

# SÍNTESE EMERGÉTICA DA PRODUÇÃO DE MUDAS DE SERINGUEIRA (*HEVEA brasiliensis*)<sup>1</sup>

Luis Alberto Ambrósio<sup>2</sup>, Marli Dias Mascarenhas Oliveira<sup>3</sup>,  
Elaine Cristine Piffer Gonçalves<sup>4</sup>

**RESUMO:** As mudas de seringueiras são insumos básicos contabilizados nas avaliações econômicas e da sustentabilidade dos sistemas de produção de borracha natural. A síntese emergética avaliou a sustentabilidade contabilizando os fluxos de energia convertidos em energia, multiplicando as quantidades dos recursos pelos respectivos valores unitários de energia (UEVs). Os UEVs da muda de seringueira calculados com a linha de base de energia da biogeosfera de  $12,0E24$  sej ano<sup>-1</sup> apresentaram transformidade igual  $2,44E+6$  sej J<sup>-1</sup>, energia específica de  $2,68E+9$  sej g<sup>-1</sup> e energia por unidade de muda de  $4,02E+12$  sej unid<sup>-1</sup>. O sistema de produção de mudas de seringueira é sustentável, apresentando renovabilidade de 59,76%. Nas relações de trocas emergéticas, o viveirista foi favorecido na venda das mudas, EER(U) de 0,36, e na maioria das compras de insumos, EER(F) 71,85. Os UEVs calculados são aplicáveis nas avaliações de sistemas de produção de borracha natural para a região noroeste do Estado de São Paulo, formados com mudas produzidas em sacolas plásticas enterradas no solo.

**Palavras-chave:** sustentabilidade, borracha natural, energia, transformidade, UEV.

## EMERGY SYNTHESIS OF THE RUBBER TREE (*HEVEA brasiliensis*) SEEDLINGS PRODUCTION

**ABSTRACT:** The rubber tree seedlings are basic inputs accounted for in the economic and sustainability assessments of natural rubber production systems. The emergy synthesis evaluated sustainability by accounting the energy flows converted to emergy by multiplying their quantities of resources by the respective unit emergy values (UEVs). The rubber tree seedling UVS calculated with the biogeosphere energy baseline of  $12.0E+24$  sej yr<sup>-1</sup>, had a transformity equal to  $2.44E+6$  sej J<sup>-1</sup>, a specific emergy of  $2.68E+9$  sej g<sup>-1</sup> and emergy per seedling unit of  $4.02E+12$  sej unit<sup>-1</sup>. The system is sustainable as shown the renewability of 59.76%. The seedlings producer was favored in the emergy exchange relations in the sale of the seedlings, EER(U) of 0.36, and in the most the purchases of inputs, EER(F) of 71.85. The calculated UEVs are applicable in the evaluation of natural rubber production systems for the Northwest Region of the State of São Paulo, formed with seedlings produced into the plastic bags in the soil.

**Key-words:** sustainability, natural rubber, emergy, transformity, UEV.

**JEL Classification:** O13, Q2, Q4.

---

<sup>1</sup>Registrado no CCTC, REA-02/2019.

<sup>2</sup>Engenheiro Agrônomo, Doutor, Pesquisador Científico, Instituto de Zootecnia, Nova Odessa, SP, Brasil (e-mail: luis.ambrosio@sp.gov.br).

<sup>3</sup>Engenheira Agrônoma, Mestre, Pesquisadora Científica, Instituto de Economia Agrícola, São Paulo, SP, Brasil (e-mail: marlimascarenhas@sp.gov.br).

<sup>4</sup>Engenheira Agrônoma, Pesquisadora Científica, Departamento de Descentralização do Desenvolvimento da APTA, Colina, SP, Brasil (e-mail: elaine.piffer@sp.gov.br).

## 1 - INTRODUÇÃO

O plantio comercial de seringueira no Estado de São Paulo para a produção de borracha natural usa mudas clonadas de cultivares de alta produção e resistentes as pragas e doenças. Em geral, são necessárias 500 mudas de seringueira por hectare (OLIVEIRA; GONÇALVES, 2019), que se constituem em item importante na composição dos custos da formação do seringal e no consumo de recursos renováveis e não renováveis por unidade de área.

Para se avaliar a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola ou florestal usando a metodologia de síntese emergética (ODUM, 1996), é necessário contabilizar os fluxos de energia dos recursos naturais renováveis (R) e não renováveis (N), e dos recursos provenientes da economia na forma de materiais (M) e serviços (S), além de, conforme Ortega, Anami e Diniz (2002), suas frações renováveis (MR e SR) e não renováveis (MN e SN). Nesse método, o índice de valor unitário de energia (*unit energy value* - UEV) é usado para converter os fluxos de cada fonte de energia, matéria e informação que entram no sistema de produção em fluxos de energia por unidade em joules solar por área e tempo. Os UEVs dos recursos da natureza e da economia são nomeados de transformidade quando a unidade é expressa em energia, de energia específica quando expressa em massa e de energia monetária quando a moeda é a unidade. No caso de cálculo do UEV de mudas de seringueira, assumindo que existe uma homogeneidade nas características fitotécnicas das mudas e nas tecnologias adotadas nos viveiros, pode-se expressar o UEV em sej por unidade de muda.

Alguns sistemas de produção vegetal (frutícolas, pastagens, florestais, hortícolas e florícolas) são instalados por meio de mudas, ao invés de sementes. Devido à diversidade das estruturas e dos processos de produção de mudas em viveiros, dentre as diversas espécies de vegetais, é raro encontrar na literatura trabalhos que apresentem os UEVs das mudas; alguns exemplos são de Romanelli (2007), Romanelli et al. (2008) e Ortega Rodrigues (2010). Quando o UEV não é relatado na literatura, é praxe da avaliação emergé-

tica contabilizar o fluxo emergético de mudas a partir de seu valor econômico multiplicado pelo UEV da moeda corrente (emdólar) (BROWN; BARDI, 2001). Com isso, o valor real da muda é estimado indiretamente, comprometendo a exatidão da avaliação emergética. Romanelli (2007) calculou o UEV para cada muda de eucalipto, no Estado de São Paulo, a  $1,71E+11$  sej muda<sup>-1</sup>, enquanto o UEV baseado em energia monetária (Em\$, emdólar) para muda de eucalipto na Florida (EUA) foi de 14 vezes maior ( $2,40E+12$  sej muda<sup>-1</sup>), o que demonstra a necessidade de esforços para contabilizar os fluxos emergéticos de mudas obtendo os UEVs, e expressá-los em energia específica e transformidade, ao invés de usar o Em\$.

Os sistemas de produção por meio de transações econômicas recebem da economia um fluxo de energia monetária proporcional à quantidade de produtos e aos preços praticados no mercado. O fluxo de energia monetária contribui para formar o estoque de capital financeiro usado, em parte, para pagamento dos fluxos de energia dos materiais (M) e serviços (S) da economia, que retroalimentam o sistema. A sustentabilidade econômica da produção de mudas de seringueira está relacionada com as relações de troca emergética que se estabelecem entre o viveirista e o comprador de mudas, e o viveirista e o vendedor de materiais ou serviços. Odum (1996) usa o índice EER (*energy exchange ratio*) para analisar a relação de troca emergética entre produto (*output*) e fluxo monetário. Lu et al. (2009) aplicaram o EER para avaliar a relação de troca emergética entre insumos e fluxo monetário na fruticultura.

Com o objetivo de avaliar a sustentabilidade do sistema de produção de mudas de seringueira em sacolas plásticas enterradas no solo para a região noroeste do Estado de São Paulo, este trabalho avaliou as relações de trocas emergéticas e calculou os UEVs da muda de seringueira, usando os dados de custo de produção apresentado por Noal et al. (2013). Os dados de fontes de recursos naturais, bem como a quantidade de energia associada a depreciação de componentes de custo fixo e respectivos índices de UEVs, foram obtidos na literatura.

## 2 - MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 - Descrição do Sistema de Produção de Muda de Seringueira

Noal et al. (2013) coletaram dados para fins de análise de custo operacional de produção de mudas de seringueira, no período de janeiro a dezembro de 2012, do sistema de produção de mudas de seringueira em sacolas plásticas enterradas no solo<sup>5</sup> do sítio São Pedro, município de Poloni, região noroeste do Estado de São Paulo.

O ciclo de produção das mudas no viveiro São Pedro compreende aproximadamente 12 meses, com uma capacidade instalada de 50.000 mudas. Para a produção de plântulas de porta-enxerto, o produtor compra as sementes do clone GT1, que são semeadas em germinadores de areia tratada com fungicida, irrigados com água de poço semiartesiano e sombreados a 50%. Para a formação dos porta-enxertos, as 50.000 plântulas selecionadas com idade de 15 a 20 dias são transplantadas para sacolas plásticas com substrato de terra de subsolo, as quais são enterradas no solo, fazendo-se replantio se necessário. Os tratamentos culturais na fase de formação dos porta-enxertos incluem irrigação, aplicação de fertilizantes e fungicidas e capinas manuais ao longo de oito meses. Para a formação das mudas, os porta-enxertos são enxertados com borbulhas, produzidas no jardim clonal próprio e fixadas com fitas plásticas por 20 dias; uma semana depois recebem poda para induzir a brotação e são encanteiradas, recebendo tratamentos fitossanitários durante um a dois meses para completar o crescimento, resultando na produção de 35.394 mudas comerciais de seringueira.

No Estado de São Paulo em 2013 (SÃO PAULO, 2015), iniciou-se a regulamentação da produção de mudas de seringueira, conforme novas normas técnicas de defesa sanitária proibindo novas produ-

ções de mudas em sacolas plásticas ou em contato direto com o solo, tal como o sistema avaliado neste trabalho, e o fim da comercialização destas mudas em dezembro de 2015. Entretanto, os seringais comerciais plantados antes desse período usaram mudas produzidas em sacolas plásticas no solo e, para a avaliação emergética destes seringais, é necessário conhecer o UEV destas mudas.


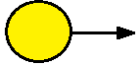
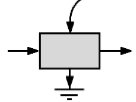
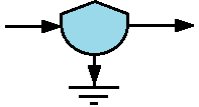
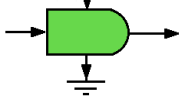
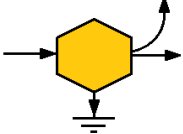
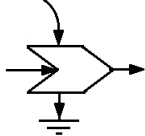
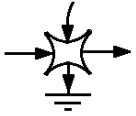
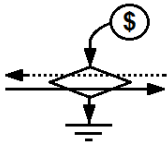

### 2.2 - Síntese Emergética

A energia (*energy*) é definida por Odum (1996) como sendo a energia disponível (exergia) de um mesmo tipo (por exemplo, energia solar equivalente) que foi previamente requerida, na forma direta ou indireta, para produzir um certo produto ou serviço. No âmbito da Teoria de Sistemas, as exergias são os *inputs* e os produtos ou serviços são os *outputs* de um sistema. Para não confundir a energia que existe em um produto (energia do produto - EP), medida na unidade joules, com a que é incorporada para fazê-lo (*embodied energy*), as unidades de energia são nomeadas de emjoules solar (*sej*).

A aplicação da metodologia emergética implica numa visão sistêmica ou holística, requerendo, primeiramente, definir a janela de observação, identificando o limite do sistema no espaço e tempo e os componentes do sistema associados ao problema estudado, e os respectivos fluxos de entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) de energia, massa e informação. As relações sistêmicas, como interações e retroalimentações entre os componentes do sistema e os fluxos de massa e energia, são explicitamente mostradas em um modelo conceitual construído na forma de diagrama de sistema de energia que utiliza os símbolos (*energese*) propostos por Odum (1996, 1998). Os símbolos propostos por Odum e seus significados são apresentados no quadro 1.

<sup>5</sup>Os sistemas de produção de mudas de seringueira em produção de mudas de seringueira em sacolas plásticas enterradas no solo foram substituídos a partir de 2015 por sistemas de produção em bancadas, conforme normas fitossanitárias publicadas nas Resoluções SAA-154, de 22/11/2013, e SAA-23, de 26/06/2015 (SÃO PAULO, 2015).

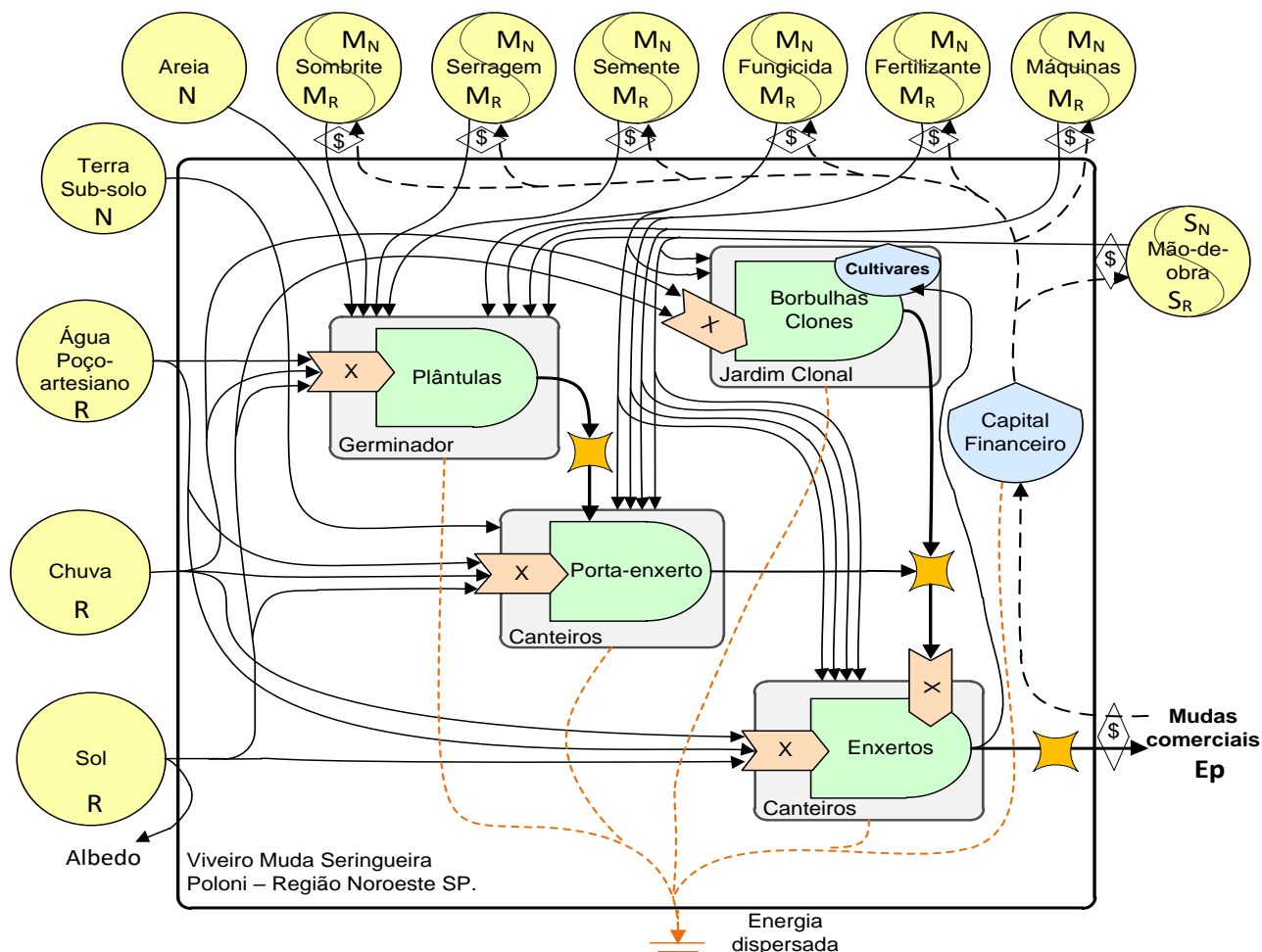
**Quadro 1** - Símbolos do sistema de energia propostos por Odum, usados na construção do modelo conceitual do sistema

	<p>Fluxo de energia: indica o caminho do fluxo de energia, matéria ou informação entre as fontes externas (naturais ou antrópicas), os estoques, produtores, consumidores e sumidouros (drenos) do sistema.</p>
	<p>Fonte: é um recurso externo, natural ou antrópico fornecido para o sistema.</p>
	<p>Caixa: este símbolo é usado para definir os limites do sistema e de seus subsistemas.</p>
	<p>Estoque: é uma reserva do sistema, que armazena uma quantidade de energia ou material de acordo com o balanço dos fluxos de entrada e saída de energia. É uma variável estado.</p>
	<p>Produtor: é o componente do sistema que coleta e transforma energia de baixa qualidade (baixa intensidade) em energia de alta qualidade, usando interações de energia de forma controlada.</p>
	<p>Consumidor: é o componente do sistema que transforma a qualidade da energia produzida pelo produtor, armazena e retroalimenta energia para a etapa anterior (sistema auto catalítico), influenciando o fluxo de energia que recebe.</p>
	<p>Interação: intersecção interativa de dois fluxos de energia que produzem um fluxo de saída de energia proporcional a uma relação funcional entre ambos ou a um controle de ação de um fluxo sobre outro; representa um fator limitante ou estação de trabalho.</p>
	<p>Chave: símbolo que indica uma ação de conexão-desconexão, como o início e o fim de um incêndio, alta e baixa maré, polinização das flores, colheita ou venda da produção.</p>
	<p>Transação: este símbolo indica o fluxo de energia da comercialização, compra e venda, de bens ou serviços (linha contínua), associado ao fluxo de energia correspondente ao recebimento ou pagamento monetário (linha tracejada).</p>
	<p>Sumidouro de energia: representa a dispersão de parte dos fluxos de energia potencial que ocorre por causa da entropia do sistema ao realizar trabalho. Indica a energia que é dispersa e que já não pode ser usada para produzir trabalho.</p>

Fonte: Desenho do autor, conforme linguagem de sistemas de energia de Odum (1996, 1998).

O diagrama do sistema de energia da produção de mudas de seringueira na região noroeste do Estado de São Paulo é apresentado na figura 1. No diagrama, destacam-se as fontes de energia de recursos

da natureza, e de materiais e serviços da economia com frações renováveis. Assume-se um processo autocatalítico na produção de borbulhas com retroalimentação de muda enxertada para o jardim clonal.



**Figura 1** - Diagrama<sup>1</sup> do sistema de energia da produção de mudas de seringueira.  
<sup>1</sup>Diagrama com *inputs* de fluxos de energia de fontes naturais (R renováveis, N não renováveis,  $I = R + N$ ) e fluxos agregados de energia do *feedback* da economia (M materiais, S serviços,  $F = M+S$ ) com renovabilidade parcial (frações renováveis). O jardim clonal próprio produz as borbulhas, as quais serão enxertadas em porta-enxerto formados por sementes externas, e as mudas são cultivadas em sacolas plásticas até a formação de mudas comerciais.  
 Fonte: Desenho do autor, conforme linguagem de sistemas de energia de Odum (1996), e de Noal et al. (2013) como fonte de informações operacionais do sistema.

### 2.3 - Índices Emergéticos como Indicadores da Sustentabilidade dos Sistemas de Produção.

Com base em Odum e Odum (2013), pode-se considerar que a sustentabilidade dos sistemas de produção não é um estado estacionário a ser alcançado, mas sim um comportamento gerencial adaptado às oscilações de acúmulo e degradação dos estoques de capital natural, em busca de melhor desempenho em cada estágio da oscilação global, que provee mais ou menos fluxos de recursos renováveis para a sociedade.

Os índices emergéticos são indicadores que possibilitam o monitoramento da sustentabilidade dos sistemas de produção com foco na produção líquida, na carga ambiental, no uso de recursos não renováveis e na renovabilidade das fontes de energia, matéria e informação. Brown e Ulgiati (1997) mostram como diversos índices emergéticos podem ser definidos para captar os diversos aspectos da sustentabilidade dos sistemas. Neste trabalho, aplicam-se os índices emergéticos propostos por Odum (1996), calculados usando os valores dos fluxos agregados de energia

(R, N, M e S), enriquecidos com a proposta de Ortega, Anami e Diniz (2002) da inclusão de frações renováveis e não renováveis dos recursos da economia (MR, MN, SR e SN) para ampliar a avaliação da sustentabilidade e qualidade dos produtos. A fração renovável de cada recurso aumenta com a sua renovabilidade natural e com produção local com maior independência.

Um dos pressupostos para a aplicação da síntese emergética na avaliação da sustentabilidade dos sistemas de produção é o de que melhores resultados são obtidos quando se otimiza o fluxo de energia do capital natural, com estoques oscilantes, maximizando o uso de recursos renováveis e minimizando o uso dos recursos não renováveis. Esses aspectos podem ser indicados pela renovabilidade parcial (%Ren) e pela razão de carga ambiental parcial (*environmental loading ratio* – ELR) na produção de muda em um viveiro por unidade de tempo (ano), assim definidos:

- A renovabilidade parcial (%Rp) é a razão entre a soma dos fluxos de energia dos recursos de fontes renováveis da natureza e das frações renováveis das fontes de energia da economia local pelo fluxo da energia total usada (U) para produzir um bem ou serviço, expressa como  $\%Rp = [(R+MR+SR)/U]*100$ . A %Rp mostra a dependência do sistema em recursos renováveis. Quanto maior a %Rp, maior a sustentabilidade no longo prazo. A renovabilidade de produtos da agricultura, em geral, se encontra entre 10 a 30%. Mas, por exemplo, a produção de borracha natural em São Paulo tem renovabilidade alta igual a 50% (AGOSTINHO; AMBRÓSIO; ORTEGA, 2010). A gestão da sustentabilidade na produção de mudas de seringueira busca ampliar a participação dos recursos renováveis, substituindo os recursos não renováveis; por isso, deve-se avaliar a participação de cada recurso na formação deste índice.

- A razão de carga ambiental (ELR) é a razão entre a soma dos fluxos de energia de fontes de recursos não renováveis da natureza e das frações não renováveis das fontes de recursos da economia local, e a soma dos fluxos de energia das fontes renováveis da natureza e dos fluxos de energia das frações renováveis dos materiais e serviços da economia local, expressa como  $ELR = (N+MN + SN)/(R + MN +SN)$ . A

ELR indica o estresse do ecossistema causado pelo sistema de produção, considerando que, em termos gerais, carga se refere a uso e consumo. Quanto menor a ELR, maior a sustentabilidade que pode ser alcançada, por exemplo, substituindo-se materiais de origem fóssil por produtos orgânicos e reciclados.

Outro pressuposto da aplicação da síntese emergética é o de que os sistemas de produção sustentáveis apresentam baixo grau de dependência de subsídios da economia e equidade nas relações de troca com equivalência emergética entre compradores e vendedores de produtos, insumos e serviços. Para indicar estas relações, Odum (1996) propôs os índices de razão de rendimento emergético (EYR), razão de investimento emergético (EIR) e razão de intercâmbio emergético (EER), que podem ser usados na avaliação dos sistemas de produção de mudas de seringueira, conforme definido:

- A razão de rendimento emergético (EYR) é a razão entre o fluxo de energia total usado (U) no sistema e os fluxos de energia do feedback da economia ( $F = M+S$ ), expressa como  $EYR = U/F$ . A EYR indica a contribuição potencial do sistema por unidade de energia dos recursos comprados para o sistema econômico. Quanto maior o EYR, maior a contribuição e, assim, sistemas sustentáveis são mais eficientes incorporando maior quantidade de energia de recursos da natureza por unidade de recursos da economia.

- A razão de investimento emergético (EIR) é a razão entre os fluxos de energia do *feedback* da economia (F) e os fluxos de energia de fontes da natureza ( $I = R+N$ ), expressa como  $EIR = F/I$ . Quanto maior o EIR, maior o investimento em recursos da sociedade para produzir um determinado bem ou serviço em relação ao investimento em recursos da natureza. Sistemas sustentáveis apresentam EIR menor que 1 por usar mais recursos da natureza e menor custo econômico, e, portanto, fornecem produtos mais competitivos no mercado. Quando o investimento da sociedade é feito por meio de materiais, serviços e informações renováveis, a contribuição é mais benéfica para a sustentabilidade, por exemplo, quando se compram insumos de materiais reciclados, biocombustíveis, mão de obra local etc.

- A razão de intercâmbio emergético (EER) é a razão entre o fluxo de energia total usado pelo sistema e o fluxo de energia da receita monetária bruta que entra no sistema por meio da venda dos produtos do sistema, por unidade de tempo, expressa como  $EER = U / [(US\$)*(sej/US\$)]$ . Este índice usado por Odum (1996) para avaliar relações de trocas entre nações tem utilidade em todas as escalas econômicas para avaliar o equilíbrio na comercialização do produto do sistema. No contexto da economia da produção, a relação de troca emergética na comercialização do produto deve ser complementada pela relação de troca entre o fluxo de energia monetária do preço pago para o vendedor e o fluxo de energia que retorna por meio de insumos e serviços comprados pelo produtor, que corresponde à compra de fluxos de energia por recurso de F. Então, propõe-se aqui diferenciar o EER(U), conforme definido por Odum (1996), e o EER(F) expresso neste trabalho, como:  $EER(F) = F / [(US\$)*(sej/US\$)] / F$ . Além de comparar com o F total como em Lu et al. (2009), é de interesse na avaliação econômica comparar a relação de troca para cada recurso de F separadamente, gerando informações de aplicação gerencial, e observar que a relação de troca em equilíbrio para EER(U) e EER(F) é igual a 1. O produtor será favorecido na venda do produto quando EER(U) for menor que 1, e chama-se a atenção que o produtor será favorecido na compra de insumos quando EER(F) for maior que 1, ou seja, quando a energia do insumo for menor que a energia do valor monetário em emdólar.

Brown e Ulgiati (1997) propuseram o índice de sustentabilidade emergética relacionando a EYR com a ELR, expresso como  $ESI = EYR/ELR$ , considerando que a sustentabilidade dos sistemas é uma função do rendimento líquido da economia e sua carga ambiental. O ESI avalia a contribuição de investimentos com menos recursos não renováveis na produção de mudas de seringueira para sustentabilidade da borracha natural. Assim, sistemas sustentáveis apresentam alto EYR e baixo ELR, ou seja, a economia retroalimenta o sistema com produtos renováveis e o sistema apresenta maior eficiência na produção primária, incorporando fluxos de energia de recursos renováveis naturais.

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da avaliação emergética do sistema de produção de mudas de seringueira em termos de fluxos de energia por item de recursos da natureza e da economia e de fluxos agregados são apresentados nas tabelas 1 e 2.

#### 3.1 - Fluxos Agregados de Energia

Na produção de mudas de seringueira, os recursos naturais renováveis (R) contribuíram com apenas 1,4% do fluxo total de energia (U), sendo as principais fontes a água de chuva e de irrigação proveniente de poço artesiano (Tabela 2). Os recursos não renováveis da natureza (N) são representados pelo uso de areia lavada e terra de subsolo como substratos, e contribuíram com menos de 0,01% do fluxo total de energia. Esse sistema de produção de mudas teve moderada dependência de insumos materiais importados da economia (M), e os principais foram fertilizantes, semente e equipamento de irrigação, que contribuíram com 17,2% do fluxo total de energia, contendo 19,3% de fração renovável de energia. As atividades de produção e mudas em viveiros têm alto potencial de gerar empregos rurais, em particular devido ao trabalho de cultivo e enxertia que requerem mão de obra especializada. Assim, os serviços (S) contribuíram com 81,4% do fluxo total de energia, dos quais 67,6% correspondem a fração renovável (Tabela 2). A transformabilidade do trabalho da mão de obra rural tem uma fração renovável de energia igual a 70%, que gera altos índices de sustentabilidade para produção de mudas de seringueira (Tabela 1).

#### 3.2 - Índices Emergéticos

As razões entre os valores dos fluxos de energia agregados (R, N, M e S), considerando as respectivas frações de renovabilidade e o valor do fluxo de energia total (U), foram usadas nos cálculos dos índices emergéticos apresentados na tabela 3.

**Tabela 1** – Avaliação emergética do sistema de produção de mudas de seringueira em sacolas plásticas enterradas no solo, município de Poloni, Estado de São Paulo, 2012

Nota	Itens	Un.	Quantidade	UEV, sej/unid.	Ref. UEV <sup>1</sup>	FR	Fluxo de energia (sej.ano <sup>-1</sup> )	Fluxo renovável, (sej.ano <sup>-1</sup> )	Fluxo não renovável, (sej.ano <sup>-1</sup> )	% de U	Emdólar
<b>Recurso da natureza renovável (R)</b>							<b>2,02E+15</b>	<b>2,02E+15</b>		<b>1,42</b>	<b>684,3</b>
1	Radiação solar	J	4,83E+10	1	a	1	4,83E+10	-	-	-	-
2	Chuva	J	3,60E+10	2,35E+04	b	1	8,46E+14	8,46E+14	-	0,59	286,1
3	Água poço semiartesiano	J	3,62E+09	3,25E+05	c	1	1,18E+15	1,18E+15	-	0,83	398,2
<b>Recurso da natureza não renovável (N)</b>							<b>1,277E+11</b>	<b>-</b>	<b>1,277E+11</b>	<b>0,00</b>	<b>0,04</b>
4	Areia e terra de subsolo	g	9,94E+07	1,28E+03	a	0	1,277E+11	-	1,277E+11	0,00	0,04
<b>Feedback da economia - material (M)</b>							<b>2,450E+16</b>	<b>4,737E+15</b>	<b>1,976E+16</b>	<b>17,20</b>	<b>8.282,21</b>
5	Serragem	J	8,34E+09	3,80E+04	d	0,43	3,168E+14	1,362E+14	1,806E+14	0,22	107,09
6	Polietileno	g	1,95E+05	7,49E+09	a	0,01	1,461E+15	1,461E+13	1,447E+15	1,03	493,96
7	Calcário	g	1,00E+06	7,23E+09	e	0,01	7,228E+15	7,228E+13	7,155E+15	5,07	2.443,41
8	Adubo - N	g	1,95E+05	1,83E+10	f	0,01	3,572E+15	3,572E+13	3,536E+15	2,51	1.207,44
9	Adubo - P	g	4,88E+04	1,54E+10	f	0,01	7,484E+14	7,484E+12	7,409E+14	0,53	253,01
10	Adubo - K	g	1,95E+05	1,32E+09	f	0,01	2,579E+14	2,579E+12	2,553E+14	0,18	87,18
11	Agroquímicos	g	3,61E+03	1,89E+10	g	0,01	6,832E+13	6,832E+11	6,763E+13	0,05	23,10
12	Semente	g	1,00E+06	5,98E+09	h	0,70	5,982E+15	4,187E+15	1,795E+15	4,20	2.022,21
13	Tinta	g	1,35E+03	1,91E+09	i	0,01	2,572E+12	2,572E+10	2,546E+12	0,0018	0,87
14	Combustível diesel	J	3,56E+10	8,56E+04	j	0,01	3,045E+15	3,045E+13	3,015E+15	2,14	1.029,42
15	Energia elétrica	J	2,92E+09	2,34E+05	a	0,35	6,822E+14	2,388E+14	4,434E+14	0,48	230,62
16	Depreciação irrigação	US\$	3,84E+02	2,96E+12	k	0,01	1,136E+15	1,136E+13	1,124E+15	0,80	383,90
<b>Feedback da economia - serviço (S)</b>							<b>1,159E+17</b>	<b>7,836E+16</b>	<b>3,754E+16</b>	<b>81,38</b>	<b>39.181,06</b>
17	Mão de obra	J	1,65E+10	5,75E+06	l	0,70	9,469E+16	6,629E+16	2,841E+16	66,49	32.012,72
18	Encargos sociais	US\$	2,28E+03	2,96E+12	k	0,60	6,751E+15	4,051E+15	2,700E+15	4,74	2.282,24
19	Serviços máquinas e tratores	US\$	3,74E+02	2,96E+12	k	0,01	1,106E+15	1,106E+13	1,095E+15	0,78	373,83
20	Serviços enxertia	US\$	4,51E+03	2,96E+12	k	0,60	1,335E+16	8,008E+15	5,339E+15	9,37	4.512,27

<sup>1</sup>UEVs convertidos para a linha de base da energia da biogeosfera de 12,0E+24 sej ano<sup>-1</sup> (BROWN; ULGIATI, 2016).

Fonte: Elaborada a partir de dados da pesquisa, além das referências dos UEVs a - Odum (1996), b - Odum, Brown e Brandt-Williams (2000), c - Bastianoni e Marchettini (2000), d - Comar e Komori (2007), e - Silva et al. (2013), f - Brandt-Williams (2002), g - Brown e Ulgiati (2004), h - Brown e Bardí (2001), i - Brown e Ulgiati (2002), j - Bastianoni et al. (2009), k - Pereira. (2012) e l - Brown (2003). Notas dos cálculos dos fluxos de energia de cada item de recurso estão apresentadas no anexo 1

**Tabela 2** – Fluxos agregados de energia do sistema de produção de mudas de seringueira, município de Poloni, Estado de São Paulo, 2012

Fluxos agregados de energia		sej.ano <sup>-1</sup>	%
Recurso renovável da natureza	R	2,024E+15	1,42
Recurso não renovável da natureza	N	1,277E+11	0,01
Material da economia	M	2,450E+16	17,20
Material fração renovável	MR	4,737E+15	3,33
Material fração não renovável	MN	1,976E+16	13,88
Serviços da economia	S	1,159E+17	81,38
Serviços fração renovável	SR	7,836E+16	55,02
Serviços fração não renovável	SN	3,754E+16	26,36
<b>Fluxo total de energia</b>	<b>Y</b>	<b>1,424E+17</b>	<b>100</b>

Fonte: Dados da pesquisa.



**Tabela 3 – Índices emergéticos do sistema de produção de mudas de seringueira, município de Poloni, Estado de São Paulo, 2012**

Índices emergéticos	Equações	Valor
UEV por muda (sej/unidade)	$U/E_p$ , sej/unidade	4,02E+12
Transformidade (Tr) (sej/J)	$U/E_p$ , sej/J	2,44E+06
Energia específica (sej/g)	$U/E_p$ , sej/g	2,68E+09
Renovabilidade (%R)	$100 \times (R/U)$	1,42
Razão de rendimento emergético (EYR)	$U/F$	1,01
Razão de investimento emergético (EIR)	$F/(R+N)$	69,36
Razão de carga ambiental (ELR)	$(F+N)/R$	69,36
Índice de sustentabilidade emergético (ESI)	$EYR/ELR$	0,01
Razão de intercâmbio emergético (EER <sub>U</sub> )	$U/[(\$)\times(\text{sej}/\$)]$	0,36
Razão de intercâmbio emergético (EER <sub>F</sub> )	$F/[(\$)\times(\text{sej}/\$)]$	71,85
Renovabilidade parcial (%Rp)	$100 \times (R+MR+SR)/U$	59,76
Razão de carga ambiental parcial (ELRp)	$(N+MN+SN)/(R+MR+SR)$	0,67

Fonte: Dados da pesquisa.

### 3.2.1 – Valor unitário de energia (UEV)

A transformidade (Tr) das mudas de seringueira (Tabela 3) foi calculada em termos da quantidade total de energia (sej) necessária para a produção de uma unidade de energia expressa em Joules, com valor igual a 2,44E+06 sej J<sup>-1</sup>. A energia específica foi de 2,68E+09 sej g<sup>-1</sup>. O UEV é uma medida inversa à eficiência emergética do sistema de produção e, quanto maior o valor do UEV, maior é a energia usada por unidade de produto em relação à quantidade de energia ou massa. Expressar a energia por unidade de muda tem maior praticidade e é de fácil entendimento pelos produtores de borracha natural e viveiristas (o valor calculado foi de 4,02E+12 sej muda<sup>-1</sup>). Os valores desses UEVs estão em conformidade com a hierarquia de energia dos processos de transformação agroflorestais, conforme Odum (1996). Estes UEVs foram calculados na linha de base de energia da biogeosfera de 12,0E+24 sej ano<sup>-1</sup>, conforme Brown e Ulgiati (2016).

Estes valores de UEV são aplicáveis em estudos de síntese emergética da produção de borracha natural, para seringueiras plantadas na região noroeste do Estado de São Paulo, com mudas produzidas em sacolas plásticas enterradas no solo.

### 3.2.2 – Renovabilidade parcial (%Rp)

O valor da renovabilidade parcial para a produção de muda de seringueira foi de 59,76%, indicando que o sistema de produção é sustentável no longo prazo. No entanto, isso se deve mais ao trabalho humano, sendo baixa a contribuição direta dos recursos da natureza (1,42%).

### 3.2.3 – Razão de rendimento emergético (EYR)

O sistema de produção de mudas apresentou valor de EYR igual a 1,01, bem próximo de 1, indicando haver uma pequena energia líquida entre os fluxos de energia do *feedback* da economia e os dos recursos naturais (Tabela 3), ou seja, a produção de mudas teve baixa contribuição para o sistema econômico por meio da amplificação do investimento de energia. Entretanto, deve-se considerar que grande parte dos fluxos emergéticos dos *feedbacks* da economia (F) é devida ao uso de alta quantidade de mão de obra, o que caracteriza uma contribuição social na geração de empregos pelo sistema. Além disso, a renda dos trabalhadores retorna para recirculação no sistema econômico.

### 3.2.4 – Razão de investimento emergético (EIR)

O alto valor do índice EIR, igual a 69,36, torna explícita a dependência do sistema produção de mudas de seringueira aos recursos da economia (Tabela 3). Como referência para comparações, os sistemas naturais apresentam um EIR igual a 0.

### 3.2.5 – Razão de carga ambiental (ELR)

O valor do índice ELR foi igual a 69,36, indicando alta pressão ambiental do sistema de produção por unidade de área no ciclo anual de produção (Tabela 3). Assim, grande parte do fluxo de emergia da economia é concentrada na pequena área do viveiro, com pouco fluxo de recursos naturais. Devido ao baixo valor de  $N$ , o índice EIR foi aproximadamente igual ao EIR. Para Brown e Ulgiati (2004), valores de ELR acima de 10 são não sustentáveis quando não se consideram as frações renováveis. De outro modo metodológico, a produção de mudas apresentou ELR calculado com a fração renovável igual 0,67, mostrando que o sistema é sustentável no longo prazo com baixíssimo impacto ambiental. Isso mostra a importância da adoção das frações renováveis de  $F$  para avaliação da sustentabilidade dos sistemas.

### 3.2.6 – Razão de intercâmbio emergético – EER(U) e EER(F)

A razão de intercâmbio emergético EER(U) indica as relações de troca entre a emergia do produto e a emergia da receita bruta. Assim, valores acima de 1 indicam benefícios, em termos de emergia, para o comprador do produto, e valores menor que 1 indicam benefícios para o produtor em termos de emergia da receita bruta, tendo o valor de equilíbrio entre a emergia do produto e a emergia monetária da receita uma EER(U) igual a 1. O valor calculado para o sistema de produção de mudas da EER(U) em 0,36 (Tabela 3) indica que o viveirista foi beneficiado na relação de troca de emergia com o comprador das mudas,

provavelmente por causa do alto preço por muda e da baixa empotência no viveiro. De fato, Noal et al. (2013) explicam que, com o mercado de borracha em alta em 2010 e 2011, os viveiros de mudas se beneficiaram pelo grande número de projetos de investimentos em heveicultura, aumentando a demanda por mudas e elevando, dessa forma, o valor das mudas em até 100% (os valores praticados na região de São José do Rio Preto, Estado de São Paulo, ficaram em torno de R\$5,00 a R\$8,00, e no viveiro em estudo o valor foi de R\$8,00). O EER(F) igual a 71,85 indica que o viveirista foi beneficiado na relação de troca com os vendedores de insumos materiais e serviços, em função de esses itens estarem à direita na hierarquia de emergia do sistema, possuindo altos UEVs (Tabela 4).

### 3.2.7 – EER(F) = Fluxo de emergia/EM\$ do insumo

As relações de trocas emergéticas praticadas na compra de insumos do *feedback* da economia foram favoráveis ao comprador, no caso o viveirista. Para a maioria dos itens, o fluxo de emergia que entram no sistema por meio de materiais e serviços foi maior do que o fluxo de emergia que sai do sistema na forma monetária. Os itens com relações de troca emergética desfavoráveis (menores que 1) ao viveirista foram os insumos provenientes da indústria química (polietileno, agroquímicos e tinta), que possuem altos preços de mercado.

A relação de troca da mão de obra igual a 5,35 mostra que o fluxo de emergia é favorável ao viveirista. O trabalhador contribui para o sistema de produção de mudas com grande quantidade de emergia de alta renovabilidade e recebe baixa remuneração em termos de fluxo de emergia monetária.

## 4 – CONCLUSÃO

A produção de mudas de seringueira em sacolas plásticas enterradas no solo é sustentável por usar intensivamente a mão de obra que possui alta renovabilidade e usar poucos insumos materiais da eco-

**Tabela 4** – Relações de troca emergéticas dos insumos comprados EER(F) para produção de mudas de seringueira, município de Poloni, Estado de São Paulo, 2012

Insumos comprados	Custo (R\$)	Emdólar por Insumo (Em\$)	Fluxo de emergia (sej)	EER(F)
Serragem	40	5,53E+13	3,17E+14	5,73
Polietileno	3.708	5,13E+15	1,46E+15	0,29
Calcário	100	1,38E+14	7,23E+15	52,29
Fertilizante NPK	1.275	1,76E+15	3,57E+15	2,60
Agroquímicos	100,76	1,39E+14	6,83E+13	0,49
Semente	3.000	4,15E+15	5,98E+15	1,44
Tinta	20	2,76E+13	2,57E+12	0,09
Combustível diesel	1.831,98	2,53E+15	3,05E+15	1,20
Energia elétrica	360	4,98E+14	6,82E+14	1,37
Mão de obra	12.808,75	1,77E+16	9,47E+16	5,35
Serviços enxertia	9.656,25	1,33E+16	1,33E+16	1,00
<b>EER(F) total</b>	<b>32.900,74</b>	<b>4,55E+16</b>	<b>1,30E+17</b>	<b>71,85</b>

Fonte: Dados da pesquisa.

nomia. Além disso, utiliza borbulhas provenientes de jardim clonal próprio, o que contribui para seu alto índice de renovabilidade de 59,76%, considerando as frações renováveis dos recursos da economia.

A relação de troca emergética na venda do produto foi favorável ao viveirista devido ao alto preço das mudas de seringueira. Na compra dos insumos do mercado, as relações de troca também foram favoráveis ao viveirista, exceto quanto aos produtos da indústria química (polietileno, agroquímicos e tinta). A relação de troca na contratação de mão de obra também foi favorável ao viveirista.

A pesquisa estimou UEVs de mudas de seringueira produzidas em sacolas plásticas enterradas no solo para região noroeste do Estado de São Paulo, na linha de base da emergia da biogeosfera de 12,0E+24 sej ano<sup>-1</sup>. A transformidade calculada para as mudas foi de 2,44E+6 sej J<sup>-1</sup>, enquanto a emergia específica foi igual a 2,68E+09 sej g<sup>-1</sup>, e a emergia por unidade de muda foi de 4,02E+12 sej muda<sup>-1</sup>.

**LITERATURA CITADA**

AGOSTINHO, F.; AMBRÓSIO L. A.; ORTEGA, E. Assessment of a large watershed in Brazil using Emergy Evaluation and Geographical Information System. **Ecological Modelling**, Vol. 221, pp. 1209-1220, 2010.

BASTIANONI, S. et al. The solar transformity of petroleum fuels. **Ecological Modelling**, Vol. 220, pp. 40-50, 2009.

\_\_\_\_\_.; MARCHETTINI, N. The problem of co-production in environmental accounting by emergy analysis. **Ecological Modelling**, Vol. 129, Issues 2-3, pp. 187-192, may 2000.

BRANDT-WILLIAMS, S. L. **Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation** Issued in a Series of Folios. Folio n. 4 - Emergy of Florida Agriculture. Center for Environmental Policy Environmental Engineering Sciences, Univ. of Florida, Gainesville, Aug. 2002. 40 pp. Disponível em: www.ees.ufl.edu/cep. Acesso em: mar. 2006.

BROWN, M. T. Resource imperialism: Emergy perspectives on sustainability, international trade, and balancing the welfare of nations. In: ULGIATI, S. et al (Eds) 3 rd Biennial workshop, Advances in Emergy Studies, Reconsidering the Importance of Emergy. SG Editoriali Padova: Italy, 2003. pp. 135-149.

\_\_\_\_\_.; BARDI, E. **Handbook of Emergy Evaluation: a Compendium of Data for Emergy Computation** Issued in a Series of Folios. Folio n. 3. Emergy of Ecosystems. University of Florida, Center for Environmental Policy, Gainesville: Florida. 2001.

\_\_\_\_\_.; ULGIATI, S. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. **Ecological Engineering**, Vol. 9, Issues 1-2, pp. 51-69, 1997.

- BROWN, M. T., ULGIATI, S. Emergy Evaluations and Environmental Loading of Electricity Production Systems. **J. Cleaner Production**, Vol. 10, Issue 4, pp. 321-334, 2002.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. Emergy Analysis and Environmental Accounting. **Encyclopedia of Energy**, Vol. 2, pp. 329-354, 2004.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. Emergy assessment of global renewable sources. **Ecological Modelling**, Vol. 339, pp. 148-156, 2016.
- COMAR, V.; KOMORI, O. M. Emergy Evaluation of an Organic Coffee Production and Processing System in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Anais [...] Fourth Biennial Emergy Conference**. Center for Environmental Policy Department of Environmental Engineering Sciences University of Florida, Gainesville: Florida. cap. 2, 2007. p. 31-1 a 31-10.
- LU, H. F. et al. Emergy and economic evaluations of four fruit production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. **Ecological Engineering**, Vol. 2, pp. 1743-1757. 2009. doi:10.1016/j.ecoleng.2009.08.001.
- NOAL, R. A. et al. Custo operacional de produção de mudas de seringueira: estudo de caso. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 43, n. 5, set./out. 2013.
- ODUM, H. T. **Environmental Accounting, Emergy and Decision Making**. New York: John Wiley, 1996. 370 pp.
- \_\_\_\_\_. Suggestion for a project for the International Society for Ecological Modelling: representing simulation models with energy systems. in *Ecomod*, Newsletter of International Society for Ecological Modelling, December, 1998. pp.1-11
- \_\_\_\_\_; ODUM, E. C. **O declínio próspero: princípios e políticas**. Tradução: Ortega. E. 1. ed. Primeira edição. Editora Vozes. 2013. 405 p.
- \_\_\_\_\_; BROWN, M. T.; BRANDT-WILLIAMS, S. L. Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios. Folio 1. Introdution and Global Budget, University of Florida, 2000.
- ORTEGA RODRIGUES, E. et al. Emergy analysis of organic horticultural systems. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 3, n. 3, p. 183-200. 2010.
- ORTEGA, E.; ANAMI, M.; DINIZ, G. Certification of food products using emergy analysis. In: **Proceedings of 3rd International Workshop Advances in Emergy Studies**. Porto Venere, Itália, 2002. p. 227-237.
- OLIVEIRA, M. D. M.; GONÇALVES, E. C. P. Custo de Produção e Rentabilidade da Cultura da Seringueira: safra 2018/19. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 14, n. 2, fev. 2019.
- PEREIRA, L. G. **Análise multiescala multicritério do desempenho energético-ambiental brasileiro**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade de Campinas, Campinas, 2012.
- ROMANELLI, T. L. **Sustentabilidade energética de um sistema de produção da cultura de eucalipto**. 2007. 121 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- \_\_\_\_\_. et al. Emergy Synthesis of Intensive Eucalyptus Cultivation in São Paulo, Brazil. **Forest Science**, Oxford, Vol. 54. Issue 2, pp. 228-241, 2008.
- SÃO PAULO (Estado). **Resolução SAA n. 23, de 26 de junho de 2015**. Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo – Defesa Sanitária: 2015. Disponível em: <https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/legislacoes>. Acesso em: 20 mar. 2019.
- SILVA, C. C. et al. Environmental Accounting of Limestone Rock Processing for Agricultural Use. In: BROWN, M. T. S. et al. (Eds). *Emergy Synthesis 7: Theory and Applications of the Emergy Methodology*. Proceedings of the 7th Biennial Emergy Conference. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville. cap. 26, 2013. p. 219-224.

# SÍNTESE EMERGÉTICA DA PRODUÇÃO DE MUDAS DE SERINGUEIRA (*HEVEA BRASILIENSIS*)

## Anexo 1

### Notas dos cálculos dos fluxos de energia de cada item de recurso

Descrição das notas e cálculos de conversão de fluxos de energia do viveiro de mudas

Considerando-se período de ciclo de produção de 12 meses, área útil de terra com as sacolas plásticas de 5.250 m<sup>2</sup> e escala de operação de 50.000 mudas por ciclo de produção.

Taxa câmbio, ano base 2012: R\$/US\$ 2,14

Preço de venda por muda: US\$/unid. 3,74

Produto - mudas - anual: 35.394 unid.

Energia produzida (EP) - anual: 58.400.100.000 Joules

Energia monetária (Em\$): 2,96E+12 sej US\$<sup>-1</sup>

Receita bruta anual: US\$132.373,56

Produto massa: 53.091.000 g

#### 1) Sol

Radiação solar = 5,11 kWh m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>

Albedo = 11%

Área = 5.250 m<sup>2</sup>

Conversão = (kWh m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>)\*(albedo)\*(Área m<sup>2</sup>)\*(3.600.000 J kWh<sup>-1</sup>)

Fluxo de energia = 4,83E+10 J ano<sup>-1</sup>

#### 2) Chuva

Pluviosidade = 1.383 mm ano = 1,383 m<sup>3</sup>m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>

Energia potencial química da água = 4.960 J kg<sup>-1</sup> energia livre de Gibbs

Densidade da água = 1.000 kg m<sup>-3</sup>

Área = 5.250 m<sup>2</sup>

Conversão = (m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>)\*(J kg<sup>-1</sup>)\*(kg m<sup>-3</sup>)\*(Área m<sup>2</sup>)

Fluxo de energia = 3,60E+10 J ano<sup>-1</sup>

#### 3) Água de poço artesiano para irrigação

Consumo = 739 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>

Energia da água = 4.960 J kg<sup>-1</sup> energia livre de Gibbs

Densidade da água = 1.000 kg m<sup>-3</sup>

Conversão = (m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>)\*(J kg<sup>-1</sup>)\*(kg m<sup>-3</sup>)

Fluxo de energia = 3,62E+09 J ano<sup>-1</sup>

#### 4) Substrato areia e terra de subsolo

Consumo = 9,94E+07 g ano<sup>-1</sup>

Fluxo de massa = 9,94E+07 g ano<sup>-1</sup>

**5) Serragem**

Consumo = 500.000 g ano<sup>-1</sup>

Energia da serragem = 4 cal g<sup>-1</sup>

Conversão = (g ano<sup>-1</sup>)\*(4 cal)\*(4,186 J cal<sup>-1</sup>)

Fluxo de energia = 8,34E+09 J ano<sup>-1</sup>

**6) Polietileno**

Consumo = sombrite 1,30E+04 g ano<sup>-1</sup> + sacos 1,49E+05 g ano<sup>-1</sup> + fita plástica 3,35E+04 g ano<sup>-1</sup>

Fluxo de massa = 1,95E+05 g ano<sup>-1</sup>

**7) Calcário**

Consumo = 1 t ano<sup>-1</sup>

Fluxo de massa = 1.000.000 g ano<sup>-1</sup>

**8) Nitrogênio N**

Consumo = 975 kg ano<sup>-1</sup> de adubo 20-5-20

Conversão = (kg adubo ano<sup>-1</sup>)\*0,20\*1.000 g kg<sup>-1</sup>

Fluxo de massa = 1,95E+05 g ano<sup>-1</sup>

**9) Fósforo P**

Consumo = 975 kg ano<sup>-1</sup> de adubo 20-5-20

Conversão = (kg adubo ano<sup>-1</sup>)\*0,05\*1.000 g kg<sup>-1</sup>

Fluxo de massa = 4,88E+04 g ano<sup>-1</sup>

**10) Potássio K**

Consumo = 975 kg ano<sup>-1</sup> de adubo 20-5-20

Conversão = (kg adubo ano<sup>-1</sup>)\*0,20\*1.000 g kg<sup>-1</sup>

Fluxo de massa = 1,95E+05 g ano<sup>-1</sup>

**11) Agroquímicos**

Consumo = fertilizante foliar 1,23 kg ano<sup>-1</sup>

Fungicida 2,38 kg ano<sup>-1</sup>

Fluxo de massa = 3,61E+03 g ano<sup>-1</sup>

**12) Semente**

Consumo = 1.000 kg ano<sup>-1</sup>

Fluxo de massa = 1,00E+06 g ano<sup>-1</sup>

**13) Tinta**

Consumo = 1,0 litro ano<sup>-1</sup>

Densidade = 1,35 g cm<sup>-3</sup>

Conversão = litro ano<sup>-1</sup> \* 1,35 g cm<sup>-3</sup>\*1.000 cm litro<sup>-1</sup>

Fluxo de massa = 1,35E+03 g ano<sup>-1</sup>

**14) Combustível (diesel)**

Consumo = 1.133,24 litros ano<sup>-1</sup>  
 Conversão = (31.400.000 J.litros<sup>-1</sup> \* litros ano<sup>-1</sup>)  
 Fluxo de energia = 3,56E+10 J ano<sup>-1</sup>

**15) Energia elétrica**

Consumo = 810 kWh ano<sup>-1</sup>  
 Conversão = (3.600.000 J kWh<sup>-1</sup>)\*(kWh ano<sup>-1</sup>)  
 Fluxo de energia= 2,92E+09 J ano<sup>-1</sup>

**16) Depreciação equipamento irrigação**

Valor em real = 822,0 R\$ ano<sup>-1</sup>  
 Taxa de câmbio = 2,14 US\$ R\$<sup>-1</sup>  
 Conversão = (R\$)\*(US\$ R\$<sup>-1</sup>)  
 Fluxo monetário = 3,84E+02 US\$ ano<sup>-1</sup>

**17) Mão de obra**

Quantidade = 1.575 homem-dia ano<sup>-1</sup>  
 Metabolismo = 2.500 kcal homem-dia<sup>-1</sup>  
 Conversão = (1.575 homem-dia ano<sup>-1</sup>)\*( 2.500 kcal homem-dia<sup>-1</sup>\*(4186 J kcal<sup>-1</sup>)  
 Fluxo de energia = 1,65E+10 J ano<sup>-1</sup>

**18) Encargos sociais**

Valor em real = 4.884 R\$ ano<sup>-1</sup>  
 Taxa de câmbio = 2,14 US\$ R\$<sup>-1</sup>  
 Conversão = (R\$)\*(US\$ R\$<sup>-1</sup>)  
 Fluxo monetário= 2,28E+03 US\$ ano<sup>-1</sup>

**19) Serviços máquinas e tratores**

Valor em real = 800 R\$ ano<sup>-1</sup>  
 Taxa de câmbio = 2,14 US\$ R\$<sup>-1</sup>  
 Conversão = (R\$)\*(US\$ R\$<sup>-1</sup>)  
 Fluxo monetário = 3,74E+02 US\$ ano<sup>-1</sup>

**20) Serviços de enxertia**

Valor em real = 9.656 R\$ ano<sup>-1</sup>  
 Taxa de câmbio = 2,14 US\$ R\$<sup>-1</sup>  
 Conversão = (R\$)\*(USD R\$<sup>-1</sup>)  
 Fluxo monetário = 4,51E+03 US\$ ano<sup>-1</sup>

Emdólar Brasil – Pereira (2012) equação para GEB 12,0E+24:

$$EM\$_{Brasil\ GEB\ 2016} = \frac{30231,086 + 46619,014 \times \text{Exp}\left(\frac{ANO-1981}{10,642}\right)}{11077,033} \times E + 12$$