliação de Projeto de Mineração Aplicando a Teoria de Opções Reais*. Master, – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

- Vilela, H. (2010). Produção de Briquete de Capim Elefante. *Agronomia*. Retrieved from [http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/PRODUCAO\\_DE\\_BRIQUETE\\_DE CAPIM\\_ELEFANTE.htm](http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/PRODUCAO_DE_BRIQUETE_DE_CAPIM_ELEFANTE.htm)
- Vilela, H., & Cerize, D. (2010). Capim Elefante Paraíso na geração de energia. *Agronomia*. Retrieved from [http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos\\_capim\\_elefante\\_paraiso\\_geracao\\_energia.htm](http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_capim_elefante_paraiso_geracao_energia.htm)
- World Bank, T. (2010). Relatório de Síntese Técnica - Energia *Estudo de Baixo Carbono para o Brasil*. Washington: Sustainable Development Department of the Latin America and Caribbean Region.