

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE TRÊS SISTEMAS PRODUTIVOS DE CARVÃO VEGETAL POR DIFERENTES MÉTODOS¹

Diogo Aparecido Lopes Silva², Eridson Aristides da Cunha Cardoso³, Luciano Donizeti Varanda⁴, André Luís Christoforo⁵ e Ricardo Anselmo Malinovski⁶

RESUMO – Este trabalho apresenta um estudo de caso que objetiva avaliar economicamente três sistemas produtivos de carvão vegetal: fornos tradicionais tipo rabo quente, fornos retangulares em alvenaria e fornos cilíndricos metálicos. A empresa estudada já opera utilizando fornos rabo quente e deseja analisar se é mais viável manter seu sistema atual, ou se é melhor optar por um dos dois sistemas alternativos. Para avaliação econômica, utilizaram-se os métodos Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Uniforme Equivalente (VAUE), Taxa Interna de Retorno (TIR), Taxa de Retorno Incremental (TRI), Benefício/Custo (B/C) e *Pay Back*. Verificou-se que o sistema produtivo mais viável foi o de fornos cilíndricos metálicos. Esse sistema produtivo, apesar do alto custo com eletricidade e investimento inicial, apresentou redução de custos operacionais devido ao aumento no rendimento do processo de carbonização.

Palavras-chave: Carvão vegetal; Engenharia econômica; Processos carvoeiros.

ECONOMIC FEASIBILITY STUDY OF THREE CHARCOAL PRODUCTION SYSTEMS USING DIFFERENT METHODS

ABSTRACT – *The present paper shows a case study to evaluate the economic viability of three charcoal production systems: traditional “hot tail” kilns, rectangular brick kilns and cylindrical metallic kilns. The company analyzed already operates using “hot tail” kilns and aims to check if it is more feasible to keep its current system or to choose one of the two alternative systems. It was adopted the Equivalent Annual Value (EAV), Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Incremental IRR, Benefits/Costs (B/C) and Pay Back for the economic evaluation. The most feasible system was the cylindrical metallic kilns. This production system, despite its disadvantages with high initial investment and costs with electricity consumption, allowed financial gains such as reducing operational costs due to the increased yield of the carbonization process.*

Keywords: Charcoal; Economic Engineering; Charcoal processes.

1. INTRODUÇÃO

Segundo dados da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas – ABRAF (2013), o setor de base florestal em 2012 apresentou valor bruto de produção

de R\$ 56,3 bilhões, o que representa um aumento de 4,6% em relação ao ano 2011. Em 2012, 38,7% do total de madeira proveniente de florestas plantadas no país foi utilizada na produção de carvão vegetal, representando um crescimento da ordem de 61,4% entre 2009 e 2012.

¹ Recebido em 31.08.2012 aceito para publicação em 02.12.2013.

² Departamento de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, SP, Brasil. E-mail: <diogo.apls@hotmail.com>.

³ Departamento de Engenharia Mecânica, Núcleo Interdisciplinar de Dinâmica dos Fluidos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: <eridson@ufrj.br >.

⁴ Departamento de Engenharia de Materiais, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, SP, Brasil. E-mail: <lu.varanda@hotmail.com>.

⁵ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, São Carlos, SP, Brasil. E-mail: <alchristoforo@yahoo.com.br>.

⁶ Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, PR, Brasil. E-mail: <ricardomalinovski@ufpr.br>.

O Brasil é o maior produtor mundial de carvão vegetal (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY– IEA, 2011), contribuindo com cerca de 30% de todo o carvão produzido no mundo. A produção de carvão vegetal para fins siderúrgicos é o segundo maior setor de base florestal do país, detendo 25,6% da área total reflorestada com espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* (ABRAF, 2013). Entre as espécies de reflorestamento no Brasil, o *Eucalyptus* é a principal para a produção de carvão vegetal (LORA; ANDRADE, 2009), pois os reflorestamentos bem planejados e manejados produzem árvores de tronco reto e madeira com densidade ideal (410-690 kg/m³) para carvão de boa qualidade (PEREIRA et al., 2000; ANTAL; GRØNLI, 2003).

A produção do carvão vegetal é realizada em carvoarias, onde são executadas as atividades produtivas desde o recebimento da madeira até o despacho do carvão. Todavia, no Brasil a maior parte de sua produção ainda se restringe aos fornos tradicionais, de séculos atrás (PINHEIRO et al., 2006), apresentando problemas ambientais (SANTOS; HATAKEYAMA, 2012; BAILIS et al., 2013) e sociais (KATO et al., 2005; MEIRA et al., 2005; PIMENTA et al., 2006), por envolverem atividades insalubres e de baixo nível de capacitação técnica.

No aspecto ambiental, é necessário que haja a preocupação com a preservação do meio ambiente e, no aspecto social, que as condições de trabalho inadequadas sejam eliminadas do processo, contribuindo para a melhoria do desempenho socioambiental do empreendimento. Silva et al. (2013) destacaram a técnica de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para um estudo completo sobre os impactos ambientais de produtos à base de madeira. Nesse sentido, Bailis et al. (2013) realizaram um estudo de ACV, destacando os impactos ambientais do processo de carbonização da madeira enforada para o aquecimento global, devido às emissões que causam o efeito-estufa – dióxido de carbono e metano, entre outros. Sobre os aspectos sociais, para Monteiro (1996) os empregos nas carvoarias se enquadram como de péssima qualidade, pois as condições de trabalho, como moradia e estabilidade no emprego, não apresentam níveis satisfatórios. Os colaboradores não contam com garantias previdenciárias e trabalhistas, e a remuneração mensal dificilmente ultrapassa o salário mínimo nacional, além de estarem sujeitos a mecanismos coercitivos de imobilização da força de trabalho e à presença de crianças e adolescentes nas carvoarias.

Os principais sistemas produtivos de carvão vegetal no país são os fornos de alvenaria e os fornos metálicos. Os fornos de alvenaria são do tipo rabo quente (ou meia laranja), do tipo colmeia, e fornos retangulares, enquanto os fornos construídos com material metálico são do tipo *container* e do tipo cilíndrico metálico vertical (REZENDE; OLIVEIRA, 2001).

Os fornos tipo rabo quente são ainda os modelos predominantes no Brasil, feitos de alvenaria com tijolos comuns e geralmente sem chaminé (MUYLAERT et al., 1999; KATO et al., 2005). Pinheiro et al. (2006) afirmaram que o rendimento gravimétrico em carvão vegetal nesse sistema é na faixa de 25%, o que significa uma grande perda econômica e a subutilização da lenha enforada.

O modelo produtivo com fornos retangulares é construído também de alvenaria, com tijolos comuns e estrutura de concreto (ARRUDA et al., 2011). Para Santos e Hatakeyama (2012), por sua alta capacidade de enforamento esses fornos são considerados grandes, com bom isolamento térmico e com rendimento gravimétrico em carvão vegetal entre 30 e 33%.

A alternativa aos sistemas compostos por fornos de alvenaria são os fornos cilíndricos metálicos, que realizam a produção integrada de carvão vegetal em um sistema auxiliar de recuperação e aproveitamento dos gases/fumaça da carbonização, o que permite o aproveitamento dos subprodutos oriundos do processo e a redução significativa das emissões atmosféricas. Nesse sistema produtivo, Pinheiro et al. (2006) destacaram os ganhos no tempo de carbonização, no resfriamento da carga e no rendimento gravimétrico em carvão entre 30 e 38%.

Referente à viabilidade técnico-econômica de processos carvoeiros, autores como Rezende e Oliveira (2001), Meira et al. (2005), Guimarães Neto et al. (2007), Santos e Hatakeyama (2012) e Arruda et al. (2011) estudaram a temática. Guimarães Neto et al. (2007) realizaram uma avaliação comparativa de viabilidade econômica e financeira de um projeto de fornos tipo *container* industrial e fornos tipo retangular, concluindo que ambos os modelos eram viáveis. Já Santos e Hatakeyama (2012) compararam um sistema produtivo com fornos cilíndricos metálicos com um sistema artesanal tipo rabo quente, enfatizando não somente a viabilidade econômica do primeiro empreendimento, mas também os ganhos sociais e ambientais, levando em conta aspectos de sustentabilidade.

Estudos de caso sobre análises de investimento comparando, todavia, os três principais sistemas de produção de carvão vegetal no país - fornos tradicionais tipo rabo quente, retangular de alvenaria e cilíndrico metálico - não foram encontrados, o que motivou esta pesquisa. Além disso, Casarotto Filho e Kopitike (2007) salientaram que uma análise de viabilidade econômica deve ser tomada levando em conta os diversos métodos determinísticos para a avaliação econômica de um empreendimento. Nessa linha, esta pesquisa adotou métodos de Engenharia Econômica existentes para a análise de viabilidade econômica de diferentes alternativas tecnológicas na produção de carvão vegetal, o que contribuiu para melhor embasamento na tomada de decisão sobre a melhor alternativa de investimento analisada.

Assim, este trabalho teve por objetivo realizar uma análise de viabilidade econômica comparativa entre três diferentes sistemas produtivos de carvão vegetal: fornos tradicionais tipo rabo quente, fornos retangulares de alvenaria e fornos cilíndricos metálicos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado entre os anos 2009 e 2011, numa carvoaria pertencente a uma empresa siderúrgica da região Sudeste do Estado de São Paulo. A carvoaria analisada produz carvão vegetal através do sistema produtivo tipo rabo quente (RB), com produção mensal média de 956,23 toneladas.

Na realização do estudo de viabilidade econômica, foram utilizados dados provenientes de três fontes distintas: da própria carvoaria estudada, para o sistema produtivo RB; um orçamento para o sistema produtivo com fornos retangulares de alvenaria (RA); e um orçamento para o sistema produtivo composto por fornos cilíndricos metálicos (CM). Tais dados constam nas Tabelas 1 e 2, respectivamente, referentes às variáveis técnico-operacionais e sobre os custos de produção envolvidos em cada sistema produtivo avaliado. Os dados de orçamento dos sistemas RA e CM foram obtidos de fabricantes nacionais dos fornos, tendo em vista o contexto da carvoaria estudada.

Após a coleta dos dados, foi feita a análise de viabilidade econômica utilizando os métodos de Engenharia Econômica: Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Uniforme Equivalente (VAUE), Taxa Interna de Retorno (TIR), Taxa de Retorno Incremental (TRI), relação Benefício/Custo (B/C) e *Pay Back* (ou tempo médio de recuperação

do investimento), conforme detalhamento a seguir, com base em Casarotto Filho e Kopitike (2007). Além dos métodos, foi determinada a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), considerando-se o fato de se estar perdendo a oportunidade de auferir retornos pela aplicação do mesmo capital em investimentos alternativos (CASAROTTO FILHO; KOPITITKE, 2007). Assim, foi definida uma TMA de 15% ao ano (a.a.) ou 1,1715% ao mês (a.m.), conforme sugestão da empresa estudada.

O VPL é o método que traz todos os valores de custos e receitas do fluxo de caixa ao período inicial, descontando a TMA definida. Se o valor for positivo, a proposta é atrativa e, quanto maior o for, mais atrativa será a proposta. O cálculo do VPL é feito pela equação 1.

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j (1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j} \quad (1)$$

sendo:

j = período de ocorrência dos custos/receitas;

R_j = receitas no período j ;

C_j = custos no período j ;

i = taxa de desconto ou taxa mínima de atratividade; e

n = número total de anos do fluxo de caixa.

O VAUE é calculado pela equação 2, tratando-se de um método similar ao VPL, mas que consiste em achar a série uniforme anual equivalente aos custos e receitas do investimento, utilizando a TMA.

$$VAUE = \frac{VPL[(1+i)^j - 1](1+i)^{nj}}{(1+i)^{nj} - 1} \quad (2)$$

A TIR, calculada pela equação 3, é a taxa de juros que torna nulo o VPL de um fluxo de caixa. A TIR é comparada à TMA para a conclusão sobre a aceitação ou não da proposta. Uma TIR maior que a TMA indica que a proposta é atrativa.

$$\sum_{j=0}^n R_j (1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j} = 0 \quad (3)$$

O método TRI é principalmente recomendado ao comparar alternativas de investimento com diferentes investimentos iniciais. É definida como a TIR relacionada ao incremento de receita de um investimento em relação a outro, levando em conta o investimento incremental para obtê-la. Para esse método, Casarotto Filho e Kopitike

(2007) não sugeriram uma equação específica para a efetuação do cálculo, pois se trata de um método variante da TIR, mas propuseram um roteiro para aplicação do método com os seguintes passos: primeiro é feita a ordenação das alternativas de maneira crescente em função dos investimentos iniciais; depois se determina a TIR da alternativa de menor investimento inicial e, se esta for superior ou igual à TMA, em seguida se analisa a viabilidade de fazer sua troca por aquela alternativa de investimento que, pela ordem, constitui da próxima opção; e, por fim, age-se da mesma forma em relação à TRI, comparando-a com a TMA.

O B/C é calculado pela equação 4. Consiste na relação matemática da soma de todos os benefícios pertinentes a determinado investimento com os respectivos custos. Se o quociente entre o somatório dos benefícios e custos for superior ou igual a 1, então o investimento é viável, sendo os benefícios superiores aos custos do empreendimento.

$$B/C = \frac{\sum_{j=0}^n R_j(1+i)^{-j}}{\sum_{j=0}^n C_j(1+i)^{-j}} \quad (4)$$

Por fim, como último método, utilizou-se o *Pay Back*, o qual se trata do período de retorno necessário para recuperar o investimento inicial. É um método que não considera a TMA e que relaciona o valor do capital inicial investido com as entradas de caixa (receitas) num período estabelecido (por exemplo, anual ou mensal). O cálculo é feito pela equação 5.

$$\text{Pay Back} = \frac{C_{j=0}}{R_j} \quad (5)$$

2.1. Características gerais da carvoaria estudada

A carvoaria estudada produz carvão com lenha de *Eucalyptus*, sendo a espécie *Eucalyptus saligna* a mais consumida. Essa carvoaria pertence a uma empresa siderúrgica, sendo responsável por 50% do abastecimento de carvão vegetal da empresa.

A lenha consumida é oriunda de floresta plantada, colhida quando as árvores atingem o sétimo ano de idade, com diâmetro à altura do peito (DAP) de no mínimo 8 cm e mediante a política de arrendamento da terra. O volume médio em metro cúbico (m³) de lenha empilhada de *Eucalyptus* por hectare (ha) é de 340 m³/ha de área plantada. A lenha colhida (com 2 m de comprimento)

passa pelo processo de secagem ao ar livre em pátio de estocagem até atingir umidade média de 35%. A carvoaria possui 88 fornos rabo quente, e cada forno comporta aproximadamente 27 m³ de lenha.

O sistema de extração e transporte da matéria-prima é terceirizado. A mão de obra atualmente engloba 50 funcionários entre carbonizadores, tratoristas, ajudantes de produção e outros. A taxa de encargos sociais e benefícios considerados foram de 57,70 e 48,11%, respectivamente. A carvoaria opera em um turno de 8 h por dia e 21 dias úteis no mês.

O preço de venda da tonelada de carvão vegetal foi obtido mediante histórico de preço em 2009, no caso R\$692,80. O custo médio considerado para a lenha de *Eucalyptus* foi de R\$ 51,00/m³, conforme dados da carvoaria estudada.

2.2. Principais variáveis técnicas e operacionais dos sistemas produtivos avaliados

A Tabela 1 mostra os principais dados técnicos e operacionais para os sistemas com fornos tradicionais rabo quente (RB), retangular em alvenaria (RA) e cilíndrico metálico (CM).

Para os três sistemas produtivos, o tempo total de secagem da lenha já está considerando todo o processo envolvido, desde a etapa de colheita e transporte da madeira até a entrada da carga nos fornos para conversão em carvão. Outro ponto é que o tempo total de produção do carvão foi considerado desde a entrada da carga nos fornos até a finalização do ciclo de carbonização e o resfriamento da carga.

Para o sistema RB, todos os dados mostrados foram estabelecidos baseando-se em dados primários dos registros produtivos da carvoaria estudada. A área de plantio necessária de 20,7 ha para abastecer a carvoaria foi tomada, dividindo-se o volume médio de lenha consumida mensalmente de 7.035 m³ (baseado em histórico de consumo) pela referência de 340 m³/ha de volume médio esperado para a lenha de *Eucalyptus* ao sétimo ano de idade. O tempo de secagem da lenha de 140 dias considera um período de pré-secagem de 30 dias no campo antes do transporte para a carvoaria. A vida útil de cada forno é de cinco anos em média, necessitando-se de reforma ao final de sua vida útil. O consumo de energia elétrica é nulo, visto que existe apenas um turno de trabalho (diurno) e não há equipamentos elétricos interligados ao sistema produtivo.

Tabela 1 – Principais variáveis técnico-operacionais dos sistemas produtivos analisados.*Table 1* – Main technical-operational variables of the production systems analyzed.

Dados técnicos e operacionais dos sistemas produtivos	RB	RA	CM
Área de plantio necessária para abastecer a carvoaria mensalmente (ha)	20,70	18,50	14,25
Número de fornos na carvoaria	88	8	12
Volume de lenha por forno (m ³)	26,9	294	4,5
Tempo de produção do carvão (horas)	276	264	17
Tempo total de secagem da lenha (dias)	140	140	33
Vida útil dos fornos (anos)	5	10	10
Turnos de trabalho (8 horas cada)	1	3	3
Volume de lenha consumida por mês (m ³)	7035	6300	4838
Consumo mensal de energia elétrica (kWh)	0	206	22.400
Número total de funcionários	50	31	24

No sistema RA, os fornos retangulares considerados possuem dimensões de 32 m de comprimento por seção 4 x 4 m, resultando na capacidade de armazenamento de lenha de 294 m³, segundo os dados de orçamento. O tempo de secagem da lenha manteve-se constante em relação ao sistema RB, pois foi considerada também a realização de secagem ao ar livre. A área de plantio necessária para atender à demanda da carvoaria é de 18,50 ha, visto que o consumo mensal de lenha é menor do que no sistema RB, devido ao melhor rendimento gravimétrico do sistema produtivo RA. A vida útil dos fornos retangulares é de 10 anos, também requerendo uma reforma no fim da vida útil. O consumo de energia elétrica neste caso está atribuído apenas ao sistema de iluminação interna da carvoaria, visto que as atividades se estendem nesse cenário por três turnos de trabalho. Por fim, o tempo total para a produção do carvão é menor em relação ao sistema tipo rabo quente devido ao menor tempo de carbonização da lenha enforada.

Pela falta de disponibilidade de dados técnicos sobre a recuperação dos gases da carbonização e sobre a secagem da lenha em estufa para o caso de sistemas produtivos com fornos retangulares, optou-se pela não inserção desses sistemas auxiliares no estudo realizado.

Para o sistema CM, definiu-se que seriam necessários 36 cilindros, sendo 12 fornos com três cilindros cada, de acordo com os dados em orçamento. A capacidade de lenha enforada para cada cilindro é de 4,5 m³. Esse sistema ainda possui um queimador de gases e uma estufa para secagem da lenha. A área de plantio de 14,25 ha se deve ao menor consumo de lenha, já que neste modelo é possível atingir rendimentos gravimétricos maiores do que nos dois sistemas anteriores. A vida

útil estabelecida aos equipamentos foi de 10 anos, conforme Santos e Hatakeyama (2012). O consumo mensal de energia elétrica de 22.400 kWh está atrelado, principalmente, aos equipamentos complementares que esse modelo produtivo requer, como o uso pórtico rolante, estufa de secagem, exaustores/ventiladores e queimador de gases. Nesse caso, também se assumiu a operação da carvoaria em três turnos de trabalho de 8 h cada. O volume de lenha consumida mensalmente, assim como no sistema RA, também ficou reduzido em comparação com o sistema RB, devido aos melhores rendimentos gravimétricos possíveis de serem alcançados. Os 33 dias assumidos para o processo de secagem da madeira estão contabilizando 30 dias de pré-secagem no campo, mais três dias de secagem em secador convencional (estufa) com capacidade para 175 m³.

2.3. Dados referentes à mão de obra dos sistemas produtivos

A mão de obra é composta por colaboradores que desempenham diferentes funções na carvoaria e, conseqüentemente, os respectivos salários de cada profissional envolvido variam tanto com o cargo ocupado quanto com o sistema produtivo adotado. A seguir, têm-se os cargos e uma base salarial mensal (ano 2010) utilizada como referência neste trabalho, ou seja: ajudante de produção, de R\$650,00 a R\$700,00; tratorista, de R\$800,00 a R\$1.000,00; encarregado, R\$2.100,00; carbonizador, de R\$970,00 a R\$1.200,00; pedreiro, de R\$700,00; e operador de estufa, de R\$700,00.

Dependendo das características do sistema produtivo em questão, esses cargos podem existir em maior ou menor quantidade. Por exemplo, no caso do

sistema RB e do RA não existe a etapa de secagem da madeira em estufa; logo, a quantidade de operadores de estufa foi igual a zero. Analogamente, no sistema RA e CM não existe a necessidade de pedreiros, sendo, assim, a quantidade também igual a zero.

Além desse salário básico, também foi atribuído um percentual de encargos sociais de 57,70% e benefícios de 48,11% a todos os colaboradores dos três sistemas de produção de carvão vegetal em estudo. Embora a quantidade de colaboradores seja distinta, conforme o sistema produtivo, a taxação de encargos sociais e benefícios permaneceram constantes, tendo em vista que a carvoaria é a mesma.

2.4. Dados referentes à tributação de impostos dos sistemas produtivos

A carvoaria estudada pertence a uma siderúrgica que se enquadra no chamado Lucro Presumido. As empresas que não são obrigadas a apurar seus lucros pelo sistema de Lucro Real podem se valer da opção pelo Lucro Presumido. Para isso, o limite de faturamento anual da empresa não pode superar R\$24.000.000,00.

Na tributação de impostos, portanto, consideraram-se as taxações de 25% sobre o lucro líquido para o Imposto de Renda de Pessoa Jurídica (IRPJ); 9% sobre o lucro líquido para a Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL); 7,6% sobre a receita bruta para a Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (COFINS); 1,65% sobre a receita bruta para o Programa de Integração Social (PIS); e 18% sobre a receita bruta para o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS).

3. RESULTADOS

Os dados de custos e receitas levados em conta para a análise de viabilidade econômica dos três investimentos aqui tratados são apresentados na Tabela 2.

O maior investimento inicial se mostra para o sistema CM, tendo em vista o maior nível tecnológico requerido para a implantação desse sistema produtivo. O sistema RB, por ser construído de forma artesanal, apresenta o menor investimento inicial.

A depreciação foi calculada pelo método de Depreciação Linear, por ser o usual no país em análises de investimentos (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE,

2007). A depreciação linear mostrou-se mais significativa para o sistema CM, pelo fato de o valor residual do investimento ser igual ao valor de revenda estabelecido. O valor de revenda do sistema CM foi estimado em 10% do investimento inicial, atingindo R\$550.327,80. Por serem feitos de alvenaria e passíveis de reforma, a revenda dos sistemas produtivos RB e RA foi descartada do estudo.

O custo com consumo de energia elétrica para o sistema CM foi cotado em R\$6.400,00 por mês (para o consumo de energia de 22.400 kWh/mês), devido aos sistemas auxiliares como queimador de gases, estufa de secagem, sistemas de exaustão e outros. Para o sistema RA, o custo com energia elétrica foi estabelecido, considerando-se a necessidade de iluminação elétrica na carvoaria, visto que foram definidos três turnos de trabalho. Para o sistema RB, o custo com energia elétrica é nulo pelo fato de as atividades serem realizadas apenas em período diurno.

Para o estabelecimento do custo mensal de manutenção da carvoaria, foram incluídas despesas como consumo de combustível dos veículos e manutenções preventivas dos fornos.

3.1. Resultados da análise comparativa de viabilidade econômica

Baseando-se nos dados da Tabela 2, foram aplicadas as ferramentas VAUE, VPL, TRI, B/C e *Pay Back*. Com os resultados, os empreendimentos foram analisados criticamente em busca da escolha pela melhor alternativa de investimento. A Tabela 3 mostra os resultados das análises por sistema produtivo.

4. DISCUSSÃO

Pelas ferramentas VAUE e VPL, o sistema CM apresentou os melhores resultados, mostrando-se a melhor alternativa de investimento. Isso se deve, principalmente, ao menor custo com consumo de matéria-prima e de mão de obra.

Pelo método da TIR, as três alternativas de empreendimento mostraram-se viáveis economicamente, pois a TIR de cada sistema produtivo analisado foi superior à TMA estabelecida. Porém, o sistema RA teve uma taxa de 31,79%, sendo esta maior em relação ao sistema CM, de 30,29%. Isso demonstra que o primeiro sistema foi a melhor alternativa de investimento perante o método. Todavia, a diferença percentual entre as taxas foi de apenas 1,5%.

Tabela 2 – Custos de produção e receitas de cada sistema produtivo estudado
Table 2 – Production costs and earnings for each production system studied

Custos e receitas mensais	RB	RA	CM
	Custos Fixos		
Investimento inicial (R\$)	-585.600,00	-1.840.000,00	-5.503.278,00
Depreciação linear (R\$/mês)	-9.760,00	-15.333,33	-27.516,39
Tributação de impostos (R\$/mês)	-195.629,21	-195.629,21	-195.629,21
	Custos Variáveis		
Custo com mão de obra (R\$/mês)	-67.081,63	-64.494,92	-33.124,36
Custo de energia elétrica (R\$/mês)	0,00	-1.231,20	-6.400,00
Custo com matéria-prima (R\$/mês)	-361.800,00	-324.000,00	-248.832,00
Custo da reforma completa de todos os fornos (R\$)	-545.600,00	-200.000,00	0,00
Custo estimado de manutenção da carvoaria (R\$/mês)	-11.051,45	-6.024,64	-2.500,00
Valor de revenda ao final da vida útil (R\$)	0,00	0,00	550.327,80
Receita mensal (R\$/mês)	662.476,14	662.476,14	662.476,14

Tabela 3 – Resultados obtidos pelas análises econômicas
Table 3 – Results from economic analysis performed

Ferramentas econômicas (TMA = 15% ano)	RB	RA	CM
VAUE (R\$/ano)	6.409,12	252.339,35	712.255,68
VPL (R\$)	21.484,37	1.266.432,83	3.574.646,49
TIR (a.a. %)	16,47	31,79	30,29
TRI (a.a. %)	-	31,50 (RA)-(RB)	29,00 (CM)-(RA)
B/C	1,06	1,15	1,20
Pay Back (anos)	2,84	2,93	3,09

Na determinação da viabilidade econômica pelo método TRI, inicialmente foi verificado se o sistema RA era a melhor opção em relação ao sistema RB, denotando-se a simbologia (RA)-(RB). Assim, o sistema RA prevaleceu como a melhor alternativa de investimento, visto que a taxa TRI de 31,50% é maior que a TMA estabelecida. Em seguida, fez-se a mesma análise para (CM)-(RA) e, nesse caso, observou-se a viabilidade econômica superior do sistema (RA), pois a TRI de 29,00% é menor que a da situação anterior para (RA)-(RB). Portanto, mais uma vez, o sistema RA mostrou-se o mais viável economicamente para a produção de carvão vegetal.

Os resultados obtidos pelo método B/C mostraram-se maiores que 1 para os três sistemas avaliados, o que confirma a viabilidade econômica de todas as alternativas de investimento. Todavia, o sistema CM apresentou o melhor resultado, com um índice de 1,20. Porém, esse resultado mostrou-se bem próximo ao resultado do sistema RA, que foi de 1,15.

Por fim, os resultados considerando o método tempo de *pay back* dos investimentos mostraram-se próximos de três anos, sendo 2,84 anos o menor índice para o sistema RB. Porém, apenas seu resultado de *pay back* mostrou-se o melhor em comparação com os resultados obtidos pelos outros métodos para os sistemas alternativos RA e CM.

Pelos resultados apresentados, notou-se que todas as alternativas de investimento mostraram-se um bom negócio, pois os resultados obtidos mediante os métodos de avaliação econômica foram positivos. Porém, a alternativa de investimento menos viável economicamente foi o sistema RB. Apesar de apresentar desempenho econômico positivo, deve-se priorizar o fato de ser possível alcançar maiores benefícios econômicos com os sistemas RA e CM.

Na comparação entre os sistemas RA e CM, percebeu-se uma nítida tendência de equilíbrio nos resultados pelas ferramentas TIR, TRI, B/C e *pay back*. Apesar desse equilíbrio, como nos métodos VAUE e

VPL o sistema CM apresentou saldo positivo notavelmente superior em comparação com o sistema RA, no balanço dos resultados, a melhor alternativa econômica de investimento foi o sistema CM, com fornos cilíndricos metálicos.

O sistema produtivo CM, além de ser a alternativa economicamente mais viável, se mostra a mais eficiente tecnicamente, ao permitir que se obtenha a mesma produção de carvão vegetal que os outros sistemas, porém com a menor demanda de fatores de produção, como no consumo de matéria-prima e de mão de obra. Esse sistema também possibilita a reciclagem interna dos gases da carbonização para a combustão em queimadores de gases na secagem da madeira em estufa, o que ambientalmente apresenta implicações relevantes a serem desenvolvidas em futuros trabalhos. Desse modo, tendo em vista os resultados de viabilidade econômica detalhados nesta pesquisa, optou-se pela sugestão do sistema produtivo com fornos cilíndricos metálicos, em substituição ao sistema atual da carvoaria estudada com fornos tradicionais tipo rabo quente. Essa sugestão foi realizada aos responsáveis pela carvoaria estudada, e a empresa mostrou-se interessada pela substituição de seu sistema produtivo atual.

Tendo em vista o tripé da sustentabilidade, este trabalho focou na sustentabilidade econômica, analisando-se em detalhes as três alternativas de investimento abordadas. Todavia, sobre os aspectos sociais envolvidos, como próximo passo, uma análise dos impactos sobre a saúde e segurança ocupacional dos trabalhadores para os três modelos de empreendimentos avaliados no estudo poderá ser realizada. Quanto aos aspectos ambientais, comparativamente aos demais sistemas avaliados, é possível afirmar que o sistema CM possibilitou a maior diminuição na demanda por madeira cultivada no campo, devido ao seu rendimento gravimétrico da ordem de 40%. Os dados da Tabela 1 indicaram que o sistema CM apresentou demanda 31% menor de área de plantio necessária para abastecer a carvoaria mensalmente em relação ao sistema RB e 23% menor em relação ao sistema RA. Consequentemente, isso reduz o ritmo da demanda por madeira e das atividades de seu cultivo no campo. Todavia, a quantificação dos impactos ambientais envolvidos nos três modelos de produção estudados não foi objetivo deste artigo, sendo esta uma possibilidade de pesquisa futura.

5. CONCLUSÃO

Neste estudo, notou-se a importância de avaliar economicamente alternativas de empreendimentos, considerando os diversos métodos de avaliação econômica disponíveis. Isso possibilitou melhor embasar a tomada de decisão sobre a alternativa de investimento economicamente mais viável.

Todos os sistemas produtivos avaliados mostraram-se viáveis perante os métodos de Engenharia Econômica utilizados. O sistema tradicional de fornos rabo quente, mesmo sendo artesanal, de baixo rendimento e poluente, apresentou viabilidade econômica. Entretanto, os resultados mostrados foram inferiores se comparados com as demais alternativas avaliadas, tecnologicamente mais avançadas.

Com base nos resultados econômicos, a melhor alternativa de investimento entre as três analisadas demonstrou ser a aquisição do sistema com fornos cilíndricos metálicos. Esse sistema apresentou claramente os melhores resultados de viabilidade econômica pelos métodos VAUE e VPL. Todavia, pelos métodos TIR, TRI, B/C e *pay back*, o sistema com fornos retangulares em alvenaria apresentou os melhores resultados, sendo estes, porém, sensivelmente aproximados em comparação com o sistema com fornos cilíndricos.

No processo decisório sobre a escolha da melhor alternativa de investimento, aspectos sociais e ambientais poderão ser incluídos em trabalhos futuros, visando a uma análise de sustentabilidade dos principais sistemas produtivos de carvão vegetal no país.

6. REFERÊNCIAS

- ANTAL JR., M. J.; GRØNLI, M. The art, science and technology of charcoal production. **Industrial Engineering Chemical Research**, v.42. n.8, p.1619-1640, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS. – ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2012. STCP Engenharia de Projetos, 2013.
- ARRUDA, T. P. M. et al. Avaliação de duas rotinas de carbonização em fornos retangulares. **Revista Árvore**, v.35, n.4, p.949-955, 2011.
- BAILIS, R. et al. Innovation in charcoal production: a comparative life-cycle assessment of two kiln technologies in Brazil. **Energy for Sustainable Development**, v.17. n.2, p.189-200, 2013.

- CASAROTTO FILHO, N.; KOPITTKE, B. H. **Análise de investimentos:** matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial. 10.ed. São Paulo: Atlas, 2007. 468p.
- GUIMARÃES NETO, R. M. et al. Avaliação econômica e financeira de projetos de fornos dos tipos *container* industrial e retangular de 40 estéreos. **Revista Árvore**, v.31, n.4, p.709-715, 2007.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Statistics & Balances**. Paris: OECD/IEA, 2011.
- KATO, M. et al. World at work: charcoal producing industries in northeastern Brazil. **Occupational Environmental Medicine**, v.62, n.2, p.128-132, 2005.
- LORAE, S.; ANDRADE, R. V. Biomass as energy source in Brazil. **Renewable Energy and Sustainable Reviews**, v.13, n.4, p.777-788, 2009.
- MEIRA, A. M.; BRITO, J. O.; RODRIGUEZ, L. C. E. Estudo de aspectos técnicos, econômicos e sociais da produção de carvão vegetal no município de Pedra Bela, São Paulo, Brasil. **Revista Árvore**, v.29, n.5, p.809-817, 2005.
- MONTEIRO, M. A. Siderurgia na Amazônia: aspectos energéticos e sociais. In: MAGALHÃES, S. B.; BRITTO, R. C.; CASTRO, E. R. (Org.). **Energia na Amazônia**. Energia na Amazônia. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, Universidade Federal do Pará, Associação das Universidades Amazônicas, 1996. v.2. p.861-886.
- MUYLAERT, M. S.; SALA, J.; FREITAS, M. A. V. The charcoal's production in Brazil – process efficiency and environmental effects. **Renewable Energy**, v.16, n.1-4, p.1037-1040, 1999.
- PEREIRA, J. C. D. et al. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113p. (Documento, 38)
- PIMENTA, A. S. et al. Avaliação do perfil dos trabalhadores e de condições ergonômicas na atividade de produção de carvão vegetal em bateria de fornos de superfície do tipo “rabo-quente”. **Revista Árvore**, v.30, n.5, p.779-785, 2006.
- PINHEIRO, P. C. C. **A produção de carvão vegetal: teoria e prática**. Belo Horizonte: Edição do Autor, 2006.
- REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 389p.
- SANTOS, S. F. O. M.; HATAKEYAMA, K. Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural. **Produção**, v.22, n.2, p.309-321, 2012.
- SILVA, D. A. L. et al. Life cycle assessment of medium density particleboard (MDP) produced in Brazil. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v.18, n.7, p.1404-1411, 2013.

