

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE DOUTORADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

HELBA ARAÚJO DE QUEIROZ PALÁCIO

**AValiação EMERGÉTICA DE MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS DO
SEMIÁRIDO SUBMETIDAS A DIFERENTES MANEJOS**

FORTALEZA

2011

HELBA ARAÚJO DE QUEIROZ PALÁCIO

AVALIAÇÃO EMERGÉTICA DE MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS DO SEMIÁRIDO
SUBMETIDAS A DIFERENTES MANEJOS

Tese submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Orientador: Prof^a. Ph.D Eunice Maia de Andrade

FORTALEZA

2011

P176a Palácio, Helba Araújo de Queiroz
Avaliação emergética de microbacias hidrográficas do semiárido submetidas a diferentes manejos. / Helba Araújo de Queiroz Palácio. – Fortaleza: [s.n], 2011.
149 f. : il. ; enc.

Orientador: Eunice Maia de Andrade
Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semárido.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

1. Bacias hidrográficas-manejo. 2. Caatinga. 3. Semiárido.
I. Andrade, Eunice Maia de. II. Universidade Federal do Ceará.
III. Título.

CDD 333.916

HELBA ARAÚJO DE QUEIROZ PALÁCIO

AVALIAÇÃO EMERGÉTICA DE MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS DO SEMIÁRIDO
SUBMETIDAS A DIFERENTES MANEJOS

Tese submetida à Coordenação do Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Aprovada em 10 de 06 de 2011.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Eunice Maia de Andrade (Orientadora), Ph. D.
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. José Carlos de Araújo (Conselheiro), Dr.
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Teógenes Senna de Oliveira (Conselheiro), Dr.
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. João Ambrósio de Araújo Filho (Conselheiro), Ph.D.
Universidade Estadual Vale do Acaraú – UVA

Prof. Pedro Dantas Fernandes (Conselheiro), Dr.
Instituto Nacional do Semiárido – INSA

“O mundo não vai superar a crise atual usando o mesmo pensamento que criou esta situação.”

(Albert Einstein)

A meus pais, Florentino (in memoriam) e Irandir,
pelo exemplo de caráter e perseverança que
sempre nortearão meus passos, e a minha família,
pela compreensão e apoio.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Professora Eunice Maia de Andrade, pela sua competência, ensinamentos, confiança, amizade e preciosa orientação que foram fundamentais no meu crescimento e amadurecimento profissional.

À Universidade Federal do Ceará e ao Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias, em nome do coordenador de Pós-Graduação, Claudivan Feitosa de Lacerda, pela excelente qualidade do ensino proporcionado.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, Campus de Iguatu, em nome do Diretor Ivam Holanda de Souza, pelo incentivo à qualificação de seus profissionais e apoio ao desenvolvimento da pesquisa.

Ao Laboratório de Eletrônica e Mecânica Agrícola (LEMA), em nome do professor Adunias dos Santos Teixeira e Francisco José Firmino Canafístula, pela confecção e manutenção dos equipamentos da área de pesquisa.

Ao Laboratório de Água, Solo e Tecidos Vegetais do IFCE-Campus Iguatu, em nome do seu coordenador Adriano Erique de Oliveira Lima e dos técnicos Germano Elias Gomes e José Wellington Canuto Lima, que viabilizaram a realização das análises de água e solo empregadas nessa investigação.

Ao Laboratório de Nutrição Animal da UFC, em nome dos professores Elezânia Sales Pereira e Ednardo Rodrigues Freitas, que gentilmente cederam suas instalações e equipamentos, e das técnicas Helena e Rozi pela orientação na realização das análises de energia.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo financiamento dessa pesquisa.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudo, viabilizando dessa forma minha dedicação exclusiva e tornando possível o alcance dessa conquista.

Ao Laboratório de Geoprocessamento do IFCE – Campus Iguatu, em nome do professor Joaquim Branco de Oliveira, pela delimitação das áreas das microbacias experimentais.

A todos os membros da banca, que usaram de seu precioso tempo para corrigir essa tese e sugerir mudanças para melhorar o trabalho.

Aos alunos do programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Andréia, Irlaine e Ivan, pela dedicação durante a realização do levantamento fitossociológico.

Agradecimento especial aos alunos do Curso Superior de Irrigação e Drenagem pela coragem, responsabilidade e dedicação com que participam dos monitoramentos na área de pesquisa e que viabilizaram este trabalho.

Aos outrora alunos e orientados e hoje companheiros de programa de Pós-Graduação José Ribeiro (Júnior) e Julio César pelos estudos e ajudas compartilhados.

Aos professores: Omar Pereira, Claudivan Feitosa, Adunias dos Santos, José Carlos, Camboim e Marcus Bezerra, pelos ensinamentos e conhecimentos transmitidos.

Aos Orientados da professora Eunice pelo excelente convívio e amizade: Amauri, Bergson, Cleiton, Dirceu, Eveline, Fernando, Fredson, Joseilson, Júlio, Júnior, Lécio, Luizinho, Lobato, Márcio e Naiara.

Aos colegas contemporâneos do Doutorado, Alexandre, Débora, Clemilson, Jefferson, Denise e Dimas, pela amizade e companheirismo nos momentos alegres e difíceis.

Aos funcionários do DENA, pelo acolhimento e excelentes serviços prestados.

RESUMO

PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz, Universidade Federal do Ceará. Junho de 2011. **Avaliação emergética de microbacias hidrográficas do semiárido submetidas a diferentes manejos.** Orientadora: Eunice Maia de Andrade. Conselheiros: José Carlos de Araújo, Teógenes Senna de Oliveira, João Ambrósio de Araújo Filho, Pedro Dantas Fernandes.

As discussões sobre meio ambiente vêm ganhando força em todos os setores produtivos, devido aos impactos ambientais gerados pelas atividades econômicas. O setor agrícola não poderia ficar à margem dessa discussão, uma vez que a agricultura está presente em praticamente todas as paisagens do planeta, ocupando grande parte da superfície terrestre continental. A atividade agrícola produz grandes impactos nos recursos naturais para garantir alimentos à população mundial, com isto necessita incorporar novas áreas e intensificar suas técnicas para aumentar a produção. Este modelo de exploração vem causando degradação principalmente nas regiões áridas e semiáridas do planeta, pois elas possuem ecossistemas que, devido à sazonalidade das precipitações, associadas aos incidentes de seca e solos rasos com baixo teor de matéria orgânica, ocasionam comportamento sazonal da vegetação e baixa capacidade de desenvolvimento. Buscando encontrar alternativas de manejo sustentável para a caatinga, esta pesquisa testou dois tipos de manejos na caatinga e comparou-os a uma área de caatinga preservada. Para a avaliação do desempenho dos manejos foi utilizada a metodologia emergética e calculados vários indicadores desenvolvidos a partir da mesma. A área da pesquisa constou de três microbacias de primeira ou segunda ordem, com áreas de 1,1; 2,1 e 2,8 ha, localizadas na área experimental de manejo de bacias hidrográficas no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Iguatu. Na primeira área a caatinga foi raleada a fim de produzir biomassa herbácea e arbórea (B1), na segunda área a caatinga foi mantida inalterada (B2) para servir de testemunha quando das avaliações e na terceira área (B3) a caatinga foi desmatada, queimada e plantada com a gramínea *Andropogon gayanus* Kunt (manejo aplicado indiscriminadamente na caatinga) a fim de produzir biomassa herbácea. As microbacias foram monitoradas durante o ano de 2010 sendo avaliadas as produtividades de biomassa arbórea e herbácea, os parâmetros de precipitação, umidade do solo, escoamento superficial e produção de sedimentos, além de terem sido determinadas as características físico-químicas dos solos. A microbacia B1 proporcionou uma produtividade de 3.555 kg ha⁻¹ de MS de biomassa herbácea e 7.264 kg ha⁻¹ de MS de biomassa arbórea, na B2 a produtividade foi de 1.115 kg ha⁻¹ de MS de biomassa herbácea e 6.250 kg ha⁻¹ de MS de biomassa arbórea, já na B3 a produtividade foi de 8.513 kg ha⁻¹ de MS de biomassa herbácea. O coeficiente de escoamento superficial foi 1,2; 1,6 e 12%, com uma produção de sedimentos de 42; 168 e 3.115 kg ha⁻¹ nas microbacias B1, B2 e B3, respectivamente. A avaliação dos manejos realizada através da metodologia emergética constatou que a área raleada (B1) apresentou o melhor aproveitamento emergético, com transformidade de 12.975 seJ J⁻¹ enquanto a B2 e B3 apresentaram transformidades de 14.477 e 22.062 seJ J⁻¹, respectivamente. As renovabilidades para os manejos foram de 87; 92 e 69% para B1, B2 e B3, respectivamente e os índices de sustentabilidade foram de 43 para B1 e 5,25 para B3. Na área não alterada este índice não pode ser calculado, tendo em vista que ele utiliza dados de recursos vindos da economia e esta área não faz uso destes recursos. A técnica de emergia constatou que o manejo do raleamento da caatinga obteve o melhor desempenho, pois apresentou a maior produtividade de biomassa, reduziu o escoamento superficial e as perdas de solo e nos índices emergéticos apresentou a melhor rentabilidade emergética e uma boa sustentabilidade, sendo viável seu manejo para a caatinga.

Palavras-chave: Emergia. Sustentabilidade. Manejo da caatinga.

ABSTRACT

PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz, Universidade Federal do Ceará. Junho de 2011. **Emergetic evaluation of semi-arid watersheds under different management systems.** **Advisor:** Eunice Maia de Andrade. Advisors: José Carlos de Araújo, Teógenes Senna de Oliveira, João Ambrósio de Araújo Filho, Pedro Dantas Fernandes.

Discussions about the environment have been gaining support in all productive sectors, due to the environmental impact generated by economic activities. The agricultural sector could not remain out of this discussion, since agriculture is present in virtually all types of landscape on the planet, occupying a great part of continental land-surface. Agricultural activity has a large impact on natural resources in order to ensure food supply for the world population, for this it needs to incorporate new areas and enhance its techniques to increase production. This mode of operation has been causing degradation mainly in the arid and semi-arid regions of the planet, as these have ecosystems that, due to seasonal periods of rainfall associated with periods of drought, and shallow soils with low organic-matter content, produce a seasonal pattern of vegetation and a low capacity for development. Seeking alternatives for sustainable management of caatinga-type shrublands, this research aimed to test two types of management systems in the shrublands and compare them to an area of shrubland which has been preserved. In order to evaluate the performance of the management systems, emergetic methodology has been employed and various indicators, developed by using this methodology, were calculated. The research area consisted of three watersheds of the first or second orders, with areas of between 1.1 and 2.8 ha, located in the experimental watershed-management area at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Ceará on Iguatu campus. In the first area (B1) the shrubland was thinned out in order to produce herbaceous and arboreal biomass, the second area (B2) was kept unchanged as a control for assessment and in the third area (B3) the shrub was cleared and burned and the area planted with *Andropogon gayanus* Kunt grass (indiscriminate management being used in the shrublands) in order to produce herbaceous biomass. The catchment areas were monitored monthly during 2010 and the productivity of arboreal and herbaceous biomass, precipitation parameters, soil humidity, surface runoff and sediment production were evaluated, as well as the physicochemical characteristics of the soils. Watershed B1 yielded 3,555 kg ha⁻¹ DM of herbaceous biomass and 7,264 kg ha⁻¹ DM of arboreal biomass, B2 yielded 1,115 kg ha⁻¹ DM of herbaceous biomass and 6,250 kg ha⁻¹ DM of arboreal biomass, while B3 yielded 8,513 kg ha⁻¹ DM of herbaceous biomass. The runoff coefficients were 1.2, 1.6 and 12% with sediment production of 42, 168 and 3,115 kg ha⁻¹ in the B1, B2 and B3 watersheds respectively. Evaluation of management practices carried out using emergetic methodology showed that the area which had been thinned out (B1) had the best emergetic results, with a transformity of 12,975 seJ J⁻¹, while the areas B2 and B3 had transformities of 14,477 and 22,062 seJ J⁻¹ respectively. Renewability for the three types of management were 87, 92 and 69% for B1, B2 and B3 respectively, and the indices of sustainability were 43 for B1 and 5 for B3. In the preserved area this index cannot be calculated considering that it uses data from resources which originate in the economy, and this area does not make use of such resources. Emergetic technique found that shrub-thinning gave the best performance because it had the highest productivity of biomass, it reduced both runoff and soil loss and its emergetic indices showed both the best return and good sustainability and as such can be recommended management system for the shrublands.

Keywords: Emergy. Sustainability. Shrubland management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama genérico que representa a interação entre uma cidade e sua região de fornecimento de energia e materiais (ORTEGA, 2002).....	29
Figura 2 – Indicadores emergéticos agregados, adaptado de Agostinho (2005).	31
Figura 3 – Localização das microbacias experimentais no Estado do Ceará	44
Figura 4 – (a) Detalhe da estrutura do solo no período seco; (b) Condição de encharcamento dos solos em pontos mais baixos da microbacia B3 no período chuvoso	46
Figura 5 – Série histórica anual de precipitação pluviométrica da região de Iguatu (RODRIGUES, 2009).....	48
Figura 6 – Área das microbacias apresentando ausência de vegetação (a) e área com vegetação de menor porte (b).....	49
Figura 7 – Aspectos da vegetação no período chuvoso (a) e período seco (b).....	50
Figura 8 – Detalhe da cobertura morta da microbacia experimental mantida intacta.	50
Figura 9 – Modelo numérico das microbacias (a) B1, (b) B2 e (c) B3.	51
Figura 10 – Visão parcial da condição da vegetação na microbacia B1 (a) após o raleamento na estação seca e (b) na estação chuvosa subsequente ao raleamento.....	52
Figura 11 – Visão das fases do manejo aplicado na bacia B3 (a) derrubada da vegetação nativa em 12/2009; (b) queima da vegetação em 09/12/2009; (c) plantio do capim em 15/01/2010; (d) desenvolvimento do capim em 27/04/2010.	53
Figura 12 - Diagrama sistêmico que representa os fluxos de energia que interagem em um ecossistema florestal	55
Figura 13 – Detalhe do Pluviógrafo de báscula (a) e do Pluviômetro Ville de Paris (b) instalados nas micorbacias.....	61
Figura 14 – Amostragem da vegetação herbácea para quantificação da biomassa (a) e área após a retirada da vegetação.....	64
Figura 15 – Confecção das calhas Parshall em fibra de vidro (a) e instalação em campo com estrutura de alvenaria (b).....	65
Figura 16 – Detalhe da calha Parshall instalada em campo (maio 2008), (a) visão geral, (b) em funcionamento	65

Figura 17 – Linígrafo de medição de nível do escoamento, (a) sensor capacitivo para monitoramento do nível de água e (b) poço tranquilizador onde é instalado o sensor de nível na calha Parshall.	66
Figura 18 – Fosso para coleta de sedimento de arraste (a) e torre de coleta de sedimentos suspensos (b).....	67
Figura 19 – Precipitação mensal e precipitação acumulada para as áreas das microbacias B1, B2 e B3 no ano de 2010.....	70
Figura 20 - Precipitação, intensidade máxima em trinta minutos (I_{30}) e escoamento superficial ocorridos na microbacia B3 no ano de 2010.....	77
Figura 21 – Relação entre escoamento superficial e perda de solo para as microbacias B1, B2 e B3.....	79
Figura 22 – Disponibilidade de matéria seca da biomassa herbácea para os meses de 2010 na microbacia raleada (B1), caatinga não alterada (B2) e queimada e plantada com gramínea (B3), Iguatu, CE.....	84
Figura 23 – Vegetação herbácea na área das microbacias (A) com caatinga de regeneração não manejada (B2) e (B) com caatinga raleada (B1), no semiárido, Iguatu-CE	85
Figura 24 – Microbacia B3 cultivada com <i>Andropogon gayanus</i> Kunt no período de lançamento da inflorescência, no semiárido, Iguatu-CE	88
Figura 25 – Quantidade de biomassa abórea encontradas nas microbacias B1 e B2 para os anos de 2009 e 2010 e o aumento deste substrado entre os dois anos	90
Figura 26 - Produtividade de biomassa dos substratos arbóreo, herbáceo e total nas microbacias B1, B2 e B3 para o ano de 2010	91
Figura 27 – Diagrama sistêmico de fluxos de energia da caatinga não alterada (microbacia B2)	93
Figura 28 – Indicadores da caatinga não alterada (microbacia B2) em 2010: (a) Diagrama de energia agregado; (b) Porcentagem dos fluxos emergéticos de entrada em relação à energia total.....	97
Figura 29 - Diagrama sistêmico de fluxos de energia da caatinga raleada (microbacia B1).....	98
Figura 30 – Indicadores da caatinga raleada (microbacia B1) em 2010: (a) Diagrama de fluxo de energia agregado; (b) Porcentagem dos fluxos emergéticos de entrada em relação à energia total.....	103

Figura 31 - Diagrama sistêmico de fluxos de energia da área desmatada, queimada e plantada com gramínea (microbacia B3)	104
Figura 32 – Indicadores da caatinga desmatada, queimada e plantada com gramínea (microbacia B3) em 2010: (a) Diagrama de fluxo de energia agregado; (b) Porcentagem dos fluxos energéticos de entrada em relação à energia total	109
Figura 33 – Valores energéticos para a caatinga não alterada, caatinga raleada e plantio com gramínea: (a) Fluxos energéticos agregados (Y: energia total; I: energia da natureza; R: energia renovável da natureza; N: energia não renovável da natureza; F: energia da economia; M: energia dos materiais; S: energia dos serviços) e (b) energia produzida	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Transformidades solares (enjoules por Joule).....	27
Tabela 2 – Símbolos utilizados na elaboração de diagramas sistêmicos.....	28
Tabela 3 – Esquema de organização de uma tabela de cálculo dos fluxos de energia.....	30
Tabela 4 – Características morfométricas das microbacias experimentais: B1, B2, B3.....	45
Tabela 5 – Dados de análise físico-química do solo das microbacias.....	47
Tabela 6 – Dados climáticos da cidade de Iguatu,CE.....	48
Tabela 7 – Tabela de avaliação emergética da caatinga não alterada na microbacia B2.....	56
Tabela 8 – Detalhamento do cálculo de cada fluxo da tabela 7.....	57
Tabela 9 – Índices para a avaliação emergética do manejo da caatinga.....	58
Tabela 10 – Eventos de precipitação e suas características na área das microbacias monitoradas em Iguatu-CE durante o ano de 2010.....	71
Tabela 11 – Chuva, escoamento mensal e coeficiente de escoamento superficial nas microbacias para o ano de 2010.....	73
Tabela 12 – Correlação linear entre vazão de pico e parâmetros relacionados à chuva e umidade.....	75
Tabela 13 – Classes de precipitação, números de eventos e características da precipitação por classe e perdas de solo das microbacias.....	78
Tabela 14 - Correlação linear entre perda de solo e variáveis de chuva e escoamento.....	80
Tabela 15 – Perda de solo e suas frações para as microbacias no período em estudo.....	82
Tabela 16 – Tabela de cálculo dos fluxos de energia que dão suporte a síntese emergética da caatinga não alterada (microbacia B2).....	95
Tabela 17 – Massa produzida e quantidade de energia produzida (Ep) pela caatinga não alterada no semiárido para o ano de 2010.....	96
Tabela 18 - Tabela de cálculo dos fluxos de energia que dão suporte a síntese emergética da caatinga raleada (microbacia B1).....	100
Tabela 19 - Massa produzida e quantidade de energia produzida (Ep) pela caatinga raleada no semiárido para o ano de 2010.....	102
Tabela 20 - Tabela de cálculo dos fluxos de energia que dão suporte a síntese emergética da área desmatada, queimada e plantada com gramínea (microbacia B3).....	106

Tabela 21 – Energia equivalente para os produtos gerados na área desmatada, queimada e plantada com gramínea (Ep).....	107
Tabela 22 – Valores emergéticos que dão suporte aos manejos aplicados em microbacias do semiárido para o ano de 2010.....	110
Tabela 23 – Produtos proporcionados pelos manejos aplicados à caatinga no semiárido para o ano de 2010.....	111
Tabela 24 – Indicadores Emergéticos para os três sistemas de manejo aplicado a microbacias do semiárido no ano de 2010.....	112

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	HIPÓTESES E OBJETIVOS	20
2.1	Hipótese	20
2.2	Objetivos	20
2.2.1	Geral.....	20
2.2.2	Específicos	20
3	REVISÃO DE LITERATURA	21
3.1	Sustentabilidade	21
3.2	Energia	24
3.2.1	Aspectos teóricos	24
3.2.2	Metodologia emergética	27
3.2.3	Aplicação	33
3.3	Biomassa	36
3.4	Hidrosedimentologia	40
4	MATERIAL E MÉTODOS	44
4.1	Características da área de estudo	44
4.1.1	Localização e descrição	44
4.1.2	Características do solo	45
4.1.3	Clima.....	47
4.1.4	Vegetação.....	49
4.1.5	Delimitação das microbacias experimentais.....	51
4.2	Unidades experimentais	52
4.2.1	Manejos aplicados.....	52
4.3	Avaliação emergética	54
4.4	Fluxos do balanço de energia	60
4.4.1	Chuva.....	60

4.4.2	Radiação Solar	62
4.4.3	Biomassa.....	62
4.4.4	Escoamento	64
4.4.5	Perda de solo	66
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	69
5.1	Componentes dos sistemas investigados	69
5.1.1	Chuva.....	69
5.1.2	Escoamento superficial	73
5.1.3	Produção de sedimentos.....	78
5.1.4	Biomassa	83
5.1.4.1	Biomassa herbácea.....	83
5.1.4.2	Biomassa arbórea	88
5.1.4.3	Biomassa total.....	90
5.2	Balanco emergético	92
5.2.1	Análise emergética da caatinga não manejada	92
5.2.2	Análise emergética da caatinga raleada	98
5.2.3	Análise Emergética da Caatinga Desmatada, Queimada e Plantada com gramínea <i>Andropogon gayanus</i> Kunt	104
5.2.4	Indicadores de desempenho emergético	111
6	CONCLUSÕES.....	120
	REFERÊNCIAS.....	121
	APÊNDICES	141

1 INTRODUÇÃO

A questão ambiental vem se consolidando como um tema central na agenda de debates da sociedade atual. Reuniões, conferências e encontros sobre meio ambiente estão ganhando mais importância e destaque em todas as áreas econômicas e sociais. É cada vez maior o número de veículos de comunicação, impressos ou eletrônicos, dedicados ao assunto. As discussões sobre meio ambiente também ganham força dentro de todos os setores produtivos, devido aos impactos ambientais gerados pelas atividades econômicas. O setor agrícola não poderia ficar de fora dessa discussão, uma vez que a agricultura está presente em praticamente todas as paisagens do planeta, ocupando grande parte da superfície terrestre continental.

A atividade agrícola produz grandes impactos nos recursos naturais desde a sua origem, porém, com o crescente aumento da população mundial, com a necessidade de incorporar novas áreas para aumentar a produção de alimentos. Com o processo de modernização da agricultura no final da década de 60 e início da década de 70, os problemas ambientais começaram a aparecer de forma mais clara para a sociedade.

O crescente aumento nas taxas de desmatamento das florestas, a utilização de maquinários e produtos químicos para controlar as plantas daninhas, as pragas e aumentar e/ou conservar a fertilidade dos solos, vêm alterando os ecossistemas em todo o planeta. Esses processos estão causando a degradação dos recursos naturais e podem levá-los a exaustão.

Esse modelo de exploração tem se agravado principalmente nas regiões áridas e semiáridas do planeta, pois elas possuem ecossistemas que, historicamente, vêm sendo considerados extremamente frágeis por pesquisadores como Kassas (1995), devido à sazonalidade das precipitações, associadas aos incidentes de seca e solos rasos com baixo teor de matéria orgânica, ocasionando comportamento sazonal da vegetação e baixa capacidade de desenvolvimento. Mas, este conceito de fragilidade resulta do sistema de vida e produção que vem sendo adotado na região, onde não se levam em conta os princípios, as características e as qualidades do bioma. Estas regiões estão sendo submetidas a elevada ocupação populacional e a exploração acima da sua capacidade de regeneração. Com isto as áreas com risco de desertificação vêm aumentando.

O Bioma Caatinga, que está inserido no domínio Semiárido e abrange cerca de 54% da região Nordeste do Brasil (ANDRADE et al., 2005), apresenta diversidade florística resultante de várias condições fitoecológicas. Sua paisagem natural originada pela auto-

organização da biosfera, praticamente tem perdido suas características geológicas primárias em função do uso inapropriado destas atividades socioeconômicas. Nas últimas décadas vem-se observando um cenário extremamente modificado pela intensa ação degradadora do ser humano, manifestada principalmente no surgimento e/ou intensificação dos processos biofísicos tais como erosão e aumento do déficit hídrico dos solos, contribuindo para a alteração microclimática e para a expansão da desertificação afetando, conseqüentemente, a biodiversidade (TRIGUEIRO et al., 2009).

Dentre os principais agravantes que culminam com o empobrecimento ambiental, em larga escala, da caatinga, Leal et al. (2005) citam a atividade humana não sustentável, como a agricultura de corte e queima – que converte, anualmente, remanescentes de vegetação em culturas de ciclo curto –, o corte de madeira para lenha, a caça de animais e a contínua remoção da vegetação para a criação de bovinos e caprinos. Estes autores citam ainda que implementar uma agenda de conservação em larga escala na caatinga será uma tarefa especialmente difícil, considerando a densidade populacional em muitas partes da região, o grau de alteração dos habitats remanescentes e a longa história de pobreza e seca na região.

A urgência em definir políticas para conservação da biodiversidade da Caatinga fica patente quando se considera que, no bioma, há cerca de 36 unidades de conservação correspondentes a 7,1% da superfície total, porém, apenas cerca de 1,21% desse total são unidades de proteção integral (CAPOBIANCO, 2002). Vale ressaltar, que 30% da área do bioma já foi alterado pelo homem, principalmente em função da agricultura (ARAÚJO et al., 2005).

Alves (2007) reforça que a degradação dos solos e das condições hídricas, em conseqüência dos desmatamentos, torna difícil a reconstituição da vegetação. Assim, o quadro geobotânico atual é representado por diferentes estágios de degradação da floresta caducifólia, como também, a introdução de pastagens artificiais, a qual vem resultando em uma grande transformação na paisagem. No Ceará, assim como no Nordeste, a degradação também já se generalizou, tornando-se muito difícil encontrar uma área com um ecossistema original virgem, que ainda não tenha sofrido intervenção humana ou de animais domésticos (MAIA, 2004a).

O homem precisa desenvolver práticas de manejo que, além de fornecer alimentos necessários as populações, procure conservar os recursos naturais de modo a deixá-los de forma acessível às próximas gerações. Com isto surge a necessidade de se definir e testar um modelo de exploração no qual a sustentabilidade dos ecossistemas seja mantida.

A determinação da sustentabilidade de um sistema não é uma tarefa fácil. O conceito de sustentabilidade possui inúmeras definições e o desenvolvimento de seus indicadores ainda está em início. A certeza que se tem é a impossibilidade de se avaliar a sustentabilidade de um sistema, utilizando-se somente um indicador. Esta deve ser avaliada por um conjunto de indicadores que considere várias características do sistema.

A grande maioria das metodologias de avaliação dos sistemas se baseia nas entradas e saídas, levando em conta os produtos que têm valor econômico sem se preocupar com o histórico de produção destes elementos e os custos destas produções para o meio ambiente. Procurando apresentar uma metodologia que avaliasse de forma integrada os sistemas, Odum (1996) desenvolveu a metodologia emergética que se propõe a medir todas as contribuições (moeda, massa, energia, informações) em termos equivalentes (emergia). Para tal, faz uso de novos princípios de funcionamento de sistemas abertos como a hierarquia universal de energia e a auto-organização e estabelecimento do maior fluxo possível de energia disponível no sistema.

Diferentes indicadores, capazes de caracterizar os sistemas agrícolas, podem ser propostos através da análise emergética, que tem sido amplamente utilizada em pesquisas sobre indicadores para avaliação da eficiência e impacto ambiental de sistemas agrícolas. Os índices fornecidos pela análise emergética permitem que sistemas agrícolas, com modelos de produção diferentes, sejam comparados. Deste modo, pode-se avaliar o modelo de produção que apresente os melhores desempenhos ambientais, econômicos e sociais.

2 HIPÓTESES E OBJETIVOS

2.1 Hipótese

É possível aplicar manejos nas áreas semiáridas que proporcionem a exploração da caatinga fornecendo fontes de renda para as populações destas áreas sem comprometer os recursos naturais para as próximas gerações. Admite-se também a hipótese de testar se a metodologia emergética como proposta por Odum (1996) é capaz avaliar através de seus índices a sustentabilidade ambiental desses manejos.

2.2 Objetivos

2.2.1 Geral

Avaliar comparativamente diferentes modalidades de manejo agrícola e agroflorestal em áreas do semiárido brasileiro oferecendo subsídios para as políticas públicas na redução do impacto antrópico causado pelas atividades agrícolas.

2.2.2 Específicos

- Sugerir alternativas de manejo agroflorestal sustentável para a caatinga;
- Obter os índices emergéticos para três sistemas agrícolas e agroflorestais do semiárido brasileiro;
- Subsidiar propostas de políticas públicas para apoio e orientação ao pequeno, médio e grande agricultor;
- Servir como material de estudo para técnicos de instituições públicas e privadas no tratamento de questões ligadas a sistemas de produção agroalimentar.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Sustentabilidade

Embora o pensamento cartesiano tenha impulsionado o progresso da ciência e da tecnologia como a conhecemos hoje, os ecossistemas naturais tem pago um alto preço por esta evolução. Desde então, desenvolver e conservar têm sido os grandes paradoxos com o qual a humanidade esta convivendo. A degradação ambiental sem fronteiras iniciada a partir da Revolução Industrial do século XVIII, e acentuada com o advento da globalização no século XX, levou a fortes questionamentos no início dos anos 70.

O relatório de Brundtland e a primeira Conferência Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente, realizada no Rio de Janeiro em 1992 tiveram o mérito de chamar a atenção para a interdependência de interesses ambientais, sociais e econômicos, indicando desenvolvimento sustentável como a solução para a promoção do progresso sócio-econômico ao proteger nosso suporte ambiental de vida. A comissão de Brundtland ofereceu a definição popular do desenvolvimento sustentável como o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a habilidade das futuras gerações para satisfazer suas necessidades (WCED, 1987). A primeira Conferência do Rio 92 propagou o desenvolvimento sustentável como a chave para integrar as principais dimensões do desenvolvimento (social, econômico e ambiental) no planejamento e decisões políticas. Na Europa, o Tratado de Amsterdã da União Européia (que entrou em vigor em maio 1999) proclamou desenvolvimento sustentável como seu objetivo principal (PULSELLI et al., 2008a).

Após muitos anos de utilização indiscriminada de recursos naturais, o desenvolvimento humano precisa levar em conta a integridade do ambiente além do desenvolvimento econômico a curto prazo. Os recursos naturais são consumidos atualmente a uma taxa mais elevada do que é reabastecida. A fim de evitar uma exaustão dos recursos naturais e uma perda subsequente de bem estar, as taxas de consumo devem ser reduzidas. As decisões humanas do progresso e da política de interesse público devem ser baseadas na idéia do desenvolvimento sustentável que considera não somente a prosperidade econômica imediata, mas igualmente na preservação do ambiente (BASTIANONI et al., 2001). Estudos

têm sido feitos para avaliar e entender os mecanismos de sustentabilidade ambiental, inclusive em nível de regiões (SUN et al., 2010).

Um importante desafio que enfrenta o mundo é como alimentar o aumento da população com o decréscimo do abastecimento energético e os recursos ambientais finitos. Para vencer este desafio a sustentabilidade dos métodos agrícolas deve ser avaliada para determinar aqueles com maior rendimento relativo e seu uso de recursos e degradação ambiental (MARTIN et al., 2006).

O conceito de agricultura sustentável envolve o manejo adequado dos recursos naturais, evitando a degradação do ambiente de forma a permitir a satisfação das necessidades humanas das gerações atuais e futuras (WCED, 1987). Esse enfoque altera as prioridades dos sistemas convencionais de agricultura em relação ao uso de fontes não renováveis, principalmente de energia, e muda a visão sobre os níveis adequados do balanço entre a produção de alimentos e os impactos no ambiente. As alterações implicam a redução da dependência de produtos químicos e outros insumos energéticos e o maior uso de processos biológicos nos sistemas agrícolas (GHINI; BETTIOL, 2000).

Com a degradação ambiental espera-se ter impactos consideráveis sobre os recursos naturais e, desse modo, as mudanças no ambiente natural que podem afetar a subsistência e atividades econômicas da população. Um crescente número de pesquisadores tem explorado o conceito da vulnerabilidade e sua ligação à degradação ambiental. A questão da relação entre a degradação ambiental global e o desenvolvimento econômico sustentável tornou-se o ponto de foco da pesquisa. Neste contexto muitos trabalhos sobre degradação têm sido conduzidos em todo o globo envolvendo consumo de energia (ALAM et al., 2007), agricultura irrigada (GÓMEZ-LIMÓN; RIESGO, 2009), cultivo agro-ecológico (CASTOLDI; BECHINI, 2010), sustentabilidade de cultivos e fazendas com práticas de manejo diversos (BASTIANONI et al., 2001; ZHEN et al., 2006; GALAN et al., 2007), degradação pelo desmatamento e queimada da vegetação (SHEUYANGE et al., 2005; RASUL; THAPA, 2006), degradação e desertificação de pastagem natural em função do manejo e da qualidade do solo (SNYMAN; PREEZ, 2005; ZHAO et al., 2005), estudo da degradação do solo em escala regional de áreas agrícolas e florestais (PAZ et al., 2006) e pela ação do vento que reduz a disponibilidade de nutriente em função da erosão eólica (WARREN, 2007).

Considerando as grandes áreas desmatadas nos últimos anos e a preocupação com a questão da sustentabilidade ambiental, alguns pesquisadores tem se dedicado a estudos para avaliar, comparar e sugerir manejos de uso da terra com uma menor interferência nos ecossistemas e que sejam menos agressivos ao meio-ambiente. Nesta linha cita-se

pesquisadores como Rasul; Thapa (2006); Diemont et al. (2006); Lu et al. (2006); Stancheva et al (2007); Clinch et al (2009), os quais buscam novas alternativas em técnicas de manejos com agrofloresta.

No Brasil alguns estudos já buscam avaliar a degradação das florestas e sugerir alternativas de manejo e recuperação das mesmas. Pinto et al. (2002), estudando a coleta de árvore na Floresta Amazônica no município de Manicoré, constataram que a colheita florestal sem planejamento, realizada de maneira intensa e seletiva tem transformado florestas de elevado estoque de madeira e valor comercial em florestas degradadas, de baixo valor comercial e de difícil recuperação. Rodrigues et al. (2008) estudando a recuperação de uma área de 27,5 ha de reserva legal no assentamento Santa Zélia no Pontal do Paranapanema, São Paulo, constataram resultados econômicos positivos para as famílias envolvidas e recomenda os sistemas agroflorestais para recuperação destas áreas. Vários outros pesquisadores que avaliaram a produção de frutas, grãos, madeira, etc. em sistemas agroflorestais também os recomendam como alternativa de manejo viável (CAMPANHA et al., 2007; ANDRADE et al., 2009; SALIN et al., 2009).

A Região Nordeste do Brasil tem uma área de 1.542.257 km² (MIN, 2010), nela está inserida a caatinga, que é considerada o único bioma exclusivamente brasileiro e está entre os mais ameaçados do globo, sendo o menos estudado e protegido entre todos os biomas brasileiros. Ele está inserido em uma região que apresenta uma grande densidade demográfica, onde residem mais de 20 milhões de habitantes (FRANCA-ROCHA, et al., 2007).

A ocupação do semi-árido nordestino ocorreu sempre em uma perspectiva de exploração excessiva, levando inclusive à exaustão de parte dos recursos naturais. Deve-se considerar ainda que, aliada a essa exploração predatória, estabeleceu-se uma estrutura social concentradora de renda e de poder, responsável pela relativa estagnação dos baixos índices socioeconômicos registrados na região (SANTOS et al., 2007).

As explorações predominantes na área são a pecuária extensiva e a agricultura de subsistência, mas as variações climáticas nesta região, sobretudo nos períodos de estiagem, agravam um conjunto de questões econômicas e sociais, que desmantelam o sistema produtivo e concorrem para sua não consolidação (BEZERRA, 2002). Na pecuária, o que se sobressai é o superpastoreio. A agricultura é desenvolvida às custas de um desmatamento indiscriminado, queimadas e períodos de pousio inadequados. Há ainda intensa extração de lenha e madeira para atender à demanda familiar, de cerâmicas e padarias, contribuindo enormemente para a redução da vegetação da caatinga (ARAÚJO FILHO, 2002).

Araújo et al. (2005) ressaltam que 30% da área do bioma já foi modificado irreversivelmente pelo homem e espera-se rápida perda de espécies únicas, eliminação de processos-chave nos sistemas ecológicos e formação de extensos núcleos de desertificação em vários setores da região. Outro fato relevante é que o desmatamento e as queimadas são práticas comuns no preparo da terra para a agropecuária na maior parte deste bioma (SANTOS; TABARELLI, 2002) e, quanto maior a intensidade de uso do fogo em uma área, maiores serão as modificações nas comunidades vegetais presentes para as sucessões seguintes (SHEUYANGE et al., 2005).

Algumas alternativas de manejo produtivo estão sendo sugeridas para o semiárido. O sistema agrossilvopastoril vem sendo avaliado em vários trabalhos, sendo recomendado como uma alternativa de produção de alimentos para a região (ARAÚJO FILHO, 2002; MAIA b, 2004; NUNES et al., 2008; SALIN et al., 2009). Maia et al. (2006), testando os manejos de produção com cultivo intensivo, cultivo tradicional, agrossilvipastoril e silvopastoril, concluíram que o sistema agrossilvipastoril poderá proporcionar erosão do solo, refletindo em drástica redução de sua qualidade. Mas os mesmos autores recomendam o sistema silvopastoril como uma alternativa de produção de alimentos para a região com manutenção da qualidade do solo.

3.2 Emergia

3.2.1 Aspectos teóricos

A análise econômica é um método familiar para refletir sobre a função e eficiência do sistema de produção tomando a forma da moeda para denotar todas as entradas e saídas socioeconômicas de um sistema, considerando a taxa das saídas em relação às entradas como o indicador principal. Embora o método seja amplamente utilizado, este negligencia as contribuições ambientais (MAOSOLFF; FARBER, 1995; KYDD et al., 1997); adicionalmente, as conclusões de um tempo não podem ser facilmente comparadas com outras feitas em outro tempo, devido à influência da inflação ou da deflação (LIU; CHEN, 2007). O método da análise de energia é outro método familiar, o qual converte todas as entradas

(exceto fontes ambientais) e as saídas para unidades de energia. Ele usa coeficientes de conversão de energia, e calcula a taxa de saída de energia para a entrada, porque todos têm a mesma unidade, Joule (J) (BASTIANONI et al., 2007; SCIUBBA et al., 2008). Tal método nos ajuda a analisar o sistema de produção comparado com o método de análise econômica, entretanto, não considera a contribuição do ambiente e ignora as discrepâncias da qualidade de diferentes energias.

A metodologia emergética foi sugerida pelo professor Odum e se propõe a medir todas as contribuições (moeda, massa, energia, informação) em termos equivalentes (emergia). Para tal, faz uso da Teoria de Sistemas, da Termodinâmica, da Biologia e de novos princípios do funcionamento de sistemas abertos que estão sendo propostos por diversos pesquisadores, entre eles: o da hierarquia universal de energia e o da auto-organização e estabelecimento do maior fluxo possível de energia disponível no sistema (ORTEGA, 2002)

A metodologia Emergética, é definida como a soma da energia disponível (exergia) de um tipo exigido previamente direta e indiretamente com os caminhos da entrada para fazer um produto ou um serviço (ODUM, 1988). Segundo Chen; Chen (2009) ela foi aceita extensamente como uma ferramenta de avaliação ecológica eficaz. Mas, segundo Fath et al. (2001), a emergia, por si só, é uma teoria de explanação do universo cujo princípio orientador considera o fluxo de transferência e o armazenamento do sistema total, expressos em termos da energia solar. É o princípio da máxima força que predomina na evolução ecológica do sistema sob a seleção natural, que originalmente foi concebida e desenvolvida no contexto da rede ecológica e o nível de organização sistêmico global. Bastianoni et al. (2007) depois definiu a emergia como uma função de exergia através de vários processos de transformações.

Diferentes evoluções ou caminhos de transformação são assumidos como sistemas parciais para produto e consumo, transferindo energia solar vindo do estágio original para o estágio de interesse junto à hierarquia universal de energia na biosfera e futuras condições cosmológicas. A divisão ecológica de trabalho ambiental é determinada decompondo os fluxos de entrada na superfície: ventos, energias física e química da chuva, energia física dos cursos, ondas absorvidas na costa, ciclo sedimentar da terra, e energia química dos cursos (ODUM, 1996; ODUM, 2000b).

De acordo com Odum (1996) os sistemas da natureza e a humanidade são partes de uma hierarquia de energia universal e estão imersos em uma rede de transformação de energia que une os sistemas pequenos a grandes e estes a sistemas maiores ainda. A transformidade (unidade de transformação de energia, que é básica na metodologia

emergética) mede a qualidade de energia e sua posição na hierarquia de energia universal. As transformidades solares são calculadas baseadas rigorosamente em princípios de organização de sistemas e fluxos de energia (TILLEY; SWANK, 2003; LI et al, 2010). A transformidade solar representa a posição que um fator ocupa na rede hierárquica da biosfera terrestre (ODUM, 1996). Tecnicamente, a transformidade solar é definida como a radiação solar direta e indireta requerida para criar e manter outras formas de energia disponível (exergia) (ODUM, 1988).

A transformidade de um produto é calculada somando-se todas as entradas de energia do processo e dividindo-se pela energia proveniente do produto. Quanto maior o número de transformações de energia necessárias para a elaboração de um produto ou a execução de um processo, maior será o valor da sua transformidade, sendo assim maior a importância que o recurso pode ter para os ecossistemas e para os seres humanos (COMAR, 1998).

A transformidade também é usada para converter fluxos de energia de diferentes formas para energia da mesma forma. Também pode ser expressa em termos de massa (seJ kg^{-1}) ou dinheiro (seJ dólar^{-1}) onde seJ é a unidade de emjoule solar. A Tabela 1 apresenta os valores de transformidades solares típicas (em emjoules por joule) que são freqüentemente encontradas na natureza.

A metodologia emergética é uma ferramenta de modelação, que resolve o problema de normalização das propriedades de um sistema. Nela as transformidades solares são usadas para normalizar fatores, variáveis e outros atributos do sistema para uma medida de energia solar. Além do fornecimento de transformidade solar como peso de fatores, a metodologia dá uma visão holística do sistema combinando ecologia e economia, inventariando todas as formas de energia e todos os tipos de materiais usados para produzir e manter a integridade ecológica combinada com a saúde econômica do sistema (CAMPBELL, 2001).

As transformidades têm sido calculadas por uma grande variedade de fórmulas de energia, fontes, materiais e serviços (ODUM, 1996; BROWN; ULGIATI, 2004). Bakshi (2002) indicou que, quando as transformidades variam sobre uma pequena amplitude em um sistema, o produto ecológico e serviço envolvido foram utilizados de forma bastante eficiente.

A energia solar envolvida é expressa com a unidade de emjoule solar (seJ), feito para a energia solar envolvida com o equivalente para medir diferentes quantidades e qualidades de energias e materiais, a qual é característica fundamental de análise emergética (CHEN; CHEN, 2009).

Tabela 1 – Transformidades solares (emjoules por Joule)

Item	seJ J ⁻¹
Energia solar	1
Energia do vapor	62
Energia cinética do vento	623
Matéria orgânica não consolidada	4.420
Energia geopotencial da chuva	8.888
Energia química da chuva	15.423
Energia geopotencial nos rios	23.564
Energia química nos rios	41.000
Energia mecânica em ondas e marés	17.00 – 29.000
Combustíveis consolidados	18.000 – 40.000
Alimentos, hortifrutigranjeiros, grãos	24.000 – 200.000
Serviços humanos	80.000 – 5.000.000
Alimentação protéica	1.000.000 – 4.000.000
Informação	10.000 – 10 ¹³

Fonte: (ODUM; ARDING, 1991).

3.2.2 Metodologia emergética

Para um melhor entendimento do processo metodológico optou-se por efetuar o estudo de revisão da mesma nas seguintes etapas: (a) construir o diagrama sistêmico para verificar e organizar todos os componentes, suas entradas, as interações existentes e as saídas; (b) construir a tabela de avaliação emergética, com os fluxos quantitativos, baseados diretamente pelos diagramas; (c) calcular os índices emergéticos que permitirão avaliar a situação econômica e ambiental dos sistemas bem como os esforços que devem ser feitos para aprimorar o sistema (ODUM, 1996).

Etapa A

Para a construção do diagrama sistêmico é essencial procurar conhecer todos os componentes do sistema a ser caracterizado, identificando as entradas, as influências mútuas e as saídas. Para a parte gráfica desta etapa Odum (1971, 1983) desenvolveu uma linguagem simbólica gráfica, um verdadeiro “dicionário de símbolos emergéticos” (Tabela 2), empregando símbolos da eletrônica e de sistemas de circuitos analógicos bem como criando outros próprios, para identificar funções e relações nos seus diagramas sistêmicos. As cores quando usadas devem seguir os padrões sugeridos por Odum (1996):

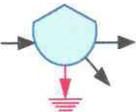
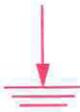
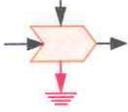
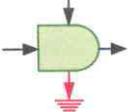
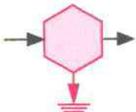
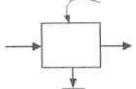
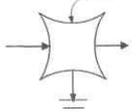
Amarelo: luz solar e calor disperso;

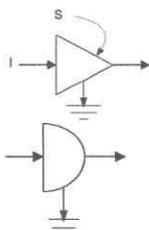
Verde: produtores;

Azul: água, nutrientes, e outros recursos;

Vermelho: consumidores, cidades, unidades de alta transformidade

Tabela 2 – Símbolos utilizados na elaboração de diagramas sistêmicos

Símbolo	Significado
	Fluxo de Energia: fluxo proporcional ao volume do estoque ou a qualidade da fonte que o produz
	Fonte: fonte de energia externa
	Depósito: reserva energética dentro do sistema, que guarda uma quantidade de energia de acordo com o balanço de entrada e saída.
	Sumidouro de energia: dispersão de energia potencial empregada no sistema. A energia potencial é utilizada para produzir trabalho e o custo dessa transformação é a degradação da energia, a qual deixa o sistema como energia de baixa intensidade (2ª Lei da Termodinâmica)
	Interação: intersecção de dois fluxos para produzir uma saída em proporção a uma função de ambos ou controle de ação de um fluxo sobre outro.
	Produtor: unidade que coleta e transforma energia de baixa qualidade (baixa intensidade) em energia com qualidade superior.
	Consumidor: unidade que transforma a qualidade da energia, armazena e retroalimenta energia à etapa anterior (sistema autocatalítico) para melhorar o fluxo de energia que recebe.
	Transação: uma unidade que indica a venda de bens ou serviços (linha contínua) em troca de um pagamento em dinheiro (linha tracejada).
	Caixa: símbolo utilizado para definir os limites de um sistema ou um subsistema dentro de um sistema maior.
	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.



Amplificador: uma unidade que fornece um fluxo de saída (O) na proporção do fluxo de entrada (I) transformado por um fator constante com quanto a fonte de energia (S) seja suficiente.

Receptor de energia autolimitante: unidade que tem uma saída autolimitada pela presença limitada de um material de alta qualidade.

Fonte: adaptado de Odum (1996).

Os diagramas sistêmicos são essenciais na metodologia emergética e sua simbologia precisa ser estudada e internalizada para se poder compreender seu significado e seu funcionamento (COMAR, 1998). Nesses diagramas podem ser visualizados os limites dos sistemas, as funções externas ao sistema (fontes de energia naturais ou produzidas pelos seres humanos), os componentes internos e suas funções (produtores, consumidores, processos de transformação e produção, estoques de biomassa, material, energia ou dinheiro, relações de intercâmbio monetário entre outros), o fluxo de energia e materiais nas trajetórias entre componentes, incluindo as importantes retroalimentações (“feedbacks”) dos processos em curso (Figura 1).

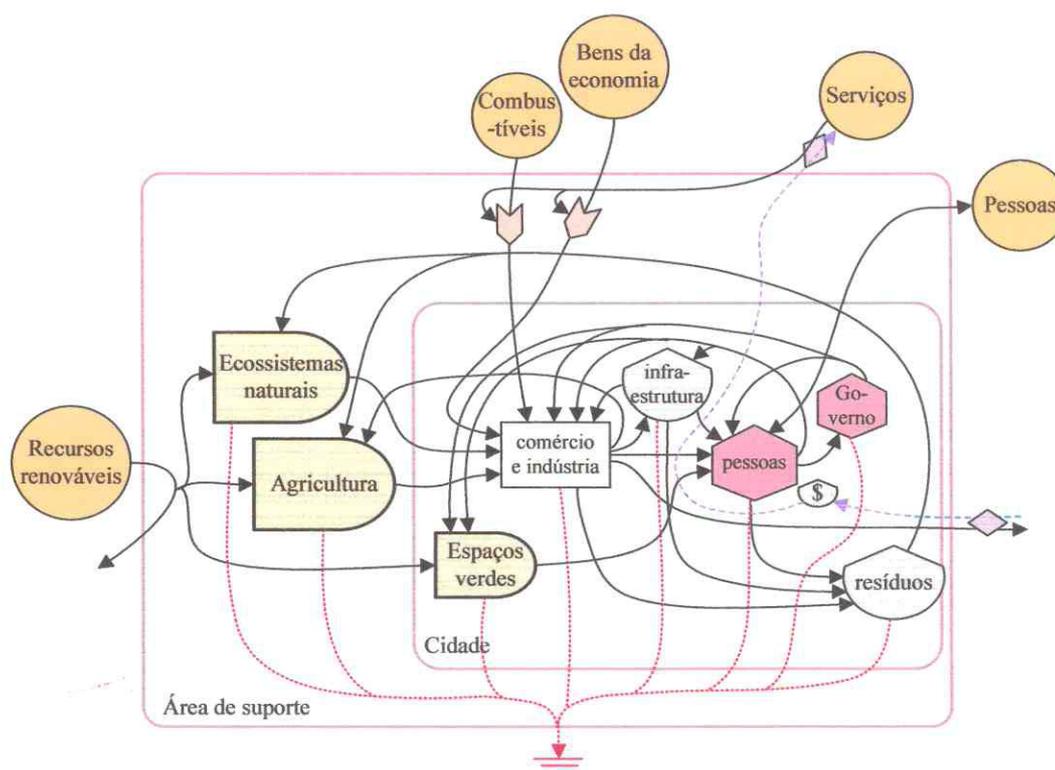


Figura 1 – Diagrama genérico que representa a interação entre uma cidade e sua região de fornecimento de energia e materiais (ORTEGA, 2002).

No diagrama, é necessário colocar os limites do sistema para identificar todos os fluxos de entrada e saída importantes que cruzam as fronteiras do sistema escolhido (Odum, 1996). Cada um destes fluxos se converte em uma linha que vai desde a fonte até o(s) componente(s) que utiliza(m) (AGOSTINHO, 2005).

Etapa B

Nesta etapa as linhas de fluxo de entrada no diagrama são convertidas em uma linha de cálculo na tabela de avaliação emergética (Tabela 3). A tabela é composta por seis colunas e cada linha na tabela é um “caminho” de entrada no diagrama agregado do sistema avaliado. Dessa forma, os “caminhos” são avaliados como fluxos em unidades por ano (Odum, 1996).

Tabela 3 – Esquema de organização de uma tabela de cálculo dos fluxos de energia

Nota (1)	Item (2)	Valor (3)	Unidades (4)	Transformidade (5)	Fluxo de energia (6)
I: Recursos da natureza (R+N)					
R: Recursos renováveis da natureza					
N: Recursos não-renováveis da natureza					
F: Recursos da economia (M+S)					
M: Materiais da economia					
S: serviços da economia					
Y: Energia total (I+F)					

A coluna (1) consiste em uma nota para referenciar os detalhes dos cálculos de cada um dos fluxos de energia, enquanto que a coluna (2) fornece o nome dos insumos do sistema. A coluna (3) contém o valor numérico da quantidade de cada fluxo e a coluna (4) contém as unidades dos valores da coluna (3). A coluna (5) contém o valor da transformidade ou energia por unidade (seJ kg^{-1} , seJ J^{-1} ou $\text{seJ US}\$^{-1}$) para cada fluxo da coluna (3). A unidade da transformidade depende da unidade da coluna (4). A coluna (6) contém o fluxo de energia total, que é calculado multiplicando-se a coluna (3) pela coluna (5) (Odum, 1996).

Como pode ser observado na Tabela 3, também há divisões na horizontal para facilitar a identificação dos tipos de recursos usados. Os primeiros fluxos colocados são os relacionados à contribuição da natureza (I), ou seja, os recursos naturais renováveis (R) e os

não-renováveis (N). Depois são colocados os recursos econômicos (F), que são divididos em materiais (M) e serviços (S). No final, tem-se o total de energia utilizado pelo sistema (Y), que é a soma de I com F (AGOSTINHO, 2005). A Figura 2 resume o exposto acima. Com os valores desses fluxos agregados, é possível obter o valor dos índices energéticos, os quais permitirão comparar sistemas.

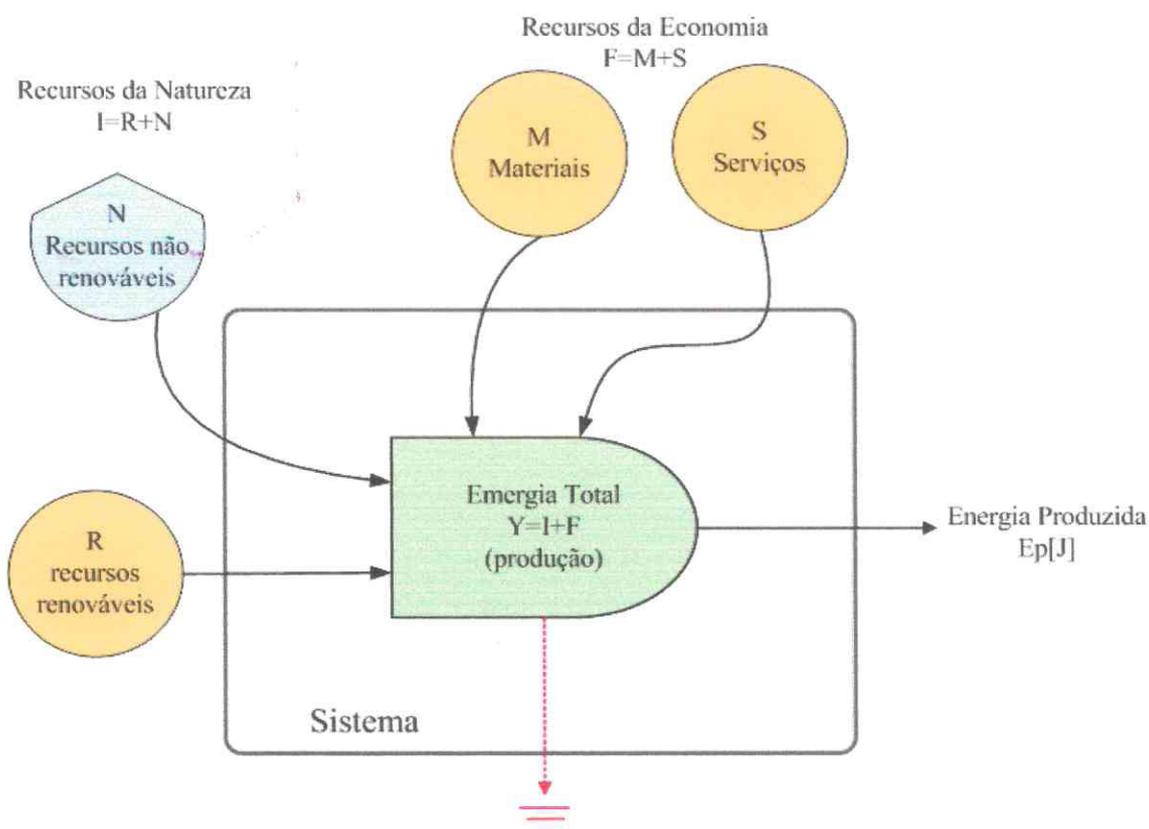


Figura 2 – Indicadores energéticos agregados, adaptado de Agostinho (2005).

A energia renovável (R) é o fluxo de energia, praticamente constante e recorrente, que conduz os processos biológicos e químicos da terra, e contribui para os processos geológicos. Já a energia não renovável (N) é o estoque de energia e matéria como os minerais, solo e combustíveis fósseis, que são consumidos em uma razão que excede o processo de produção geológica. O retorno energético (F) é a energia proveniente de um nível hierárquico superior e que influencia o fluxo no sistema energético, como os combustíveis, bens e serviços provenientes das atividades humanas; o produto é a energia fornecida pelo sistema e corresponde à somatória das energias dos recursos utilizados (ULGIATI; ODUM; BASTIANONI, 1994; ODUM, 1996; COMAR, 1998).

Etapa C

Nesta etapa são obtidos os índices energéticos a partir dos indicadores agregados obtidos anteriormente através da tabela de avaliação de fluxos de energia. Os índices são os seguintes (CAVALETT, 2004):

(a) **Transformidade (Tr)**: esse índice avalia a qualidade do fluxo de energia e permite fazer comparações com outras formas de energia de outros sistemas, além de ser uma medida da posição do produto em termos de hierarquia energética. A transformidade solar do recurso gerado por um sistema é obtida dividindo-se a energia que o sistema incorporou ao produto final (Y) pela energia produzida pelo sistema (R), ou seja, $Tr=Y/R$. Sua unidade é expressa em energia por unidade de energia, massa ou dinheiro, usualmente $seJ J^{-1}$, $seJ kg^{-1}$ ou $seJ US\$^{-1}$.

(b) **Renovabilidade Emergética (%R)**: é utilizada para avaliar a sustentabilidade dos sistemas de produção. O índice de renovabilidade é expresso em porcentagem e é definido como a razão entre a energia dos recursos naturais renováveis empregados (R) e a energia total utilizada pelo sistema (Y), ou seja, $\%R=R/Y$.

(c) **Razão de Rendimento Emergético (EYR)**: é uma medida da incorporação de energia da natureza e é expresso como a relação ao total de energia investida (Y) por unidade de retorno econômico (F), ou seja, $EYR=Y/F$. Indica quanta energia da natureza (gratuita) o processo retorna ao setor econômico.

(d) **Razão de Investimento Emergético (EIR)**: mede o investimento da sociedade para produzir determinado bem em relação à contribuição da natureza. O EIR é obtido através da divisão dos recursos da economia (F) pelos recursos provenientes da natureza (I), ou seja, $EIR=F/I$. Pode ser interpretado como um índice de competitividade que varia com o lugar e o tempo.

(e) **Taxa de Intercâmbio Emergético (EER)**: De acordo com Odum (2001), como as pessoas não pensam em unidades de energia, é recomendado o uso de seu equivalente econômico denominado em dólar. Este equivalente é obtido através da razão energia/dinheiro. A energia contabiliza todas as fontes energéticas usadas pelo sistema natureza-economia humana do país em determinado ano, e o dinheiro é o produto nacional bruto (PNB) expresso em dólares na taxa média anual. Em Odum, (1996), encontra-se o valor do em dólar para diversos países.

3.2.3 Aplicação

A metodologia emergética tem sido aplicada para muitos macroecossistemas relatados para a geobiosfera e nações (ODUM, 1996; CAMPBELL, 1998; ODUM, 2001). Também em nível de macroecossistemas, Lei e Wang, (2008) procederam recentemente uma simulação da economia de Macao – China, com dados do desenvolvimento da indústria, do turismo e da economia dos 20 anos anteriores e fizeram uma perspectiva para as duas décadas futuras, avaliando os fluxos de energia.

Com a perspectiva de crise energética, muitos pesquisadores vem aplicando a metodologia para avaliar as várias fontes de combustíveis. Com este objetivo Brown e Ulgiati (2002) compararam seis sistemas de produção de eletricidade na Itália, tendo como fontes desde combustíveis fósseis até plantas, procurando avaliar eficiência, renovabilidade e nível de poluição. Com a mesma preocupação, Coppola et al. (2009) avaliaram a sustentabilidade da produção de etanol na Dinamarca simulando vários cenários de produção no campo e processos tecnológicos das usinas com e sem reciclagem de resíduos. Já a produção do álcool a partir do trigo na província, Henan na China foi avaliada por Dong et al. (2008), utilizando tanto a metodologia de energia quanto a emergética. Com vistas à redução da poluição e à descoberta de novas fontes de energia renováveis, Zhang e Long (2010) procederam uma revisão de literatura sobre estudos feitos em vários locais utilizando biomassas na produção de energia para avaliar e comparar a sustentabilidade destes biocombustíveis na visão emergética.

Os pesquisadores brasileiros também vêm desenvolvendo análise emergética visando avaliar a produção de biocombustíveis. Com este objetivo Ometto, Ramos e Lombardi (2007) apresentaram uma proposta de mudança na produção tradicional de álcool para Brasil, na qual fosse estabelecida uma simbiose entre a agroindústria e o campo a fim de produzir um combustível renovável, eletricidade e alimento orgânico para avaliar os aspectos sociais e ambientais desse projeto. Com o recente aumento na produção de etanol Pereira e Ortega (2010), procurando estudar o impacto que esta atividade vem causando aos ecossistemas, analisaram a produção em larga escala a fim de avaliar a fragilidade ambiental e a sustentabilidade destes sistemas. Nessa mesma linha de preocupação, (a agressão que os biocombustíveis podem causar aos agroecossistemas), Cavalett e Ortega (2010) avaliaram os impactos ambientais da produção de biodiesel produzido a partir da soja no Brasil.

A preocupação com a agressão ao ambiente está presente nos trabalhos que utilizam a metodologia emergética para avaliar produções agrícolas menos agressivas (ORTEGA et al., 2005; FRANCESCATTO et al., 2008) e outras áreas. Zhang et al. (2009) procederam a avaliação de projetos de produção de materiais visando a sustentabilidade dos recursos naturais com um menor consumo energético na produção de aço na China, associando emergia a duas outras metodologias. Outros pesquisadores (BAKSHI, 2002; ALMEIDA, et al., 2010; ULGIATI; BARGIGI; RAUGEI, 2007) procuraram associar a metodologia convencional com os inventários de avaliação do ciclo de vida (LCA) ou de análise de fluxo de materiais (AMF) para facilitar a seleção dos materiais e dos processos. Também agregando a outras metodologias, Pizzigallo et al. (2008) avaliaram dois processos produtivos e agroindustriais (um orgânico e outro semi-industrial) de produção de vinho em Toscana – Itália, focando uma comparação dos impactos vindos das entradas e saídas dos sistemas agregando o inventário do ciclo da vida (LCA) com a metodologia emergética. Esta mesma metodologia junto com um (LCA) adaptado ao turismo também foram utilizadas na região de Riviera de Beigua, Itália para quantificar a sustentabilidade ambiental, avaliar como o turismo interfere na economia, na sociedade e no ambiente (VASSALLO et al., 2009).

Nesta preocupação com um menor nível de agressão ao meio ambiente, Giannetti, Barrela e Alemida (2006) desenvolveram um diagrama como uma ferramenta gráfica, a partir dos dados de análise emergética, para ajudar nas tomadas de decisão sobre produção e meio ambiente que já foi aplicada em outras pesquisas (ALMEIDA; BARRELA; GIANNETTI, 2007; GIANNETTI; ALMEIDA; BONILLA, 2010).

Recentemente Agostinho et al. (2008) agregaram o sistema de informações geográficas (SIG) e a metodologia emergética para avaliar o desempenho de pequenas fazendas no Estado de São Paulo, Brasil, a fim de sugerir práticas de manejo adequadas para melhorar o rendimento e a sustentabilidade ambiental. O autor supra citado, também, avaliou a bacia do Mogi-Guaçu e Pardo, no referido Estado, usando as mesmas ferramentas e o diagrama ternário (AGOSTINHO; AMBRÓSIO; ORTEGA, 2010). Além de usar SIG e emergia, Huang, Lai e Lee (2001) agregaram análise multivariada à emergética a fim de estudar o efeito de fluxos de energia nas hierarquias e na organização espacial do zoneamento urbano da região metropolitana de Taipie em Taiwan.

Chen e Chen (2009) investigaram a bacia hidrográfica do rio Amarelo buscando avaliar o ecossistema em uma integração das análises econômica, energética, e social do sistema. Já a bacia do rio Longdao foi avaliada com relação as suas fontes renováveis e sustentabilidade da bacia aplicando-se a mesma metodologia (CHEN et al., 2009). Também

no mesmo contexto Tilley e Brown (2006), desenvolveram um modelo ecohidrológico para uma bacia hidrográfica subtropical urbanizada no sul da Flórida, usando a metodologia emergética, para fazer uma avaliação de um sistema de manejo de água de chuva nas áreas alagadas.

Outros trabalhos com emergia foram conduzidos procurando avaliar o desempenho econômico e ambiental em diferentes culturas e sistemas de cultivo entre os quais citam-se: cultura da banana em Guadeloupe, França (BARROS et al., 2009), plantio de bambu gigante no Estado de São Paulo, Brasil (BONILLA et al., 2010), avaliação da produção e industrialização de soja no Brasil (CAVALETT; ORTEGA, 2009), eficiência e sustentabilidade da produção de grãos nas províncias de Jiangsu e Shaanxi, na China (LIU; CHEN, 2007), avaliações econômicas para quatro sistemas de produção de frutas pantanais que cercam o estuário do rio da pérola, China (LU et al., 2009), entre outros.

Ainda avaliando os impactos da agricultura, Martin et al., (2006) utilizaram a análise emergética para avaliar três sistemas de cultivo, produção convencional de milho no Kansas-USA, amora preta em Ohio-USA e sistema de rotação de culturas em Chiapas – México para comparar e contrastar o uso de recursos, a produtividade, o impacto ambiental, e a sustentabilidade total. Nesta mesma tendência, mas buscando investigar práticas menos convencionais, Rosa, Siracusa e Cavallaro (2008) avaliaram a produção de laranja na Sicília, comparando um cultivo tradicional com outro orgânico considerando os recursos usados, produtividade, impactos ambientais e sustentabilidade. Com o objetivo de avaliar alternativas de exploração menos tradicionais, Cavalett, Queiroz e Ortega (2006) avaliaram a produção de grãos, porco e peixe em pequenas fazendas no sul do Brasil.

Muitos trabalhos com a metodologia emergética têm procurado focar o custo ambiental das atividades antrópicas. Pulselli et al. (2008b), que avaliaram os principais fluxos de energia e materiais que abastecem o território da Província de Siena, Itália Cohen e Brown, Shepherd (2006) analisaram as perdas de solo no Kenia, em diferentes escalas, buscando estimar os custos da erosão a fim de subsidiar os projetos e as tomadas de decisão visando à sustentabilidade. Também nesta mesma linha de avaliação, mas em nível de empreendimentos localizados foi conduzido por Kang e Park, (2002) o trabalho que buscou quantificar a viabilidade econômica e ambiental de uma represa que tinha como objetivo garantir abastecimento de água e controle de cheias na Korea.

As questões do desmatamento também foram foco dos pesquisadores que estudam a metodologia emergética como Tilley e Swank (2003), que estudaram uma bacia de 1130 ha, dentro da Floresta Nacional Nantahala da Carolina do Norte, constatando que o preço pago

pela exploração de madeira, naquela bacia, correspondia a apenas 4,3% do valor acumulado de energia no produto. Já Lu et al. (2006) avaliaram uma proposta de reflorestamento com agrofloresta, que tem sido amplamente utilizada na China: na parte mais alta fica uma floresta, na intermediária um pomar, em seguida uma área de grama e na parte mais baixa é implantado um tanque para piscicultura.

No Brasil a agricultura tem se desenvolvido baseada fortemente na utilização intensiva de máquinas agrícolas, com conseqüente uso de combustíveis fósseis, a utilização massiva de fertilizantes e derivados do petróleo nos agroecossistemas. Apenas nas regiões Sul e Sudeste e recentemente, pode-se encontrar iniciativas de maior porte que buscam uma agricultura mais auto-sustentável, do ponto de vista da utilização da energia (CAMPOS; CAMPOS, 2004). No entanto pouca atenção tem sido dada às formas e aos caminhos com que os fluxos energéticos se distribuem nos sistemas produtivos e apenas alguns pesquisadores têm se dedicado ao uso da metodologia emergética, ficando mais restrita ao grupo coordenado pelo professor Henrique Ortega da UNICAMP em São Paulo, ressaltando que Jorgensen et al., (1983) fizeram um estudo com a metodologia, em duas áreas agrícolas do Nordeste, no vale do Jaguaribe.

3.3 Biomassa

A vegetação da caatinga apresenta três estratos distintos, arbóreo, arbustivo e herbáceo, havendo predominância de plantas caducifólias no estrato herbáceo, que perdem suas folhas entre o final das chuvas e o início da estação seca, e muitas apresentam espinhos. O substrato pode ser composto de cactáceas, bromeliáceas, havendo, ainda, um componente herbáceo formado por gramíneas e dicotiledôneas, predominantemente anuais (PEREIRA FILHO et al., 2007). Esta vegetação apresenta grande variação fisionômica, principalmente quanto à densidade e ao porte das plantas. As áreas de regeneração são dominadas por poucas espécies, isto provavelmente influenciado pela prática do fogo para limpar as áreas a serem cultivadas, tendo em vista que o fogo coloca em risco a biodiversidade por reduzir significativamente os bancos de sementes presentes no solo da região (PEREIRA et al., 2003; FIGUEIRÔA et al., 2006; MAMEDE; ARAÚJO, 2008).

Grande parte da caatinga é explorada para produção de lenha, seja como finalidade principal, seja como produto da abertura de áreas para plantio ou pastagem e outra

parte é usada como pastagem nativa, com os animais consumindo a vegetação herbácea presente na época de chuvas e as folhas de árvores e de arbustos que caem ao longo da estação seca (SCHACHT et al., 1989). Com o corte e a queima ocorrem maiores escoamentos e produção de sedimentos (SRINIVASAN; SANTOS; GALVÃO, 2003; GARCÍA-RUIZ et al., 2008; THOMAZ, 2009) concorrendo para a degradação da área. Assim a agricultura proporciona baixos rendimentos e muitas áreas têm sido abandonadas e regeneradas. Como resultado, a presente cobertura é um mosaico de diferentes estágios de regeneração, no qual áreas de caatinga original preservada são cada vez mais raras (PEREIRA et al., 2003; SILVA; SAMPAIO, 2008).

Apesar da riqueza e diversidade, este é um bioma pouco estudado, mas alguns trabalhos realizados nos estados da Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, procuraram caracterizá-lo. Foram encontradas entre 11 a 53 espécies ha^{-1} e densidades que variaram de 2.115 a 3.810 indivíduos ha^{-1} , para áreas com aproximadamente vinte anos de regeneração a áreas sem interferência antrópica há mais de trinta anos, respectivamente (ARAÚJO FILHO et al., 2002; PEREIRA et al., 2002, 2003; ALCOFORADO FILHO; SAMPAIO; RODAL, 2003; AMORIM; SAMPAIO; ARAÚJO, 2005; CAVALCANTI et al., 2009). Também foram encontradas densidades de 1307, 2795 e 4435 indivíduos ha^{-1} para três fitofisionomias distintas da caatinga (caatinga em sentido restrito, mata seca e carrasco) respectivamente, em uma área de caatinga na Reserva Natural Serra das Almas no estado do Ceará (ARAÚJO et al., 2005).

Na maioria dos levantamentos feito na caatinga fica caracterizado que a ação do homem tem conduzido a vegetação a um processo de sucessão secundária e que as espécies lenhosas pioneiras, como jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Wild.) e marmeleiro (*Croton sonderianus* Muell.Arg.), são as mais freqüentes, com destaque ainda para a presença de outras espécies como catingueira (*Caesalpinia bracteosa* Tul.), mororó (*Bauhinia cheilantha*), mofumbo (*Combretum leprosum* Mart.), entre outras. No estrato herbáceo destacam-se gramíneas como as milhãs (*Brachiaria plantaginea* e *Panicum sp.*), capim rabo de raposa (*Setária sp.*) e capim panasco (*Aristida setifolia* H. B. K.); dicotiledôneas como mata-pasto (*Senna obtusifolia*) bamburral (*Hyptis suaveolens* Point), malva branca (*Sida cordifolia* L.), feijão-de-rola (*Phaseolus patyróides* L.), centrosema (*Centrosema sp.*), erva-de-ovelha (*Stylosanthes humilis*), manda pulão (*Croton sp.*), bredo (*Amaranthus sp.*) entre outras (PEREIRA FILHO et al., 2007).

O conhecimento da quantidade e a distribuição da biomassa vegetal são aspectos necessários em atividades econômicas e ambientais, como políticas de uso do recurso

madeireiro, manejo florestal, estudos de ciclagem de nutrientes, absorção de CO₂, entre outros (COSTA et al., 2002). Apesar da sua importância, tais aspectos são pouco conhecidos, principalmente nas florestas tropicais, pela dificuldade inerente ao procedimento de obtenção de dados de campo.

A biomassa total de uma área de vegetação é composta da biomassa do estrato arbustivo arbóreo, do estrato herbáceo e os restos vegetais (serapilheira) depositados no solo. Para o estrato arbustivo arbóreo Anderson e Ingram, (1993) recomendam que a estimativa da biomassa em florestas naturais com grande número de espécies seja obtida pela estimativa direta da biomassa (amostra destrutiva) ou indireta, através de equações de regressão que correlacionam a quantidade de biomassa com o diâmetro dos troncos das árvores. A coleta destrutiva com a formulação de equações de regressão, a partir de variáveis mais facilmente medidas, é uma das técnicas mais empregadas para prever a biomassa (HAY; HENRIQUES; COSTA, 1982). Os parâmetros mais comumente usados são diâmetro do tronco ou caule, altura da planta e volume da copa ou da planta (TAUSCH; TUELLER 1988). Uma vantagem desta metodologia é que, depois de uma amostragem destrutiva, as amostragens subsequentes não o são, poupando então tempo, energia, dinheiro e a própria vegetação a ser estudada (HAY; HENRIQUES; COSTA, 1982; NORTHUP et al., 2005).

Vários trabalhos determinaram os volumes e massas de lenha de algumas áreas de caatinga (CARVALHO et al., 1979; CARVALHO; OLIVEIRA, 1993; CARVALHO; ZÁKIA, 1993), porém não consideraram as biomassas das partes menores. Alguns poucos trabalhos estimaram as biomassas de folhas da caatinga, mas não do resto das plantas (LIMA, 1984). Biomassas totais, sem separação de partes, foram medidas em um único local, em Serra Talhada, PE (KAUFFMAN et al., 1993). Equações para estimar as massas de lenha e as biomassas totais de plantas individuais a partir de medidas como diâmetro de caule e altura têm sido desenvolvidas e aplicadas em vários locais (LAURENCE et al., 1999; KETTERINGS et al., 2001; PILLI; ANFODILLO; CARRER, 2006) e também foram desenvolvidas para algumas espécies e grupos de espécies da caatinga (ZAKIA et al., 1992; LIMA; OLIVEIRA; MACHADO, 1996; SAMPAIO; SILVA, 2005; SILVA; SAMPAIO, 2008). Algumas destas equações depois foram avaliadas para espécies em área de caatinga regenerada (SAMPAIO et al., 2010).

Alguns trabalhos procuraram quantificar a fitomassa nas áreas de caatinga através de levantamentos fitossociológicos e do uso de equações. Kauffman *et al.* (1993), avaliando uma vegetação de caatinga em Serra Talhada (PE), encontrou valores 74 t ha⁻¹. A vegetação da região do Seridó-RN apresentou 25 t ha⁻¹ (AMORIM; SAMPAIO; ARAÚJO, 2005). Já na

depressão sertaneja do Pernambuco foram encontradas 41,2 t ha⁻¹ e, na mesma área, cinco anos após foi repetido o experimento e a fitomassa tinha aumentado para 43,8 t ha⁻¹. Sendo que a faixa de valores de biomassa, para áreas de caatinga pouco antropizadas, variam entre 35 e 156 t ha⁻¹ (CAVALCANTI et al., 2009).

Outra técnica de quantificação de biomassa que vem sendo aplicada é a utilização de imagens de satélite que estabelece relações entre fitomassa e radiação, para o índice de área de planta como uma variável intermediária que inclui folhas, troncos e ramos que representa bem as vegetações decíduas (LINHARES; PONZONI; SHIMABUKURO, 2000; QI et al., 2000; COSTA et al., 2002). Aplicando esta técnica em uma área de 75.000 ha no núcleo de desertificação do Seridó entre a Paraíba e o Rio Grande do Norte, foram encontrados valores de fitomassa que variaram de 0,1 a 30 t ha⁻¹ (COSTA et al., 2001).

Já a produção de matéria seca da fitomassa do estrato herbáceo da caatinga varia de 670 a 2.340 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e está correlacionada ao percentual de cobertura e densidade das espécies lenhosas, estação do ano, condições climáticas e sítios ecológicos (Araújo Filho 1992). Outro fator importante que pode alterar a produção de fitomassa por este estrato é a interferência antrópica através do manejo da vegetação arbórea da área. Os tratamentos de manipulação também aumentaram substancialmente a participação das gramíneas na composição da fitomassa herbácea (ARAÚJO FILHO et al., 2002).

Em áreas de caatinga na região de Tauá, Ceará, submetida aos tratamentos de desmatamento, rebaixamento e raleamento-rebaixamento ficando com 40, 13 e 5,6% de cobertura de espécies lenhosas, a produção do estrato herbáceo foi de 830, 1.244 e 1.574 kg ha⁻¹ de MS, respectivamente (SARAIVA, 1988). Em outra área em Ouricuri-PE, indicou que o rebaixamento proporcionou uma produção de 5.858 kg ha⁻¹ de MS, superando os demais tratamentos (ARAÚJO FILHO et al., 2002). Em estudo na área de caatinga raleada em Sobral-CE, as produções anuais variaram de 3.211 a 6.520 kg ha⁻¹ de MS (PEREIRA FILHO et al., 2007). Estas pesquisas também constataram a grande influência das precipitações na produção deste estrato, sendo observada uma elevada disponibilidade de matéria seca durante o período das chuvas e forte queda no final do período seco, resultando em grande variação na disponibilidade da fitomassa do estrato herbáceo nas diferentes épocas do ano.

3.4 Hidrosedimentologia

A erosão do solo é um dos problemas ambientais mais importantes em todo mundo, tendo a erosão hídrica como a forma mais prejudicial de degradação e sendo entendida como um fenômeno complexo resultante da interação de inúmeros fatores, compreendendo três fases distintas: desagregação, transporte e deposição do solo, provocado pela ação da água das chuvas e do escoamento superficial, e acelerado pela ação antrópica (LAL, 1994; CASSOL; LIMA, 2003; GAFUR et al., 2003; COGO; LEVIEN; SCHWARZ, 2003;). A desagregação é definida como a liberação de partículas dos solos e é gerada especialmente pelo impacto das gotas da chuva diretamente sobre a superfície do solo que, uma vez desprendidas, podem permanecer sobre a superfície do solo ou serem transportadas (CARVALHO et al., 2002). O transporte ou arraste das partículas finas desagregadas se dá quando o solo está saturado ou quando a intensidade da chuva é superior à taxa de infiltração de água no solo, ocasionando o escoamento superficial do excesso de água, em áreas com declive (INÁCIO et al., 2007). No estágio final do processo, a deposição das partículas, normalmente, culmina em locais mais baixos, que podem ser depressões naturais do terreno ou reservatório de água, como rios, lagos e represas.

A erosão hídrica é o resultado da interação do clima, solo, topografia, cobertura e da adoção de práticas conservacionistas (WISCHMEIER; SMITH, 1958; XU, 2005; WEI et al., 2007), Os fatores que condicionam a erosão compreendem: (a) erosividade, (b) erodibilidade, (c) relevo, e (d) cobertura vegetal (SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2003). A erosão constitui a principal causa do empobrecimento precoce das terras produtivas. As enxurradas, provenientes das águas que não foram retidas ou infiltradas no solo, transportam partículas de solo em suspensão e nutrientes necessários às plantas (SANTOS et al., 2009a).

As taxas de erosão e consequente desgaste do solo vêm aumentando com implicações de ordem física, financeira e social. Sendo preocupante especialmente em regiões semiáridas de países como o Brasil, onde grande parte da população depende de atividades econômicas ligadas à agricultura. e os impactos ambientais oriundos da erosão têm reflexos no aumento dos custos dos produtos agrícolas (HERNANI et al., 2002).

A cada ano são perdidos, em todo o território brasileiro, 500 milhões de toneladas de solo agrícola devido à erosão. As perdas por erosão são elevadas, haja vista que a maioria dos agricultores ainda não utiliza técnicas de manejo nem de conservação adequadas ao solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999; OLIVEIRA et al., 2010). Estes prejuízos ocorrem

em razão do aumento do risco de desertificação, destruição das nascentes e modificação da calha dos rios pelo desmoronamento e deposição de sedimentos no leito, formação de sulcos indesejáveis no terreno, poluição dos corpos hídricos e aumento da turbidez na água, o que resulta em redução da penetração de luz na água com comprometimento no ciclo de vidas de algumas espécies aquáticas (BERTOL et al., 2004, 2007; CARVALHO, 2008).

As práticas agrícolas realizadas sem um planejamento adequado, em algumas regiões do Brasil, têm provocado grandes distúrbios ao meio ambiente (SILVA et al., 2007). Estes problemas se tornam ainda mais evidentes nos terrenos que apresentam declividade acentuada e/ou desprovidos de cobertura vegetal (OLIVEIRA et al., 2010). O uso e a ocupação da terra são importantes fatores que influenciam a ocorrência e a intensidade do escoamento superficial e a produção de sedimentos (CHEN et al., 2001; GAFUR et al., 2003). Esse processo tende a se acelerar, à medida que a cobertura vegetal é retirada para a produção agrícola, uma vez que os solos ficam desprotegidos e, conseqüentemente, as chuvas incidem diretamente sobre a superfície do terreno.

Segundo Martins et al. (2003), o monitoramento das perdas de solo por erosão hídrica, em comparação com os limites estabelecidos pela tolerância de perdas, é imprescindível ao manejo adequado das atividades agrícolas. Em termos de limites a FAO, (1967) admite perdas da ordem de $12,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para solos profundos, permeáveis e bem drenados; 2 a $4 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para solos rasos ou impermeáveis e, para outros solos, admite perdas intermediárias àqueles limites.

O Brasil perde anualmente pelo menos quinhentos milhões de toneladas de terra através da erosão. Essa perda de solo influencia diretamente a produtividade das culturas agrícolas, podendo, mesmo em alguns casos, resultar na perda total da capacidade produtiva (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999). O desmatamento aliado à agricultura são atividades que produzem grandes quantidades de sedimentos. Considerando o uso do solo, o U.S. *Soil Conservation Service* estima o limite de perda de solo em $11,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para atividades agrícolas enquanto que as taxas de erosão natural ficam em torno de $0,224$ e $2,42 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Na região semiárida Lima Neto, Wiegand e Araújo (2011), constataram produção de sedimentos da ordem de $148 \text{ t km}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ na bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, que tem uma área de 24.600 km^2 e aproximadamente 4000 reservatórios. Sendo que, 70% destes sedimentos correspondem a sedimentos em suspensão e 30% a sedimentos de arraste. Os referidos autores analisaram dados de descarga em uma seção de controle desta área e ressaltaram a grande importância da densa rede de reservatórios na redução da carga de sedimentos em suspensão.

Vários pesquisadores têm se dedicado a monitorar as perdas de solo por todo o mundo, alguns trabalham com parcelas experimentais de erosão, como o trabalho de Wei et al. (2007), que monitorou as perdas de água e erosão, em parcelas com cobertura de culturas, pasto, arbusto, floresta e grama, no semiárido da China, durante 14 anos, constataram coeficiente de escoamento que variou de 2,61% em áreas cobertas com arbusto a 8,4% para áreas plantadas. As perdas anuais de solo nestas áreas variaram de 1.310 kg ha⁻¹ para áreas com arbusto a 85.990 kg ha⁻¹ para áreas plantadas com culturas.

Carvalho et al. (2007), determinando as perdas de água e solo em parcelas experimentais de erosão para diferentes tipos de cultivo de café e tendo o solo descoberto como testemunha, na Universidade Federal de Lavras-MG, encontraram perdas de solo da ordem de 110 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para café cultivado no sistema convencional/roçado e 67.243 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para o solo descoberto. Já as perdas de água variaram de 11 mm na parcela de café com cultivo orgânico/roçado e de 299 mm para a parcela mantida com solo descoberto, sendo que choveu 1.429 mm no período e o valor acumulado de erosividade foi de 8.102 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹.

No Nordeste semiárido, no município de Serra Talhada-PE, Freitas et al. (2008) submetendo estas parcelas a cinco chuvas simuladas com intensidade 147 mm h⁻¹ e diferentes coberturas de solo, constataram perdas de solo que variaram de 1.192 kg ha⁻¹ para área com caatinga semi-arbustiva com predominância de plantas de pequeno porte e 52.928 kg ha⁻¹ para área de solo nu. Eles concluíram, também, que há efeito benéfico da cobertura vegetal em relação a retenção dos volumes escoados em razão do aumento das forças de viscosidade que se contrapõem ao livre escoamento.

Na mesma região, só que em área de caatinga no estado da Paraíba, Santos et al. (2007), trabalhando com chuva natural e diferentes coberturas de solo, no período de 1983 a 1991, constataram uma erosão média de 0,2 t ha⁻¹ para a área de caatinga nativa, 33,2 e 52,1 t ha⁻¹ para as duas áreas desmatadas e 0,3 t ha⁻¹ para as áreas mantidas com cobertura rasteira e cobertura morta. Tais resultados demonstram que as áreas mantidas com cobertura morta e rasteira conseguiram reduzir a erosão em 99% quando comparado ao solo nu.

No mesmo bioma Santos, (2009b) avaliando as perdas de água e solo em uma parcela de erosão nas bacias experimentais do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia no município de Iguatu-CE, encontrou perdas mensais de água que variaram de 23 a 44% e perdas de solo mensal que variaram 127 a 834 kg ha⁻¹, totalizando uma perda anual de 2.167 g ha⁻¹.

Alguns pesquisadores conduzem monitoramentos em microbacias, Gafur et al. (2003) monitorou pequenas bacias hidrográficas em Bangladesh, numa região montanhosa com altitude de 1000 m e média de precipitação de 2.682 mm com estação seca e chuvosa. As bacias tinham aproximadamente 1 ha cada, foram submetidas a agricultura tradicional das populações indígenas chamada de jhum, na qual a vegetação nativa é cortada, queimada e plantada com culturas de sobrevivência por um período e depois são deixadas em descanso. Nestas áreas foram monitorados os eventos de precipitação, escoamento e perda de sedimentos. O escoamento variou entre 15 a 37% tendo uma correlação direta entre os usos das bacias e as perdas de água, enquanto a perda anual de sedimentos variou entre 7.880 a 23.340 kg ha⁻¹ no primeiro ano, tendo o maior valor ocorrido na bacia onde havia sido feita a limpeza da área com a queima.

Rodrigues (2009), avaliando escoamento e perda de sedimentos em nível de pequenas bacias, em áreas adjacentes à de Santos 2009b, constatou perda de sedimento anual de 1.450 kg ha⁻¹, lâmina total anual escoada de 22% e coeficientes de escoamentos que variaram entre 0,4 e 86%, por eventos. Ele atribuiu esta alta variabilidade do coeficiente de escoamento, principalmente, aos níveis de umidade antecedente e em menor escala as características das chuvas e ao desenvolvimento da vegetação da área. A grande influência da umidade antecedente nas vazões destas bacias também foi observada por Alves (2008).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Características da área de estudo

4.1.1 Localização e descrição

As microbacias hidrográficas monitoradas se localizam na bacia do Alto Jaguaribe, mais precisamente no município de Iguatu, na região Centro Sul do Ceará, entre as coordenadas geográficas $6^{\circ}23'42''$ a $6^{\circ}23'47''$ S e $39^{\circ}15'24''$ a $39^{\circ}15'29''$ W (Figura 3). Todas as microbacias estão situadas em áreas de domínio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - Campus Iguatu e apresentam um caráter experimental com dimensões de pequena escala, não superior a 3 ha.

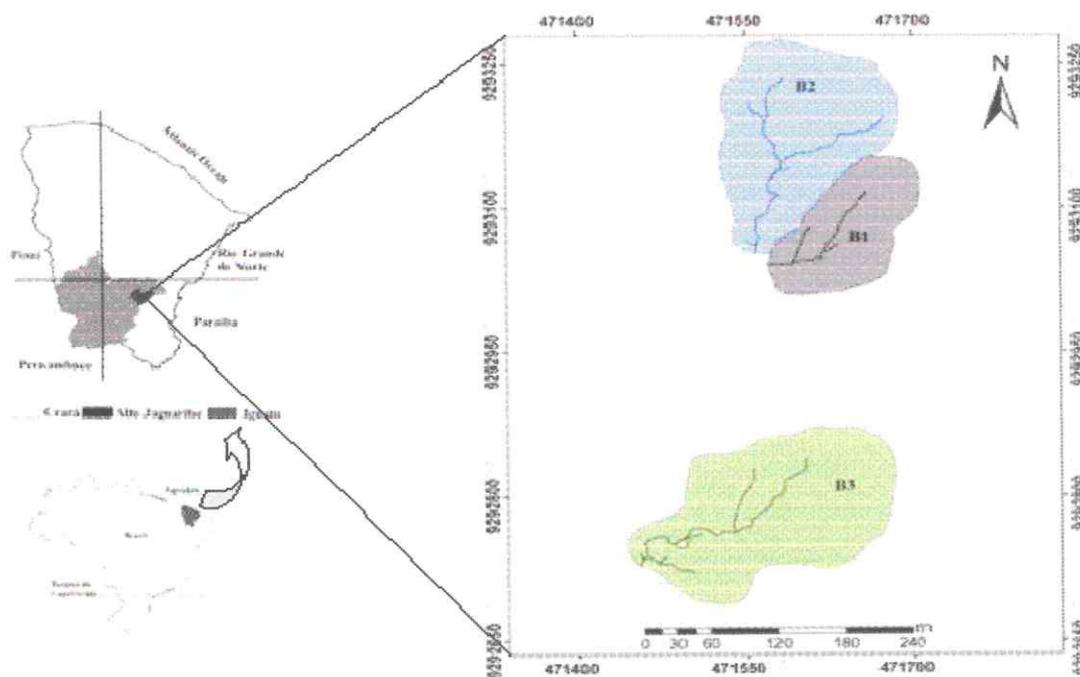


Figura 3 – Localização das microbacias experimentais no Estado do Ceará.

Os cursos de drenagem são de primeira e segunda ordem segundo a classificação de Strahler (GORDON; MCMAHON; FINLAYSON, 1992), e apresentam vários pontos de dissipação de energia, expressando a ação da declividade sobre a velocidade de deslocamento

da água. Apresentam escoamento efêmero, isto é, o fluxo de água sobre o canal principal se faz presente durante e depois do evento pluviométrico em um período médio de tempo não superior a 24 horas após o encerramento da chuva.

Os estudos na área iniciaram-se em 2007, mais especificamente, sobre as microbacias B1 e B2, que foram devidamente delimitadas e caracterizadas por Alves (2008), e serviram de suporte para o presente trabalho. No ano hidrológico de 2007, também, foi implementada outra microbacia (B3). Porém, devido a problemas de monitoramento, os equipamentos foram realocados no final de 2008. As torres para coleta de amostras de sedimentos suspensos foram realocadas no final de 2008 nas microbacias B1 e B2 e em 2009 na B3. Na Tabela 4 estão explicitadas as características morfométricas das unidades experimentais calculadas de acordo com Villela e Matos (1975).

Tabela 4 – Características morfométricas das microbacias experimentais: B1, B2, B3

Características	Unid.	Microbacias		
		B1	B2	B3
Manejo da vegetação		Caatinga raleada	Caatinga não alterada	Plantada com gramínea
Área da bacia	ha	1,15	2,06	2,80
Perímetro	m	478,35	594,50	696,75
Comprimento do talvegue	m	120,54	183,87	187,90
Comp. do curso principal	m	147,18	252,11	238,20
Comprimento da bacia	m	188,17	204,20	253,90
Declividade da bacia	%	8,72	10,59	5,57
Fator de forma	-	0,32	0,49	0,43
Coefficiente de compacidade	-	1,25	1,16	1,17
Densidade de drenagem	m ha ⁻¹	153,80	192,59	146,29
Tempo de concentração	h	0,05	0,06	0,07
Sinuosidade do curso principal	-	1,20	2,06	2,8

FONTE: adaptado de RODRIGUES (2009).

4.1.2 Características do solo

As microbacias são parte integrante da depressão sertaneja setentrional (IPECE, 2004). A geologia da região, segundo levantamentos da Superintendência de Desenvolvimento do Estado do Ceará (SUDEC, 1980), caracteriza-se por ser formada de sedimentos meso microclástico, que sofreram um processo de afundamento, proporcionando a formação de solos com relevo plano a suave ondulado. O relevo plano está representado,

predominantemente, pela superfície aluvial, enquanto o relevo suave ondulado encontra-se nos tabuleiros mais elevados, que se formaram por um intenso processo erosivo em solos muito argilosos, com argila do tipo 2:1, grupo montimorilonita. Por apresentar essa característica, este relevo possui uma formação irregular, com pequenas elevações intercaladas por pequenas áreas planas.

O relevo é pouco acidentado, com solos relativamente profundos com presença elevada de silte nas camadas superficiais e subsuperficiais. Devido ao tipo de argila presente nos solos das microbacias é comum o surgimento de rachaduras (Figura 4a) na superfície nas épocas secas do ano, e encharcamento no período chuvoso (ALVES, 2008; RODRIGUES, 2009), tornando-se a área de difícil acesso e locomoção. Usando-se de sondagens de campo através de tradagens nas microbacias B1 e B2, observou-se presença de solos com caráter Franco a Franco-argiloso, e na microbacia B3 observou-se pouca diferenciação textural no perfil até uma profundidade de 90 cm, e da mesma forma que em B1 e B2, com presença de silte e argila (Tabela 5). Tais averiguações de campo são importantes para compreender o caráter estrutural e armazenamento de água no solo. As Figuras 4a e b evidenciam a situação das microbacias nas duas épocas do ano (seca e úmida).

Para a classificação dos solos, foi aberta uma trincheira entre as microbacias B1 e B2, por serem áreas pequenas e adjacentes e outra na microbacia B3. As trincheiras tinham dois metros de profundidade. O solos das duas áreas foram classificados como Vertissolos Ebânico Carbonático Típico. Já para a caracterização físico-química do solo foram coletadas amostras deformadas em vários horizontes de cada trincheira e levadas para os Laboratórios de Física e Química do Departamento de Solos da Universidade Federal do Ceará. Os parâmetros físico-químicos dos solos das microbacias podem ser observados na Tabelas 5.



(a)



(b)

Figura 4 – (a) Detalhe da estrutura do solo no período seco; (b) Condição de encharcamento dos solos em pontos mais baixos da microbacia B3 no período chuvoso.

Tabela 5 – Dados de análise físico-química do solo das microbacias

Microbacia B1 e B2 B3			
Horizontes	A	B	BCv	A	B1	B2	C1
Profundidades (cm)	0 a 5	5 a 21	21 a 31	0 a 25	25 a 103	103 a 116	116 a 137
Parâmetros físicos							
Areia (g kg ⁻¹)	137	205	182	315	291	166	322
Silte (g kg ⁻¹)	447	405	470	425	387	502	478
Argila (g kg ⁻¹)	416	390	348	260	322	332	200
Silte/Argila	1	1	1	2	1	2	2
Parâmetros químicos							
C (g kg ⁻¹)	24,1	13,3	10,2	8,31	5,75	5,44	3,86
pH	7,6	8,2	8,2	8,5	6,8	9,2	9,3
Ca (cmol _c kg ⁻¹)	35	43	39	18	20	18	20,8
Mg (cmol _c kg ⁻¹)	12	10	8,6	15,2	12,4	10	14,2
K (cmol _c kg ⁻¹)	1,04	0,37	0,29	0,21	0,19	0,23	0,21
Na (cmol _c kg ⁻¹)	0,13	0,13	0,15	0,81	1,42	3,37	5,32
H + Al (cmol _c kg ⁻¹)	1,7	1,2	1,2	2,6	2	1	1
CaCO ₃ (g kg ⁻¹)	145	144	151	146	130	157	213
P assim (mg kg ⁻¹)	42	62	59	8	9	9	10
CE (dS m ⁻¹)	0,48	0,3	0,29	0,3	0,3	0,4	1

A condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) do solo representativa das microbacias foi determinada em condições de campo, com um permeâmetro de carga constante conhecido como Amoozometer (AMOOZEGAR, 1992 apud ZIEGLER et al., 2006), sendo constatados valores de 0,06; 0,20 e 0,22 mm h⁻¹ para a profundidade de 0-30 cm nas microbacias B1, B2 e B3, respectivamente.

4.1.3 Clima

O clima da região é do tipo BSw'h' (quente e semiárido), de acordo com a classificação climática de Köppen (1948), com temperatura média sempre superior a 18 °C no mês mais frio e precipitações pluviométricas máximas de outono. A média histórica da precipitação anual para o município de Iguatu entre os anos de 1974/2008 é de 970 ± 316 mm (Figura 5), sendo a precipitação pluviométrica na região concentrada principalmente nos meses de janeiro a maio, com os maiores valores constatados no mês de março

(RODRIGUES, 2009). A distribuição mensal é marcada por uma alta variabilidade, podendo em um único mês, concentrar um acumulado superior ao total anual de um ano seco.

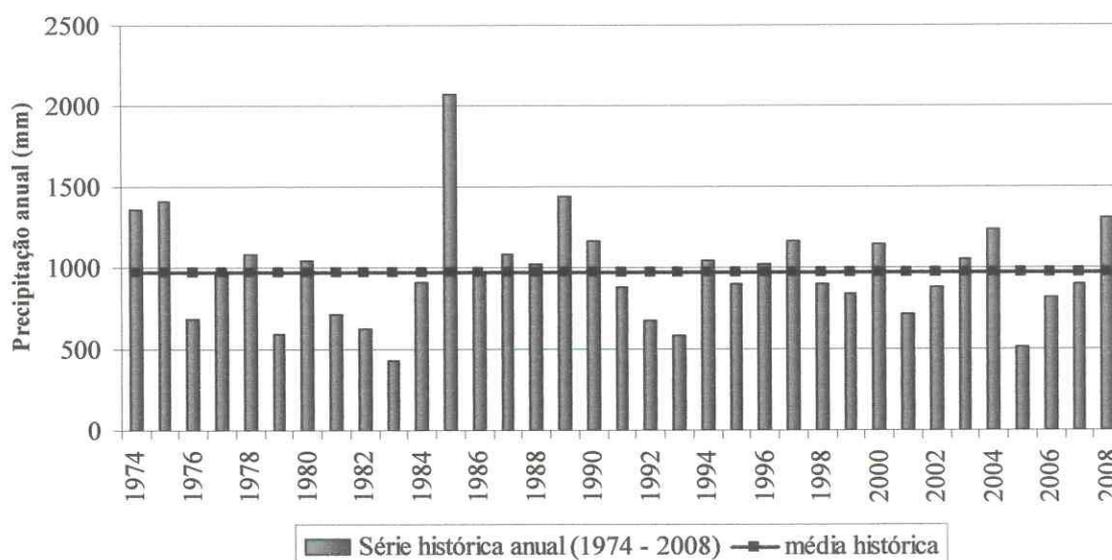


Figura 5 – Série histórica anual de precipitação pluviométrica da região de Iguatu (RODRIGUES, 2009).

A região é caracterizada também por uma alta evaporação potencial (Tabela 6), estando as médias mensais com maiores valores durante os sete meses de menor precipitação (PALÁCIO, 2004). As temperaturas médias mais altas ocorrem de setembro a janeiro, relacionando-se com a forte insolação e baixa nebulosidade durante esse período.

Tabela 6 – Dados climáticos da cidade de Iguatu, CE

Variável	Valor	Unidade
Temperatura máx. média	31,7	°C
Temperatura mín. média	20,3	°C
Radiação solar média anual	5,63	kWh m ⁻² dia ⁻¹
Insolação	2898	h ano ⁻¹
Umidade relativa do ar	61,8	%
Evaporação com tanque Classe A	1988	mm ano ⁻¹
Velocidade do vento	2,1	m s ⁻¹

4.1.4 Vegetação

A composição da vegetação é tipicamente caatinga. Segundo Lopes, (2008) a área apresenta uma vegetação relativamente conservada, sendo enquadrada como caatinga arbustivo-arbórea fechada, mas apesar de apresentar uma boa cobertura vegetal na maior parte da área de estudo, em algumas partes são observadas áreas com ausência de vegetação (Figura 6a) ou com vegetação de menor porte (Figura 6b). Isso possivelmente se deve à ação antrópica em anos anteriores.



Figura 6 – Área das microbacias apresentando ausência de vegetação (a) e área com vegetação de menor porte (b).

Com base em levantamentos da flora nas microbacias realizados por Alves (2008) e Lopes (2008), a estrutura de cobertura vegetal encontrada na área é formada por espécies vegetais herbáceas, principalmente *Hyptis sauaviolens* (L.) point (banbural), *Hyptis* sp. (melosa) e *Cróton* SP (velame); e espécies vegetais de caráter arbustivo e arbóreo como *Aspidosperma pyrifolium* Mart (pereiro), *Croton sonderianus* Muell.Arg (marmeleiro).

A vegetação da microbaci B2 apresenta uma caatinga fechada cobrindo totalmente o solo no período chuvoso, com isso permite pouco desenvolvimento do estrato herbáceo. Cabe salientar que a vegetação perde suas folhas (Figura 7a e b) durante o longo período de estiagem da estação seca. Este fato faz com que no início da estação chuvosa, ocorra uma alteração das respostas hidrológicas.



Figura 7 – Aspectos da vegetação no período chuvoso (a) e período seco (b).

Torna-se importante relatar que há uma cobertura média ao longo do ano de 4.969 e 4.138 kg ha⁻¹ de serapilheira para as microbacias B1 e B2, respectivamente. Esta quantidade de cobertura morta sobre o solo é consequência da queda natural da folhagem das espécies da Caatinga, uma forma adaptativa e fisiológica da vegetação local de conseguir reduzir as perdas de água por evapotranspiração. A folhagem que cai sobre o solo forma uma camada de proteção ao solo (Figura 8), contra a ação do impacto das gotas das chuvas e, portanto, a redução dos processos de desagregação do solo e transporte de material erodido (LOBATO, 2008). Já a microbacia B3 apresentou apenas 1.241 kg ha⁻¹ de serapilheira, esta baixa quantidade é em decorrência do fogo usado em dezembro de 2009 para a limpeza da área.



Figura 8 – Detalhe da cobertura morta da microbacia experimental mantida intacta.

4.1.5 Delimitação das microbacias experimentais

Toda a área experimental se encontra cercada para evitar a entrada de animais, sendo assim em nenhuma das microbacias ocorre pastejo. Para a delimitação das microbacias dentro da área experimental foi feito um levantamento planialtimétrico.

O levantamento planialtimétrico foi conduzido pelo emprego de um Taqueômetro ou Estação Total, com medições de ângulos horizontais, verticais e distâncias. O equipamento empregado refere-se a uma estação total LEICA modelo TC407. O ponto inicial de entrada foi coletado com GPS diferencial SR20 LEICA, com datum WGS 84 sistema de coordenadas UTM, e os demais foram levantados e corrigidos a partir deste. O pós-processamento foi conduzido através do software tope AVN, cujo arquivo foi convertido para formato ASCII e processado no Arcmap 9.2, em que se confeccionou o Modelo Numérico do Terreno (MNT) das microbacias (Figura 9 a, b e c).

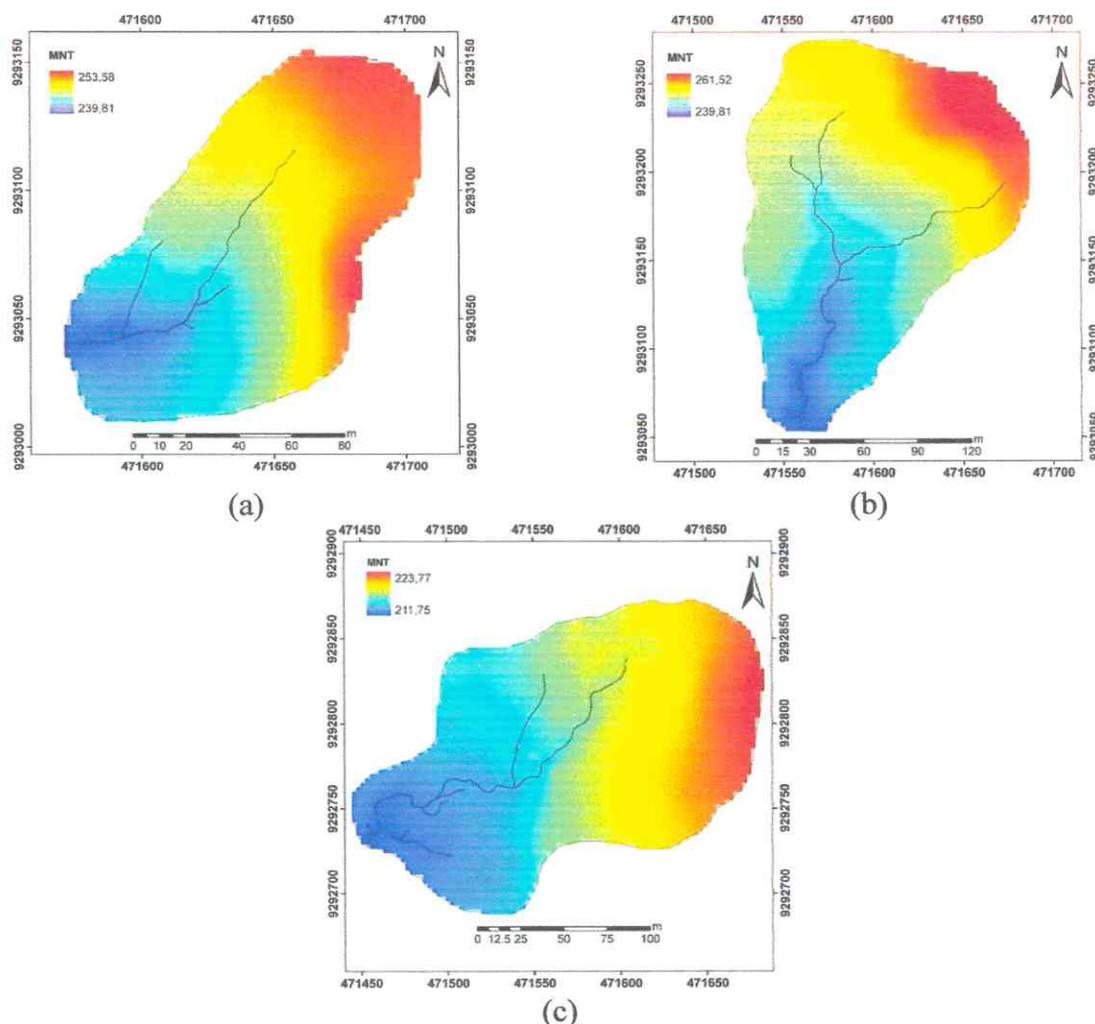


Figura 9 – Modelo numérico das microbacias (a) B1, (b) B2 e (c) B3.

4.2 Unidades experimentais

4.2.1 Manejos aplicados

A microbacia B1 possui área de drenagem de 1,15 ha, com declividade média de 8,7% (Tabela 5), foi raleada para produção de pastagem natural (Figura 10), prática bastante empregada por pequenos agricultores do semiárido brasileiro. Este tratamento foi aplicado com propósito de verificar a influência da prática de desmatamento na caatinga sobre os processos, (temperatura do ar, umidade relativa, temperatura do solo, umidade do solo, escoamento superficial, erosão hídrica, produção de sedimentos, produção de serapilheira, aumento da biomassa) em pequenas bacias rurais. Foram mantidas na área as espécies vegetais com diâmetro igual ou superior a 10 cm, e espécies de crescimento herbáceo. Torna-se importante salientar, também, que parte da vegetação cortada ficou sobre o solo. O tratamento foi aplicado no início de novembro de 2008, sendo que as primeiras chuvas ocorreram na primeira quinzena de janeiro de 2009, aproximadamente dois meses depois.



Figura 10 – Visão parcial da condição da vegetação na microbacia B1 (a) após o raleamento na estação seca e (b) na estação chuvosa subsequente ao raleamento.

A microbacia B2, com área de 2,06 ha e declividade 10,59% (Tabela 5), não passou por alteração na caatinga, para servir como testemunha da condição natural de uma área de caatinga que não é explorada há trinta anos, conforme relato dos moradores das áreas próximas. Esta área apresenta uma vegetação de maior porte. Nas Figuras 7a e b pode-se observar a diferença na vegetação durante o período seco e chuvoso.

A microbacia B3, a mais plana das três com declividade de 5,57% e área de 2,8 ha (Tabela 5), foi desmatada, queimada e plantada com gramínea andropogon (*Andropogon gayanus* Kunt), que é adaptado a região semiárida, para a produção de pastagem, prática que se tornou rotineira na região após o declínio da cultura do algodão, que dominou a região de Iguatu nas décadas de 1970 e 1980. O desmatamento ocorreu na estação seca de 2009 e o capim foi plantado antes das primeiras chuvas do ano de 2010. Quando ocorreram as primeiras chuvas, como esperado, as ervas daninhas cresceram e começaram a cobrir o capim. Então foi aplicado herbicida seletivo para dicotiledônea, para que o capim conseguisse desenvolver-se melhor. Nas Figuras 11a, b, c e d podem ser visualizadas as fases do manejo nesta microbacia.

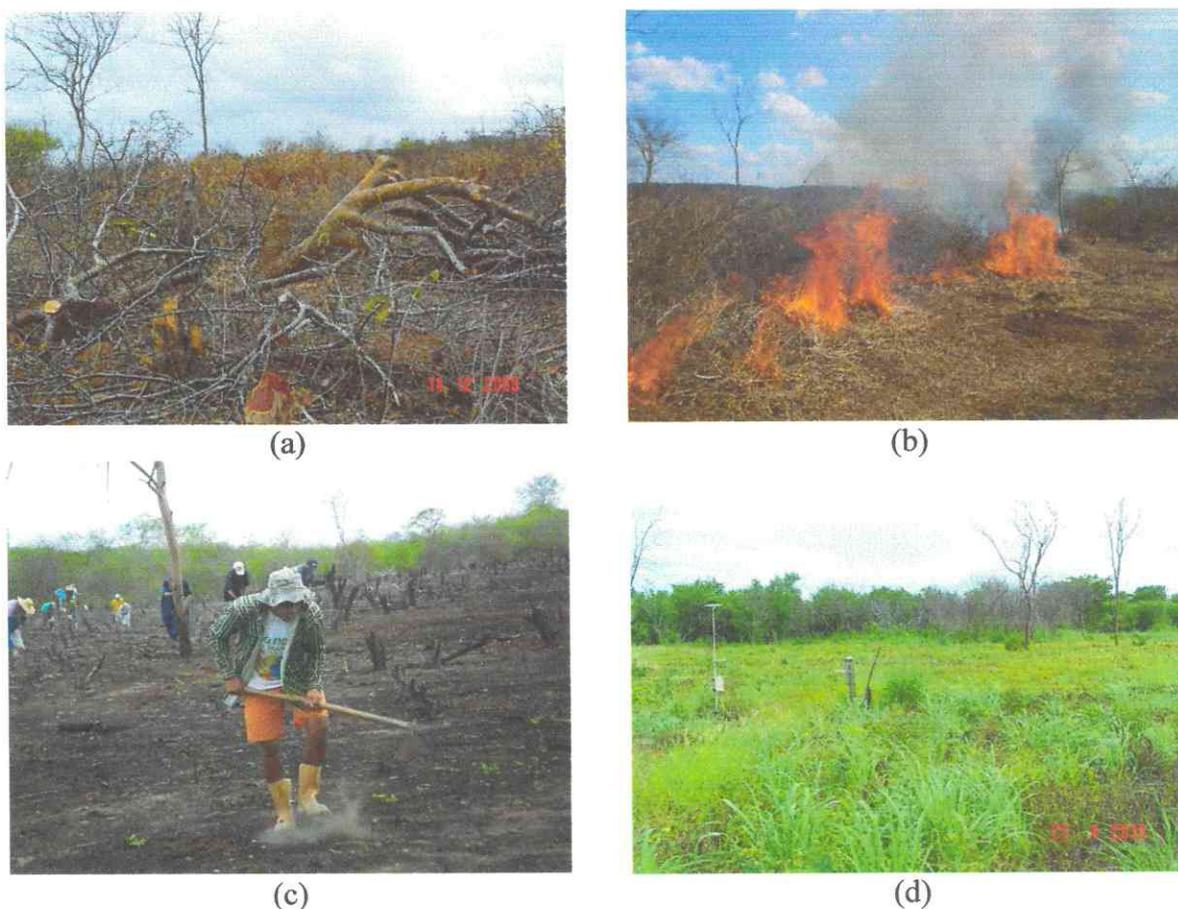


Figura 11 – Visão das fases do manejo aplicado na bacia B3 (a) derrubada da vegetação nativa em 12/2009; (b) queima da vegetação em 09/12/2009; (c) plantio do capim em 15/01/2010; (d) desenvolvimento do capim em 27/04/2010.

4.3 Avaliação emergética

Os sistemas de manejo aplicados em cada microbacia foram analisados usando a metodologia emergética, que é uma ferramenta capaz de possibilitar a avaliação ambiental e econômica dos sistemas de produção agroindustriais.

A análise emergética será aplicada baseando-se nos trabalhos de Odum (1996), Brown e Ulgiati (2004) e Ortega, Anami e Diniz (2002). Como já descrito anteriormente (item 2 do capítulo Revisão Bibliográfica), essa ferramenta converte cada fluxo de massa e energia em uma mesma unidade (emjoule solar), além de contabilizar as contribuições dos recursos da natureza e da economia humana, para entender a importância relativa de cada recurso e para estudar o impacto da atividade humana sobre o ambiente. Todos os fluxos de energia que entram e saem do sistema são classificados em renováveis e não-renováveis, tornando possível calcular índices que podem ser úteis aos tomadores de decisão, para comparar diferentes alternativas.

A elaboração da análise emergética consiste nas seguintes etapas: (1) construir o diagrama sistêmico para verificar e organizar todos os componentes e os relacionamentos existentes no sistema; (2) construir as tabelas emergéticas, com os fluxos quantitativos, baseados diretamente nos diagramas e (3) calcular os índices emergéticos que permitirão avaliar a situação econômica e ambiental do sistema.

Etapa 1 – Diagrama sistêmico

Para a primeira etapa de uma avaliação emergética, é fundamental a identificação dos componentes do sistema, ou seja, conhecer as entradas e saídas. Isso foi possível durante a etapa de levantamentos de dados e aplicação dos manejos em cada área. Em seguida será elaborado um diagrama sistêmico do mesmo, onde serão identificados todos os componentes e fluxos de energia. A Figura 12 mostra o diagrama da microbacia que foi mantida com o ecossistema inalterado, com fluxos agregados que utilizam a linguagem simbólica, os quais estão presentes na Tabela 2.

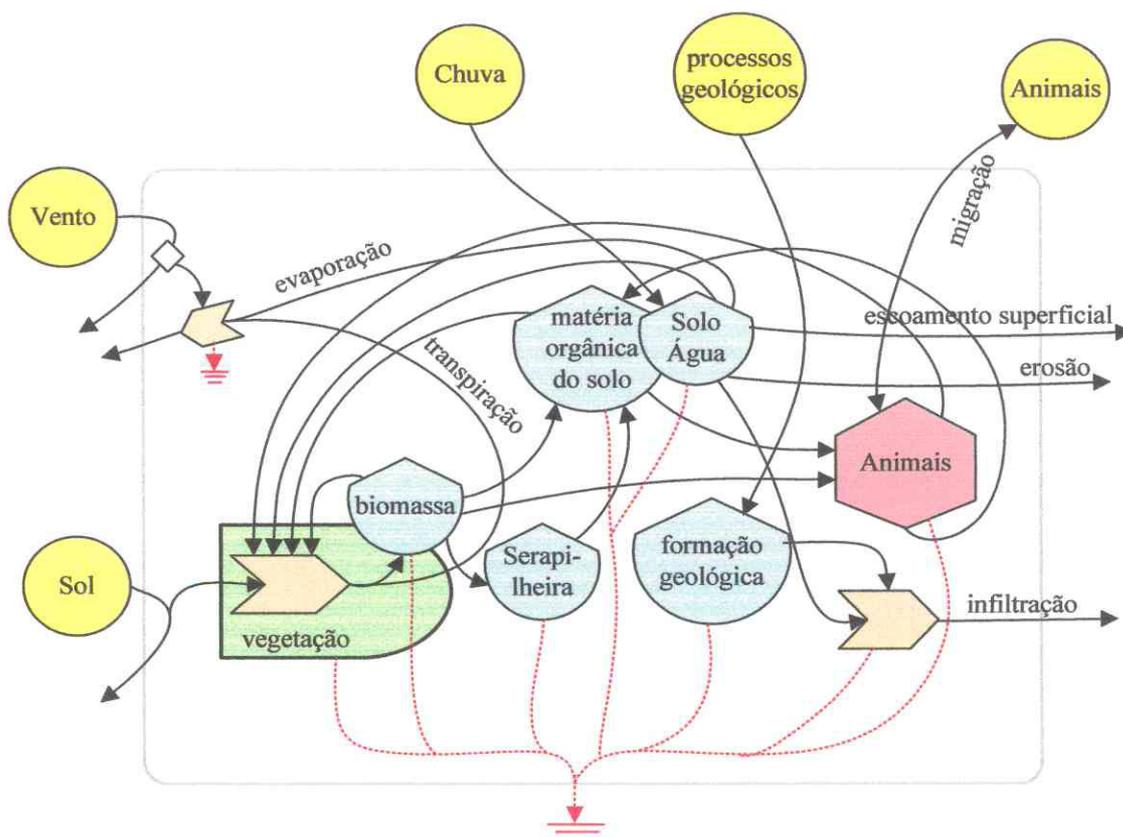


Figura 12 - Diagrama sistêmico que representa os fluxos de energia que interagem em um ecossistema florestal.

Etapa 2 – Formação da matriz emergética

Os fluxos emergéticos que serão empregados neste trabalho terão como entradas a energia proveniente do sol, da chuva e dos ventos. Nos processos internos, serão avaliados o aumento da biomassa arbórea, arbustiva e herbáceas, como também a deposição de serapilheira. As principais saídas serão o escoamento superficial, as perdas de solo por erosão a evapotranspiração e a infiltração.

Nesta etapa cada linha dos fluxos de entrada do diagrama é convertida em uma linha de cálculo na matriz de avaliação emergética. Nela todos os fluxos de energia, massa e valor monetário considerados no processo, serão convertidos para uma mesma base unitária, em joules solares (seJ), através das transformidades emergéticas. A matriz de avaliação emergética para o bioma caatinga (Tabela 7) será composta pelos valores numéricos e unidades das entradas de energia como simbolizados no diagrama sistêmico.

Tabela 7 – Tabela de avaliação emergética da caatinga não alterada na microbacia B2

Nota	Contribuição	Valor numérico	Unidade ha ano ⁻¹	Transformidade [seJ Unid. ⁻¹]	Fluxo emergético [seJ ha ⁻¹ ano ⁻¹] x10 ¹³
I: Recursos da natureza					
R: Renováveis					
1	Sol		J	1,00E+00	[a]
2	Chuva		J	3,10E+04	[b]
3	Vento		J	2,45E+03	[b]
4	Biomassa		kg	1,6E+4	[f]
5	Serapilheira		kg	1,5E+4	[f]
6	Escoamento superficial		m ³	2,72E+4	[e]
N: Não renováveis					
7	Erosão (fração mineral)		kg	1,0E9	[a]
	Erosão (fração orgânica)		kg	7,4 E4	[a]
F: Recursos da economia					
M: Materiais					
8	Sementes		kg		
9	Herbicida		L		
S: Serviços					
10	Serviços		h	3,30 E+12	
Y: Emergia total					

Um melhor detalhamento das informações contidas em cada linha da Tabela 7 pode ser encontrado na Tabela 8. A referida tabela apresenta cada transformação e conversão das unidades dos fluxos até o valor final do fluxo emergético, vale salientar que o fluxo final é calculado por ha/ano, nesta tabela são indicadas as fontes dos dados não coletados ou calculados neste trabalho.

Tabela 8 – Detalhamento do cálculo de cada fluxo da tabela 7

Nota				
1	Sol	Radiação solar=	kWh m ⁻² Ano ⁻¹	
		Albedo=	%	Estimado
		Fator=	((área ha)*(3,6E6 J kWh ⁻¹)*(1E4m ² ha ⁻¹))	
		Energia=	(radiação solar)*(Fator)*((100-albedo)/100)	J
		Transformidade	1	seJ J ⁻¹ [a]
2	Chuva	Pluviosidade	mm ano ⁻¹	Medido
		Energia da chuva	5000,00	J kg ⁻¹
		Fator	((área ha)*(1E4m ² ha ⁻¹)	
		Energia=	(pluviosidade)*(energia da chuva)*(fator)	J
		Transformidade	3,10E+04	3,10E+04 [b]
3	Vento	Média anual de velocidade=	m s ⁻¹	Estimado
		Velocidade do vento na altura da vegetação	$V = \left(\frac{\bar{V}}{\left(\frac{10}{z}\right)^{0,143}} \right)$	m s ⁻¹ [c]
		Coefficiente de arraste	0,001	Adimensional [d]
		Densidade do ar	1,3	kg m ⁻³ [d]
		Fator=	(área ha)*(1E4m ² ha ⁻¹)*(densidade) *(3,14E7s ano ⁻¹)	
		Energia=	(V. vento na alt. vegetação) ³ *(coef. arraste)*(fator)	J
		Transformidade	2,45E+03	seJ J ⁻¹ [b]
4	Escoamento superficial=	escoamento	m ³ ano ⁻¹	
		Diferença de altitude	(maior altitude- menor altitude)	
		Densidade da água	1E3	kg m ⁻³
		Gravidade	9,8	m s ⁻²
		Energia	(escoamento)*(dif. Altitude)*(dens. Água)*(gravidade)	J
		Transformidade	2,72E4	seJ J ⁻¹ [e]
4	Biomassa arbórea=	Transformidade	5,544E3	[f]
	Biomassa herbácea=			
5	Serapilheira=			
		Transformidade	5.544E3	[f]

Referências:

[a] ODUM, 1996; [b] ODUM; BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000a; [c] TUBELLIS; NASCIMENTO, 1980; [d] RODRIGUES et al, 2002; [e] LU et al, 2006; [f] BROWN, 2001

Desta forma, a metodologia se fundamenta no princípio do balanço de energia, onde as transformações serão iguais às entradas menos as saídas. Assim o balanço emergético na sua forma mais simples se expressa por:

$$\Delta S = I - (O + D)$$

Em que ΔS é a transformidade, I as entradas, O as saídas e D a energia degradada.

Etapa 3 – Índices emergéticos

A última etapa da análise emergética corresponde ao cálculo dos índices para o bioma caatinga com o objetivo de avaliar o desempenho dos três sistemas de manejo em estudo. Os índices a serem empregados neste estudo se encontram na Tabela 9.

Tabela 9 – Índices para a avaliação emergética do manejo da caatinga

Índices para manejos aplicados	Equação	Definição
Transformidade solar (TR)	Y/E_p	Razão entre a energia total que sustenta o sistema pela energia total produzida.
Razão de rendimento emergético (EYR)	Y/F	Razão da energia total que dirige o sistema pela energia da economia.
Razão de carga ambiental (ELR)	$ELR = (N+M_N+S_N)/(R+M_R+S_R)$	Razão da energia da economia e não renovável da natureza pela energia renovável da natureza.
Índice de sustentabilidade emergético (ESI)	EYR/ELR	Índice de relação custo benefício do sistema.
Renovabilidade (R%)	$100(R+M_R+S_R/Y)$	Razão entre a energia renovável pela energia total que sustenta o sistema.
Energia específica	$Y/\text{Massa total}$	Razão entre a energia total que sustenta o sistema e a massa total produzida.
Taxa de investimento	$EIR = F/I$	Razão entre a energia que vem da economia e a energia vinda da natureza.
Benefício/custo	R/F	Razão entre a energia vinda da natureza e a energia vinda da economia.

(ODUM, 1996; BROWN; ULGIATI, 1997; 2004).

Índices emergéticos presentes na Tabela 9:

a) **Transformidade (Tr)** - é um índice emergético que avalia a eficiência do sistema em estudo, pois é resultado da divisão da energia total utilizada pela energia produzida. Transformidade é medida em emjoules solares por joule (seJ J^{-1}) e é utilizada para converter diferentes tipos de energia na mesma unidade de energia (BROWN; ULGIATI, 2004). Valores baixos de transformidade indicam alta eficiência dos processos de produção do sistema. A transformidade indica, também, a posição do sistema em estudo em uma escala hierárquica de energia na biosfera. Assim, quanto maior for seu valor, mais energia agregada ele possuirá. Além de indicar eficiência e hierarquia, a transformidade também indica o custo real de um produto.

b) **A Razão de Rendimento Emergético (EYR)** é obtida pela razão entre a energia total pela energia dos recursos provindos de outros locais. O valor obtido é uma medida da habilidade do sistema em explorar e tornar disponíveis (na forma de produtos) recursos locais através do investimento em recursos externos (BROWN; ULGIATI, 2004). Esse índice é muito importante, pois as atuais tendências de dependência mundial de energia fóssil e minerais indicam que o uso de menos energia provinda dessas fontes será mais vantajoso no futuro devido à sua escassez (AGOSTINHO, 2009). Mas no nosso caso, que os manejos aplicados não utilizam muitos recursos externos, ele será usado apenas para comparação e como base para o cálculo dos outros índices.

c) **A Razão de Carga Ambiental (ELR)** é obtida pela razão da energia não renovável total pela energia renovável total. É um indicador da pressão que as atividades humanas exercem sobre o meio ambiente e pode ser considerado como uma medida do stress do ecossistema. Valores de ELR menores que 2 indicam baixa pressão sobre o meio ambiente (ou sistemas que utilizam grandes áreas do meio ambiente local para “diluir” seus impactos); entre 2 e 10 indicam que os sistemas causam uma pressão moderada; maiores que 10 indicam que os sistemas causam grandes pressões (BROWN; ULGIATI, 2004).

d) **O índice de Sustentabilidade Emergético (ESI)** é um índice secundário obtido através da razão do rendimento emergético (EYR) pela carga ambiental (ELR). Este índice mede a contribuição potencial de um recurso para a economia por unidade de carga ambiental (BROWN; ULGIATI, 2004). O desempenho do sistema é melhor quanto maior for esse índice. Para Brown e Ulgiati (2004), quando o ESI for menor que 1, produtos e processos não são sustentáveis em um longo período, enquanto que para valores acima de 1, o sistema se caracteriza por ser mais sustentável. O ESI indica uma relação benefício/custo, ou seja, o

benefício proporcionado à sociedade através de relações comerciais relacionados ao seu custo ambiental.

e) **O índice de Renovabilidade (R %)** é um índice obtido pela razão entre a energia renovável e a energia total que suporta o sistema. É uma forma de avaliar quanto de energia renovável é utilizada pelo sistema, pois quanto maior o valor, menor a dependência do sistema por recursos não renováveis e com isto o índice dá um bom subsídio na avaliação da sustentabilidade dos sistemas (AGOSTINHO et al, 2008). No seu cálculo serão consideradas as parcelas de energia renovável vindas da economia, segundo a adaptação à metodologia emergética (ORTEGA et al., 2002; ORTEGA et al., 2005).

f) **O índice de Energia específica** é um índice obtido entre a energia total que sustenta o sistema e a massa total produzida por este sistema, dando quanto custa em energia cada unidade de massa produzida. Quanto menor o valor deste indicador, menor foi a necessidade emergética para produzi-lo.

g) A **Taxa de investimento (EIR)** é um índice que mede a proporção de energia comprada (F) em relação às entradas de energia do meio ambiente (I). É um bom indicador de uso dos recursos econômicos na agricultura. Indica quão econômico é o processo ao usar os investimentos da economia em comparação com alternativas locais. Se constitui em um bom indicador para auxiliar a elaboração de uma política agrícola sustentável (SOUZA, 2006).

e) **O índice de Benefício custo** é um índice diz qual o retorno em energia conseguido por cada unidade de energia investida pela economia. Significa quanto de energia da natureza é incorporada ao sistema por cada unidade de investimento feito pela economia.

4.4 Fluxos do balanço de energia

4.4.1 Chuva

Duas estações pluviográficas foram utilizadas para monitoramento dos dados de precipitação pluviométrica nas microbacias avaliadas, com uma delas abrangendo as bacias B1 e B2, que está localizada junto à confluência dos cursos de água destas microbacias, já que as duas são adjacentes e fazem parte da mesma rede de drenagem. A outra estação está localizada dentro da área da microoacia B3, próximo ao seu exutório. As duas estções estão

localizadas a uma distância de 500 m uma da outra. Empregaram para tanto pluviógrafos de básculas, desenvolvidos e calibrados no Laboratório de Eletrônica e Mecânica da Agronomia (LEMA) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará (UFC). Os pluviógrafos de báscula foram calibrados para uma resolução de 0,254 mm, e os dados foram adquiridos e enviados para a memória interna do datalogger de uma PCD automática em cada uma das microbacias, registrando dados a cada cinco minutos (Figura 13a). Maiores detalhes da calibração e confecção do equipamento são encontrados em Alves (2008) e Canafistula et al. (2008). Os dados intervalares são importantes para cálculo das altas intensidades de chuvas, que normalmente ocorrem em curtas durações, e para o cômputo do I_{30} (intensidade máxima da precipitação pluviométrica no intervalo de 30 minutos), necessário no cálculo da erosividade da precipitação. As três microbacias foram equipadas também com dois pluviômetros *Ville de Paris* sendo um deles situado na B3 e outro representativo das bacias B1 e B2 (Figura 13b). Os dados nos pluviômetros eram coletados, com representatividade de chuvas, com duração de 24 h, servindo como dado assistente aos do pluviógrafo de báscula.



(a)



(b)

Figura 13 – Detalhe do Pluviógrafo de báscula (a) e do Pluviômetro Ville de Paris (b) instalados nas microbacias.

4.4.2 Radiação solar

Para a quantificação da energia solar incidente nas microbacias, foram utilizados os dados de radiação baixados do site do INMET, da estação de Iguatu, que fica localizada na área do IFCE-Iguatu. Já o albedo foi estimado através do algoritmo Sebal utilizando imagem do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5, sendo fornecidas pela Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), adquiridas sob a condição de céu claro. Para manuseio e processos entre as bandas, recorte e outras tarefas, fez-se necessário a utilização do software Erdas IMAGINE 9.0. Foram utilizadas imagens dos meses de janeiro, abril, julho, outubro de 2010 e em seguida calculado um albedo médio para cada microbacia.

4.4.3 Biomassa

A biomassa da vegetação arbustivo-arbórea não foi determinada diretamente porque a derrubada das árvores seria muito dispendiosa e modificaria os tratamentos aplicados. Sendo assim, a biomassa deste estrato, para as microbacias B1 e B2, foi estimada utilizando equações alométricas desenvolvidas por Silva e Sampaio, (2008), para áreas de caatinga. Os referidos autores dividiram as árvores da caatinga em duas classes: espécies de menor porte, que apresentam indivíduos possuindo DAP até 17,5 cm e espécies com maior porte, que apresentaram indivíduos com DAP que ultrapassaram 17,5 cm. Para a conversão do diâmetro do caule ao nível do solo (DNS), medido em levantamentos fitossociológicos, para o diâmetro ao nível do peito (DNP) foi utilizada a equação 3, proposta por Sampaio e Silva, (2005).

$$\text{Biomassa menor porte} = 0,2627 * \text{DAP}^{1,9010} \quad (1)$$

$$\text{Biomassa maior porte} = 0,2368 * \text{DAP}^{2,2219} \quad (2)$$

$$\text{DAP} = \text{DNS} / 1,3335 \quad (3)$$

Para o conhecimento dos parâmetros da vegetação presente nas microbacias foi feito um levantamento fitossociológico em maio de 2009. Foi utilizada a técnica de

amostragem de parcelas aleatórias (MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974) sendo alocadas sete parcelas na B1 e dez na B2. Cada parcela era composta por uma área de 10 x 10 m, 5 x 5 m e 1 x 1 m para o inventário do componente lenhoso, sublenhoso, suculento e herbáceo. Nas parcelas de 10 x 10 m eram levantadas todas as árvores com diâmetro ao nível do solo maior que 3 cm e altura superior a 1,0 m, dentro desta parcela no canto inferior esquerdo era alocada uma parcela de 5 x 5 m onde foram levantadas todas as espécies com altura superior a 1 m, independente do diâmetro. Já para o levantamento das espécies herbáceas era alocado uma parcela de 1 x 1 m e contadas as espécies e a frequência destas era levantada com a subdivisão da parcela de 1 m² em 100 partes iguais e contada a incidência destas espécies. Em 2010 foi repetido o levantamento fitossociológico para a microbacia B1.

A quantidade da biomassa anual do estrato arbustivo-arbóreo da microbacia B2, mantida inalterada, foi obtido dividindo o valor da biomassa encontrado por 30 anos, período no qual a vegetação desta área permanece preservada. Já a quantidade da microbacia B1 será obtido pela diferença encontrada entre os valores de biomassa estimados para os anos de 2009 e 2010, pois o raleamento altera o padrão de desenvolvimento da vegetação da caatinga (FIGUEIRÔA et al., 2006). Para os valores de energia da biomassa deste estrato serão utilizados os resultados para as diversas espécies (VALE; FIELDLER; SILVA, 2002).

Para quantificar a produção de biomassa do estrato herbácea anual foi feita a coleta direta (corte no nível do solo e pesagem) (Figura 14), mensalmente, durante o ano de 2010, sendo considerado o maior valor encontrado neste período. Em cada microbacia eram alocadas 10 parcelas de 1 m² disposta aleatoriamente paralelas ao curso principal. Nestas parcelas era avaliado também o grau de cobertura vegetal, sendo que para isto cada parcela de 1 m² era subdivida em 100 partes iguais e contadas quantas destas partes apresentava vegetação, obtendo-se assim o grau de cobertura vegetal. Todo o material encontrado nas parcelas foi pesado fresco, cortado em frações menores que 1,5 cm para proporcionar uma boa homogeneização do material e reduzida a uma sub amostra, conforme metodologia proposta por Silva e Queiroz, (2004), de aproximadamente 500g para determinação da umidade, matéria seca, após ficar em estufa de circulação forçada a 55-65°C até que se obtivesse peso constante, sendo em seguida, moída em moinho tipo “Willey”, em peneira de um mm de abertura e analisadas para matéria seca (MS) e energia bruta (EB), seguindo os procedimentos padrões (AOAC, 1990).

Os dados obtidos em cada microbacia foram submetidos a análise de variância para um F com significância de 1%.

A determinação dos cálculos de matéria seca e energia total foi procedida pelas equações 4, 5, 6 e 7 apresentadas a seguir:

$$U\% = \frac{Pua - Psa}{Pua} * 100 \quad (4)$$

$$U\%_{total} = \frac{U\%_{65^\circ} * U\%_{105^\circ}}{100} \quad (5)$$

$$MS = Pua - \left(\frac{Pua * U\%_{total}}{100} \right) \quad (6)$$

$$E_{total} = MS * E \quad (7)$$

Onde: Pua = peso úmido da amostra em gramas (g), Psa = peso seco da amostra em estufa a 65° ou 105° em gramas (g), U% é a percentagem de umidade em cada amostra avaliada a 65°, 105° e total, MS é a quantidade de matéria seca das amostras em gramas (g), Etotal = energia total da amostra em caloria (cal) e E = energia da amostra em calorias por grama (cal/g).



(a)



(b)

Figura 14 – Amostragem da vegetação herbácea para quantificação da biomassa (a) e área após a retirada da vegetação.

4.4.4 Escoamento

O deflúvio superficial vem sendo monitorado através de três calhas Parshall, uma para cada microbacia, sendo essas confeccionadas em fibra de vidro (Figura 15a). As calhas

foram dimensionadas para uma vazão máxima provocada por um evento de chuva de 100mm com intensidade de 50 mm h⁻¹ em ausência de cobertura vegetal (ALVES, 2008) e instalada com alvenaria na lateral e fixada com concreto na parte inferior (Figura 15b). Na Figura 16a pode-se observar o posicionamento atual de uma das calhas no campo (microbacia B2) e em funcionamento (Figura 16b). A equação das calhas empregadas nesse estudo segue a equação 8, calculada segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2006).

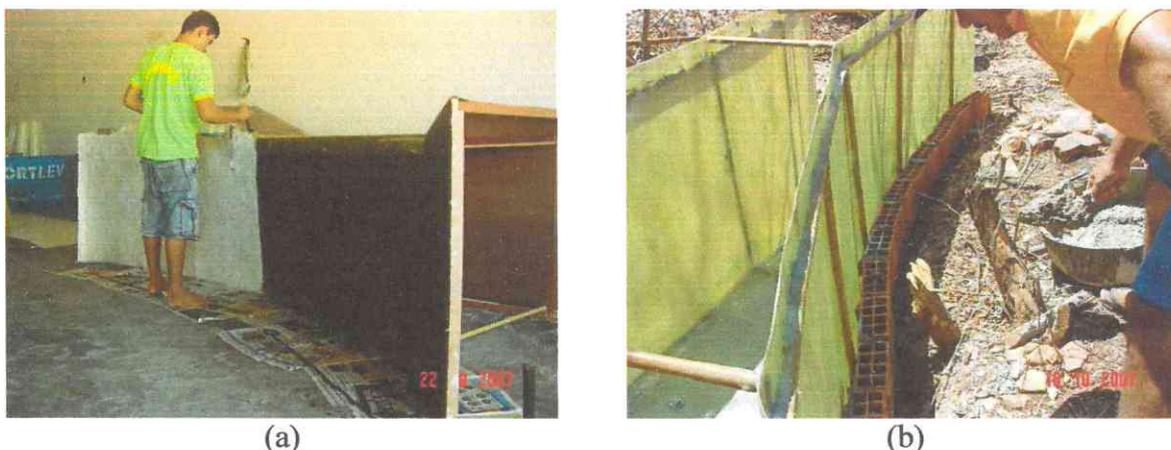


Figura 15 – Confeção das calhas Parshall em fibra de vidro (a) e instalação em campo com estrutura de alvenaria (b).

$$Q = 3,72W * 0.0086^{W^{0.026}} * Hm^{1,393 * W^{0,026}} \dots\dots\dots (8)$$

Onde:

Q - vazão da calha Parshall (L s⁻¹); W - largura do estrangulamento (cm), com valor de 47,5 para calhas de B1, B2, e 30 para B3; Hm - altura da coluna d'água no ponto a montante do estrangulamento (cm).



Figura 16 – Detalhe da calha Parshall instalada em campo (maio 2008), (a) visão geral, (b) em funcionamento.

O escoamento superficial foi monitorado por um sensor capacitivo desenvolvido no Laboratório de Eletrônica e Mecânica Agrícola (LEMA) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, funcionando como um linígrafo, que foi instalado em um poço tranquilizador ao lado das calhas Parshall. Este foi construído na forma retangular em placas de circuito (fibra de vidro), com espessura, largura e tamanho aproximados de 0,2 x 2 x 70 cm, respectivamente (Figura 17a). As placas posicionadas paralelamente definem os eletrodos do capacitor, separadas em 0,5 cm e cobertas por verniz. (CRUZ et al., 2007). Os sensores foram instalados em um poço ligado através de um vaso comunicante ao interior das calhas (Figura 17b)



Figura 17 – Linígrafo de medição de nível do escoamento, (a) sensor capacitivo para monitoramento do nível de água e (b) poço tranquilizador onde é instalado o sensor de nível na calha Parshall.

O sensor foi desenvolvido para medir frequência (kHz), sendo então calibrado. As elevações de nível de água ou cotas registradas no linígrafo automático, que foram coletadas continuamente em intervalos de 5 minutos, foram convertidas em vazão mediante equação específica de cada calha. Os dados de vazão correlacionados com o tempo proporcionaram a geração de hidrógrafas para cada evento de chuva correspondente.

4.4.5 Perda de solo

Em cada microbacia, a montante das calhas para medição de vazão, foi instalado um fosso para coleta de sedimentos de arraste no leito do curso e uma torre para coleta de sedimentos suspensos (Figura 18 a e b).

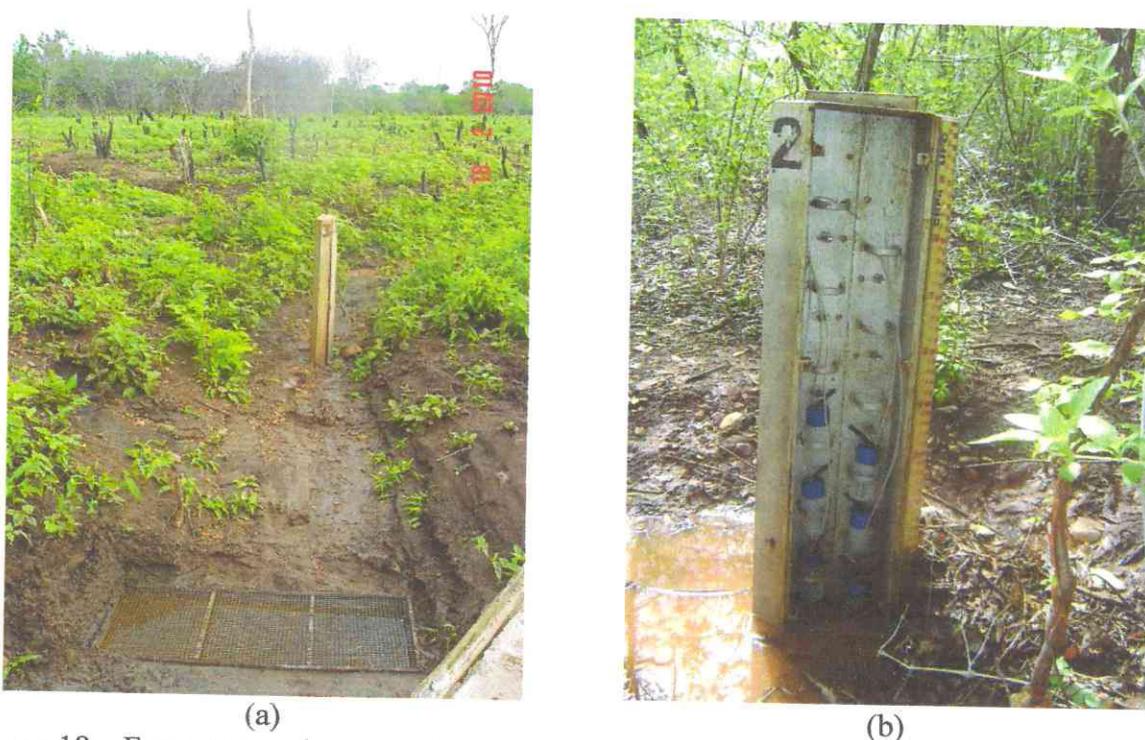


Figura 18 – Fosso para coleta de sedimento de arraste (a) e torre de coleta de sedimentos suspensos (b).

Os sedimentos depositados no fosso, com capacidade de 180 litros, eram coletados após o término de cada evento de escoamento, na ocasião em que o fosso era esvaziado para coleta de novos escoamentos. O volume do fosso foi homogeneizado e feita uma amostra de 500 mL para determinação dos sólidos totais.

A torre de coleta automática de sedimentos de ramo ascendente possui garrafas de 100 mL dispostas a cada 15 cm, no total de 12. A água foi coletada através de um tubo conectado às garrafas (Figura 18 b), e o ar atmosférico é liberado pelo sistema respirador (tubos transparentes) que possui contato com a atmosfera no topo da torre. Ocorreu, em algumas situações, o entupimento dos orifícios que dá acesso as garrafas, por insetos, culminando em perda de dados, sendo necessário, portanto, periodicamente supervisão e desentupimento de todos os tubos.

As amostras foram coletadas logo após eventos geradores de escoamento superficial que atingissem um ponto de coleta na torre de sedimentos e levadas ao laboratório.

As análises das concentrações de sólidos totais foram realizadas a posteriori no Laboratório de Água, Solos e Tecido Vegetal do IFCE – Campus Iguatu. Essas seguiram metodologia descrita por Piveli e Kato (2005).

A massa de sedimento erodido a cada evento foi obtida através da multiplicação da concentração dos sedimentos coletados na torre pelo volume escoado e depois a este valor era somada a quantidade de sedimentos retidos no fosso.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Componentes dos sistemas investigados

5.1.1 Chuva

A Chuva é um dos mais importantes parâmetros físicos que afetam a região semiárida (Iguatu-Brasil). Sendo assim as características deste parâmetro são essenciais para entender o comportamento da disponibilidade e água no solo, do escoamento e da perda de solo nas microbacias estudadas.

O total de chuva acumulado para o ano de 2010 foi de 941 mm (Figura 19), sendo considerado um ano um pouco abaixo da média histórica da região, já que esta foi de 982 mm entre os anos de 1974/2009, com alturas pluviométricas mínimas e máximas de 433 e 2076 mm, registrados nos anos de 1983 e 1985, respectivamente (FUNCEME, 2010). Além de ter chovido 941 mm no ano, este valor foi distribuído em oito meses. Vale salientar que o total precipitado acumulado em dez dias atingiu valores sempre inferiores a 200 mm e, em apenas três curtos períodos (15 a 19/02, 25 a 30/03 e 16 a 19/04), atingiu valores superiores a 100 mm. Este comportamento do total precipitado acumulado não ocasionou períodos com chuvas bem concentradas e com isto deve ter influenciado nos níveis de escoamento e perda de solo.

Durante o período de monitoramento 57 eventos naturais de chuva foram mensurados com um total precipitado de 941 mm, sendo consideradas como chuvas as precipitações superiores 1 mm. Ocorreu uma maior concentração dos eventos entre os meses de janeiro a abril, com lâmina total de 707,35 mm, correspondendo a 75% do total anual (Figura 19), caracterizando assim o efeito típico da concentração pluviométrica em poucos meses do ano.

Além da concentração das chuvas nos meses de janeiro a maio, ficando os meses de março e abril com 46% do total precipitado no ano, ocorreu também uma grande variabilidade dos eventos ao longo deste período, tendo ocorrido vários veranicos de sete a nove dias no período de concentração das chuvas. O maior veranico ocorreu entre os dias 25 de fevereiro e 18 de março, tendo ocorrido neste intervalo apenas um evento de 2,3 mm. Entretanto 9 eventos foram responsáveis por 57% do total precipitado durante o ano,

demonstrando que além dos veranicos há má distribuição da lâmina precipitada entre os eventos ao longo do período.

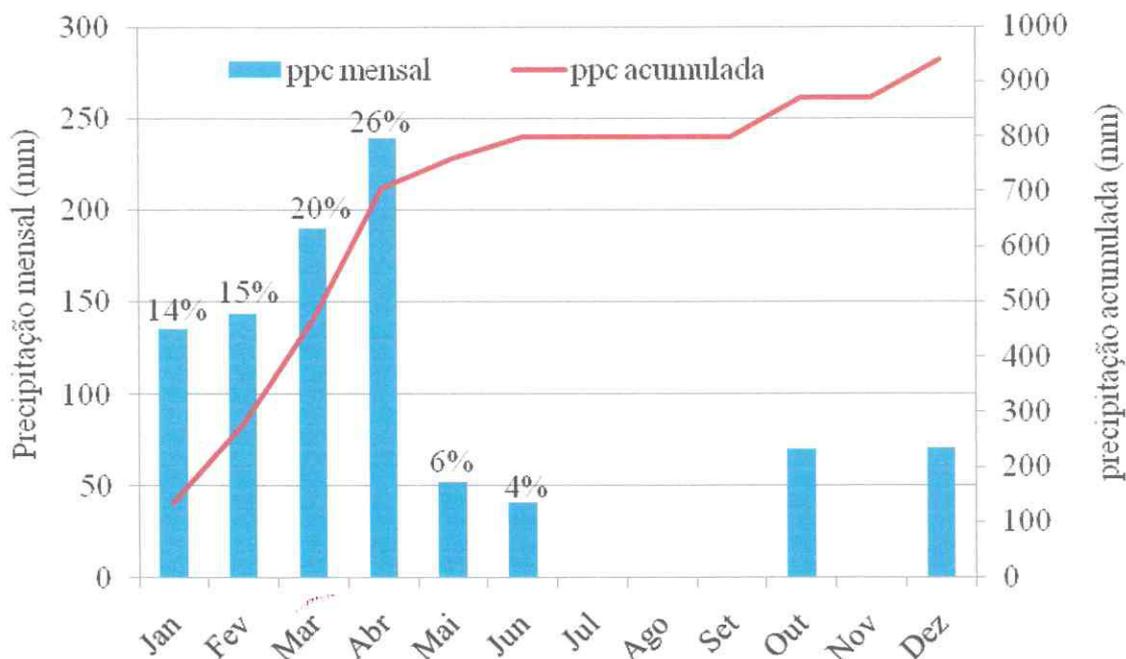


Figura 19 – Precipitação mensal e precipitação acumulada para as áreas das microbacias B1, B2 e B3 no ano de 2010.

O padrão de precipitação com chuvas caracterizadas por alta intensidade e curta duração, influencia diretamente no escoamento e na produção de sedimentos de microbacias. Com isto, procurou-se avaliar a intensidade das precipitações ocorridas durante o ano de 2010 na área de estudo (Tabela 10). Os eventos de maiores intensidades (I_{30}) ocorreram em 15/02 e 15/12 e foram de 58,9 e 56,9 mm h^{-1} , respectivamente, mas a intensidade média para todos os eventos foi de (16,4 mm h^{-1}), sendo as discussões fundamentadas neste parâmetro, uma vez que a erosividade tem forte correlação com o mesmo e os eventos de escoamento e produção de sedimentos nas microbacias em estudo.

Os eventos de chuva foram divididos em três padrões (THOMAZ, 2009), chuva leve ($\leq 20 \text{ mm}$), chuva moderada ($> 20 \text{ e } \leq 40 \text{ mm}$) ou chuva diária pesada ($\geq 40 \text{ mm}$), sendo cada padrão responsável por 29, 14 e 57%, respectivamente, do total anual precipitado. Embora as chuvas leves tenham sido responsáveis por apenas 29% do total precipitado, este padrão corresponde à maioria dos eventos ocorridos durante o período deste estudo (75%). Já as os eventos considerados pesados, apesar de serem responsáveis por mais da metade do total precipitado 536 mm (57%), corresponderam a apenas 16% dos eventos.

Eventos ≥ 40 mm foram os que apresentaram as maiores intensidades (I_{30}), desta forma, estes eventos tiveram uma significativa importância na geração de escoamento e transporte de sedimentos nas microbacias durante o estudo, tendo os escoamentos ocorridos nos dias em que os mesmos ocorreram ou nos dois dias subsequentes, mas este fato será discutido nos próximos itens deste texto.

Tabela 10 – Eventos de precipitação e suas características na área das microbacias monitoradas em Iguatu-CE durante o ano de 2010

Evento	Total precipitado (mm)	Duração (h)	Intensidade I_{30} (mm h ⁻¹)	Erosividade EI_{30} (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹)
01/01/10	23,00	sd	sd	sd
02/01/10	16,80	sd	sd	sd
03/01/10	2,60	sd	sd	sd
09/01/10	3,00	sd	sd	sd
11/01/10	1,80	sd	sd	sd
18/01/10	13,72	2,00	3,05	8,03
20/01/10	52,58	3,92	37,59	429,82
27/01/10	27,94	4,17	45,21	241,46
28/01/10	4,83	1,92	4,57	3,40
06/02/10	3,56	0,17	7,11	5,94
08/02/10	7,37	1,92	13,21	16,54
10/02/10	60,96	6,33	54,36	678,79
11/02/10	1,78	0,17	3,56	1,32
12/02/10	1,27	1,00	1,52	0,25
13/02/10	3,81	3,25	4,06	1,94
15/02/10	63,25	13,58	58,93	660,86
25/02/10	1,52	0,25	3,05	0,87
07/03/10	2,29	1,08	2,54	0,86
18/03/10	13,97	6,33	16,76	34,89
21/03/10	80,26	12,67	39,12	593,39
23/03/10	2,03	0,25	4,06	1,64
24/03/10	1,52	0,83	2,54	0,55
25/03/10	1,78	0,58	2,54	0,73
27/03/10	47,50	2,25	52,32	583,12
28/03/10	10,41	1,58	14,73	29,21
29/03/10	28,70	1,58	25,91	170,18
02/04/10	2,54	0,17	5,08	2,87
04/04/10	4,57	1,42	5,08	3,80
09/04/10	17,27	2,58	30,99	102,25
11/04/10	56,90	10,08	36,07	378,83

Tabela 10 - Eventos de precipitação e suas características na área das microbacias monitoradas em Iguatu-CE durante o ano de 2010

Evento	Total precipitado (mm)	Duração (h)	Intensidade I ₃₀ (mm h ⁻¹)	Erosividade EI ₃₀ (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹)
11/04/10	4,83	0,67	8,64	8,09
12/04/10	7,11	2,92	4,57	4,97
14/04/10	1,02	0,83	1,52	0,20
16/04/10	18,54	1,00	27,43	116,84
19/04/10	50,04	6,08	53,85	535,91
29/04/10	13,21	1,25	23,88	65,72
30/04/10	56,13	5,92	43,18	495,21
03/05/10	1,02	0,67	1,52	0,21
04/05/10	1,78	0,75	3,05	0,82
05/05/10	19,30	4,17	15,75	53,85
13/05/10	9,91	1,00	15,75	32,13
24/05/10	11,94	1,92	13,72	30,84
31/05/10	9,14	2,33	11,18	17,45
02/06/10	6,60	0,25	13,21	21,21
05/06/10	2,79	1,42	3,05	1,23
18/06/10	21,34	11,08	10,67	32,74
19/06/10	2,03	4,42	1,52	0,28
23/06/10	1,52	1,42	1,52	0,28
27/06/10	4,32	1,08	4,06	3,01
23/10/10	68,83	13,08	17,78	222,68
09/12/10	14,99	6,58	13,21	29,73
10/12/10	1,02	0,67	1,02	0,10
11/12/10	4,57	1,33	7,11	5,39
12/12/10	1,02	0,33	2,03	0,33
15/12/10	33,78	2,92	56,90	407,23
17/12/10	11,94	17,67	12,70	15,79
18/12/10	3,05	5,25	1,52	0,46
Total anual	941,28			6054,19

sd: Sem dados de intensidade registrados.

5.1.2 Escoamento superficial

O coeficiente de escoamento superficial para cada uma das microbacias B1 (caatinga raleada), B2 (caatinga não alterada) e B3 (plantada com gramínea) foi de 1,2, 1,6 e 12%, respectivamente, do total anual precipitado (Tabela 11). O escoamento na microbacia plantada com *Andropogon gayanus* Kunt foi 901% maior que na área de caatinga não alterada. Este alto escoamento já era esperado, tendo em vista a área ter sido desmatada queimada e estar no início do estabelecimento da cultura, a mesma tendência foi constatadas por outros pesquisadores (SRINIVASAN; SANTOS; GALVÃO, 2003; GARCÍA-RUIZ et al., 2008; THOMAZ, 2009).

Tabela 11 – Chuva, escoamento mensal e coeficiente de escoamento superficial nas microbacias para o ano de 2010

Data	Precipitação (mm)		Escoamento (mm)		
	Acumulada antecedente	Do dia	B1	B2	B3
10/02/2010	157,18	60,96	-	-	6,51
15/02/2010	225,00	63,25	0,16	-	22,22
21/03/2010	306,03	80,26	-	-	6,44
27/03/2010	391,62	47,50	0,63	0,18	6,51
28/03/2010	439,12	10,41	0,30	-	4,64
29/03/2010	449,54	28,70	1,13	0,89	8,81
11/04/2010	502,62	61,72	0,83	0,40	10,01
19/04/2010	591,01	50,04	4,90	7,95	22,22
30/04/2010	654,26	56,13	3,33	5,71	25,52
31/12/2010	941,28	0,00	-	-	-
Total	941,28		11,28	15,12	112,89
Coeficiente de escoamento (%)			1,20	1,61	11,99

- valor de escoamento zero

Os maiores escoamentos ocorreram nos meses de março e abril, meses em que ocorreram as maiores percentagens de chuvas ao longo do ano (Figura 20). Essa concentração de chuvas favoreceu a elevação da umidade do solo e, conseqüentemente, o aumento do escoamento superficial. Comportamento semelhante na mesma área já havia sido constatado (RODRIGUES, 2009).

O escoamento superficial começa a ser registrado após a ocorrência de 157 mm de precipitação (Tabela 11) necessários para elevar a umidade do solo, que estava muito baixa

por causa da estiagem ocorrida nos meses antecedentes, (julho a dezembro de 2009 quando choveu 150 mm) (FUNCEME, 2010). As primeiras precipitações pluviométricas da estação chuvosa são empregadas para elevar a umidade do solo, e só então os eventos seguintes começam a gerar o processo de escoamento superficial. A ausência de escoamento no início da estação chuvosa em regiões semiáridas também foi registrado por Mugabe et al. (2007), estudando as respostas hidrológicas de duas microbacias hidrográficas, com áreas de 4,6 e 5,9 km², durante os anos hidrológicos de 1999/00 e 2000/01 no semiárido do Zimbábue.

A primeira bacia a registrar escoamento foi a B3 (10/02), seguida pela B1 (15/02) e depois a B2 que iniciou o processo de escoamento em 27/03. A altura pluviométrica acumulada para iniciar o processo de escoamento foi 218, 288 e 439 mm, respectivamente (Tabela 11). Por se tratarem de bacias adjacentes e com características semelhantes, mas com coberturas diferenciadas, constata-se a interferência da mesma no escoamento destas bacias. A área com menor cobertura foi a primeira a gerar escoamento, seguida pela área que foi raleada e a última a escoar foi a área que foi mantida com a caatinga não alterada. Esse comportamento nas respostas hidrológicas das microbacias mostra claramente o papel da cobertura vegetal na retenção e minimização das perdas de água por escoamento.

A ação da cobertura vegetal sobre o processo de escoamento superficial se expressa tanto pelo número de eventos ocorridos por bacia (nove para B3, sete para B1 e cinco para B2) como pela máxima magnitude dos eventos (5, 8 e 25 mm para B1, B2 e B3, respectivamente).

Comparando-se B1 com B2 (Tabela 11) identifica-se que os primeiros eventos de escoamento foram maiores na B1, mas no final da quadra chuvosa a situação se inverteu e os escoamentos da B2 foram superiores ao da B1, este fato demonstra que a cobertura rasteira tem uma forte interferência no escoamento superficial. Quando a cobertura rasteira se encontrava em sua fase inicial de desenvolvimento na microbacia B1 o escoamento nesta bacia foi superior ao da B2. Depois da metade da quadra chuvosa, quando a cobertura rasteira atingiu o ápice do seu desenvolvimento a microbacia B1 passou a apresentar escoamentos superficiais inferiores aos registrados em B2. Os maiores registros de escoamento superficial, 25 mm, ocorreram na microbacia B3, demonstrando que a retirada da cobertura vegetal natural e o início do estabelecimento do *Andropogon gayanus* Kunt interferiram também na magnitude dos eventos de escoamento, uma vez que a altura pluviométrica foi a mesma sobre as três microbacias.

Correlação linear foi usada para identificar os fatores mais importantes para explicar a variabilidade da vazão de pico e escoamento em cada microbacia. Diferentes

parâmetros foram usados como variáveis independentes (Tabela 12): altura pluviométrica por evento, intensidade máxima de chuva em 30 minutos (I_{30}), precipitação acumulada de dois dias e umidade do solo imediatamente anterior ao início da precipitação. Nota-se na referida tabela que as correlações entre os parâmetros foram baixas e não significativas estatisticamente. Estas baixas correlações simples para os parâmetros hidrológicos em bacias do semiárido já foram constatadas por Srinivasan et al. (2003), que recomenda a procura de técnicas mais sofisticadas para avaliá-los.

Tabela 12 – Correlação linear entre vazão de pico e parâmetros relacionados à chuva e umidade

Parâmetros	Vazão de pico ($L s^{-1} ha^{-1}$)			Escoamento (mm)		
	B1	B2	B3	B1	B2	B3
Total precipitado (mm)	0,208	-0,06	0,349	0,211	-0,034	0,241
I_{30} (mm)	0,451	0,577	0,681*	0,349	0,562	0,441
Precipitação acumulada de 2 dias (mm)	0,483	0,805	0,253	0,236	0,804	0,496
Umidade antecedente (%)	0,045	0,14	0,273	0,047	0,153	-0,062

*correlação significativa ao nível de 5%

Da Tabela 12 observa-se que, para as microbacias B1 e B2, embora a correlação não tenha sido significativa, os dois fatores mais importantes foram I_{30} e precipitação acumulada de dois dias com correlações de 0,450 e 0,483 para B1 e 0,577 e 0,805 para B2, respectivamente. Já em B3 as correlações mais importantes foram o total precipitado, com baixa correlação (0,349) e I_{30} , apresentando correlação significativa de 0,681, ao nível de 5% de significância. Esta foi a mais forte correlação apresentada para as variáveis em todas as bacias. As baixas correlações encontradas entre estes fatores podem estar associadas aos baixos níveis de precipitação e aos grandes intervalos ocorridos entre as precipitações para a quadra chuvosa.

O escoamento apresentou fraca correlação com o total precipitado para todas as três áreas (Tabela 12), demonstrando que apesar desta variável ser a mais importante na geração de escoamento superficial, ela sozinha não justifica os totais escoados. Para algumas áreas esta variável chega a explicar até 79,3% dos escoamentos para áreas com cobertura de regeneração natural e 86,7% para áreas com arbusto (THOMAZ, 2009). Para as microbacias monitoradas neste estudo, os escoamentos ocorrem em função de um arranjo de vários parâmetros, sendo necessários estudos mais complexos para explicar o comportamento destes eventos.

A Figura 20 mostra dados diários de precipitação, descarga e intensidade máxima em trinta minutos para o período chuvoso (janeiro a maio de 2010), na microbacia B3. A importância da intensidade da chuva em trinta minutos (I_{30}) na bacia desmatada e plantada com gramínea (B3) requer algumas explicações. A resposta das descargas para os eventos de chuva são muito variáveis, em uma amplitude de 0-25 mm, e não são correlacionados com o total precipitado. Entretanto, a intensidade máxima em trinta minutos tem uma larga influência no volume escoado superficialmente. Por exemplo, a ocorrência de descarga líquida na microbacia B3 está condicionada a um elevado teor de umidade do solo proporcionado por precipitações antecedentes e/ou chuvas de elevado I_{30} . A Figura 20 parece indicar ser necessária uma intensidade- I_{30} de pelo menos 30 mm h^{-1} em um evento ou que tenham ocorrido eventos superiores a 40 mm nos dois dias anteriores para que ocorra o processo de escoamento.

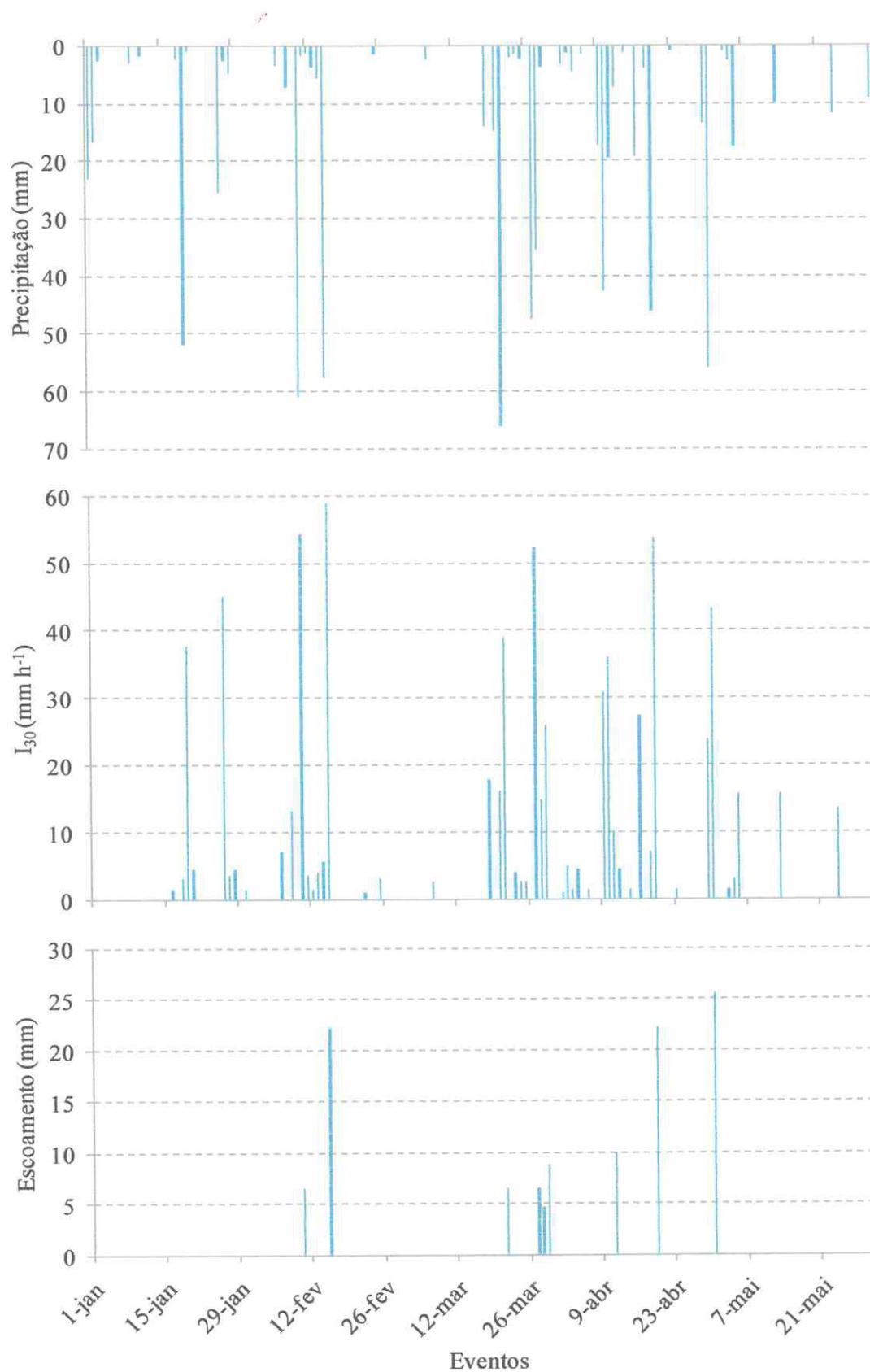


Figura 20 - Precipitação, intensidade máxima em trinta minutos (I_{30}) e escoamento superficial ocorridos na microbacia B3 no ano de 2010.

5.1.3 Produção de sedimentos

Para um melhor entendimento da ação da chuva sobre as perdas de solo, os eventos pluviométricos foram agrupados em classes (Tabela 13). Os eventos de chuva superiores a 45,00 mm foram os mais importantes no processo de perdas de solo, principalmente em suas características físicas, intensidade e altura precipitada. Estes eventos somaram um total de 536,45 mm (58%) do total precipitado (941,3 mm) no ano, sendo os mesmos caracterizados por curta duração e alta intensidade. Em média, 62% do total precipitado nestes eventos ocorreram em um tempo de 60 a 90 min e, como resultado, suas características físicas refletiram em perdas de solo. Embora o escoamento superficial e a perda de solo tenham tendido a aumentar progressivamente conforme a classe de chuva, o efeito da lâmina escoada sobre as perdas de solo foi marcadamente influenciada pelo uso do solo (Figura 21).

Tabela 13 – Classes de precipitação, números de eventos e características da precipitação por classe e perdas de solo das microbacias

Classes (mm)	Eventos (unid.)	Total Precipitado (mm)	I ₃₀ médio (mm h ⁻¹)	Perda de solo (kg ha ⁻¹)		
				B1	B2	B3
0-14,99	39	198,15	6,62	0,00	0,00	36,46
15-29,99	8	172,90	25,99	2,15	0,29	51,28
30-44,99	1	33,78	56,90	0,00	0,00	0,00
45-59,99	5	263,14	46,60	39,28	167,11	735,21
>60	4	273,30	42,55	0,60	0,39	2291,72
Total	57	941,28		42,04	167,81	3114,97

Um importante aumento na lâmina escoada e na perda de solo foi observado para as classes de chuvas superior a 45 mm. Para estes eventos, a resposta foi muito maior na área queimada e plantada com gramínea (B3). A perda de solo na B3 chegou a 3.027 kg ha⁻¹ (97% das perdas totais). A menor quantidade de solo perdido para este intervalo de precipitação ocorreu na microbacia raleada (B1) com 40 kg ha⁻¹ (95% das perdas totais). A área mantida com caatinga não alterada (B2) apresentou perdas de solo de 167 kg ha⁻¹, como resultado apenas para os eventos desta magnitude, o que corresponde a (99,8%) do total de solo perdido durante o ano.

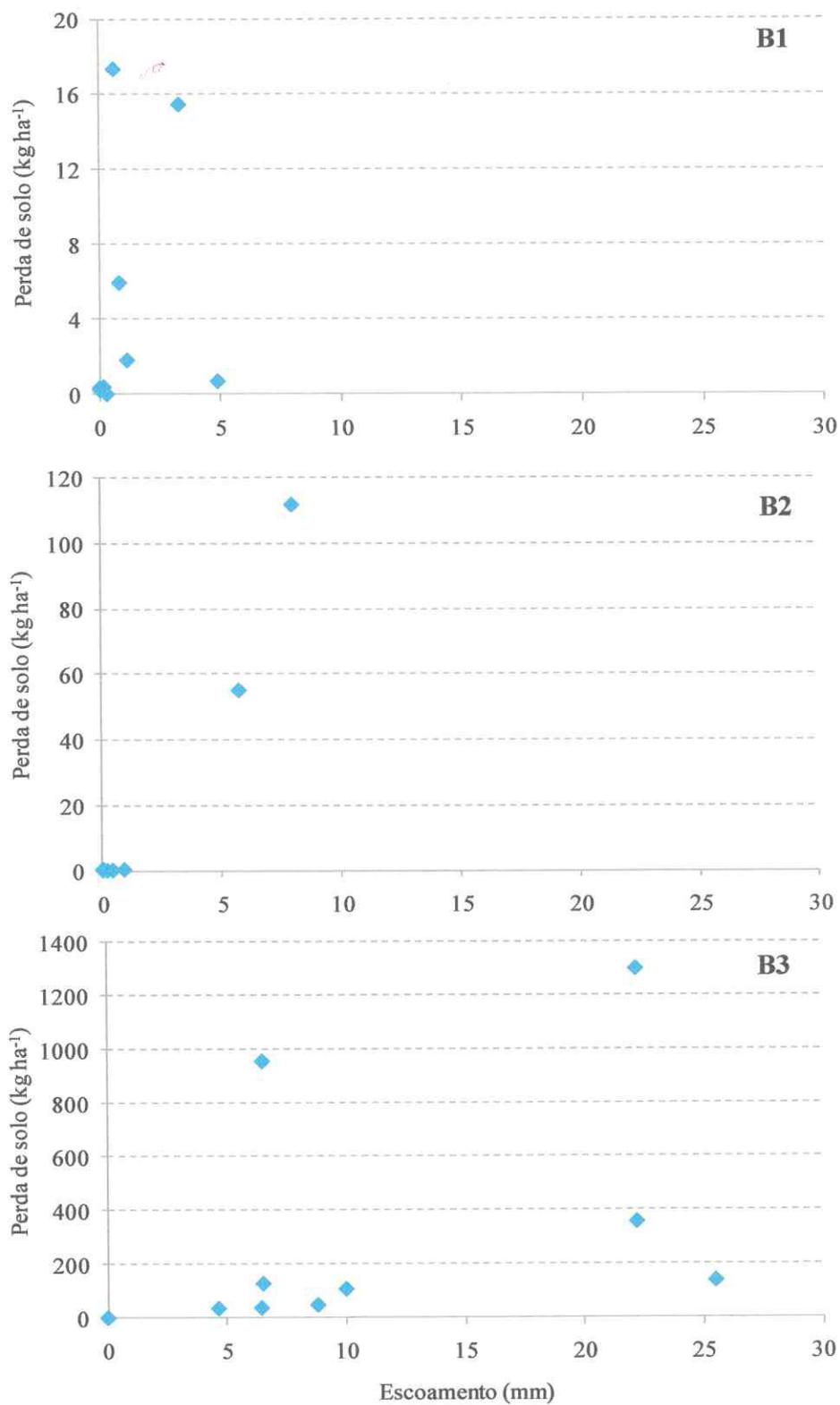


Figura 21 – Relação entre escoamento superficial e perda de solo para as microbacias B1, B2 e B3.

Quanto às perdas de solos nas duas últimas classes de chuvas (Tabela 13), observa-se que as microbacias B1 e B2 perderam mais solos para chuvas entre 45 e 59,99 (mm), que apresentou o segundo maior I_{30} . A microbacia B3 perdeu mais solos quando ocorreram chuvas maiores que 60 mm, mesmo esta tendo I_{30} menor que a classe anterior, mas dois destes eventos ocorreram quando o solo desta microbacia ainda estava descoberto, pois a gramínea plantada na área ainda estava no início do desenvolvimento.

Ocorreram perdas de solo apenas nos meses de fevereiro, março e abril, embora tenha ocorrido uma chuva acima de 60 mm no mês de outubro, mas foi um evento isolado que não resultou em escoamento nem perda de solo em decorrência da baixa umidade em que se encontrava o solo (5,0%). Destaca-se que para as datas (10/02 e 16/04 na B1; 10 e 15/02 na B2 ; 20 e 27/01, 16/04 e 05/05 na B3) foram constatadas perdas de solo por arraste sem ter ocorrido registro de escoamento. Este fato é devido à sensibilidade de aquisição de dados dos equipamentos, pois o sensor de nível da calha não responde a alturas inferiores a 5 cm e o coletor de sedimentos em suspensão não aquisita dados inferiores a 15 cm e, com isso houve arraste de sedimentos para o fosso sem ter havido registro de escoamento nem de sólidos em suspensão.

Relações lineares entre perda de solo total (em suspensão e arraste) e total precipitado, intensidade máxima em trinta minutos (I_{30}), precipitação acumulada de 2 dias e escoamento foram desenvolvidas buscando-se identificar os parâmetros que apresentam maior correlação com as perdas de solo ocorridas nas microbacias (Tabela 14). Os maiores pesos foram apresentados pela microbacia B2, para a correlação com o escoamento. Na microbacia B3 a maior correlação foi registrada com a intensidade máxima em 30 minutos, no entanto na microbacia B1 as correlações foram muito baixas. Em geral, não houve predominância de nenhum parâmetro para explicar as perdas de solos nas três microbacias ao mesmo tempo e, com isto infere-se que os mecanismos de perdas de solos são diferenciados para as três áreas.

Tabela 14 - Correlação linear entre perda de solo e variáveis de chuva e escoamento

Parâmetros	Perda de solo (kg ha^{-1})		
	B1	B2	B3
Total precipitado (mm)	0,343	-0,25	0,448
I_{30} (mm h^{-1})	0,161	0,269	0,663**
Precipitação acumulada de 2 dias (mm)	0,172	0,512	0,431
Escoamento (mm)	0,073	0,980**	0,338

** correlação significativa ao nível de 1%.

Os resultados sugerem que o mecanismo de escoamento é mais importante que o total precipitado e o I_{30} para entender as perdas de solo na microbacia B2, que apresentou correlação de 0,980 e significativa ao nível de 1%. Este fato também pode ser constatado na Figura 21: há um aumento na perda de solo à medida que aumenta a lâmina escoada. Já nas microbacias B1 e B3 este padrão não é bem definido (Figura 21), porém na B3 o parâmetro que apresentou maior peso com a perda de solo foi a intensidade máxima das chuvas em trinta minutos (I_{30}). Entretanto, pela referida tabela, a microbacia B1 não apresentou correlação significativa com nenhum dos parâmetros avaliados, isto sugere que para esta variável, como discutido em pontos anteriores para o escoamento, são necessários correlações mais complexas para poder fazer previsões para perdas de solo.

A evolução e magnitude de perda de solo total no decorrer do experimento foi diferente para cada área (Tabela 15). A microbacia B3 apresentou uma perda de solo muito superior às demais áreas, registrando valores 74 e 19 vezes maiores que as perdas da área raleada (B1) e caatinga não alterada (B2), respectivamente. Esta elevada perda de solo na microbacia B3 está associada à queima que provocou a ausência de matéria orgânica e a exposição do solo pela falta de cobertura vegetal. Valores mais elevados de perda de solo no primeiro ano de uso em áreas queimadas já foram encontrados para outras áreas (CAMPO et al., 2006; GIMENO-GARCÍA; ANDREU; RUBIO, 2007; ONDA; DIETRICH; BOOKER, 2008).

Apesar da dinâmica dos processos envolvidos, houve uma tendência para o aumento da perda de solo nos últimos eventos do mês de abril para as áreas B1 e B2, mas a B3 apresentou um grande pico de perda de solos já no mês de fevereiro, época em que a estação chuvosa proporcionou o primeiro acúmulo de umidade, suficiente para haver escoamento. Nos dias 10 e 15/02 ocorreram totais precipitados de 60,7 e 62,3 mm, I_{30} de 54,4 e 58,9 mm h⁻¹, umidade do solo de 39 e 40%, proporcionando perdas de solo nesta área de 955 e 1.299 kg ha⁻¹, respectivamente. Nesta mesma época a vegetação na área da B3 não havia se desenvolvido e a área se encontrava com o solo descoberto, já que o plantio da gramínea *Andropogon gayanus* Kunt havia sido realizado a apenas 40 dias. Esta tendência para aumentar as perdas de solo em áreas queimadas já nos primeiros eventos de escoamento também foi constatada em outras pesquisas (GIMENO-GARCÍA; ANDREU; RUBIO, 2007; THOMAZ, 2009).

Tabela 15 – Perda de solo e suas frações para as microbacias no período em estudo

Data do evento	Precipitação (mm)	Perda de solo (kg ha ⁻¹)								
		B1			B2			B3		
		Em suspensão	Por arraste	Total	Em suspensão	Por arraste	Total	Em suspensão	Por arraste	Total
20/01/10	52,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	1,7
27/01/10	27,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3
08/02/10	7,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5
10/02/10	61,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,1	0,1	921,3	34,2	955,5
15/02/10	63,2	0,0	0,4	0,4	0,0	0,3	0,3	1274,2	24,5	1298,7
21/03/10	80,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,5	37,5
27/03/10	47,5	0,0	17,3	17,3	0,0	0,0	0,0	126,7	1,5	128,3
28/03/10	10,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,0	36,0
29/03/10	28,7	0,0	1,8	1,8	0,0	0,3	0,3	47,7	1,2	48,9
11/04/10	56,9	0,0	5,9	5,9	0,0	0,1	0,1	43,5	64,5	108,1
16/04/10	18,5	0,0	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	1,9
19/04/10	50,0	0,0	0,7	0,7	111,8	0,2	111,9	325,4	32,0	357,5
30/04/10	56,1	6,0	9,4	15,4	54,9	0,2	55,1	95,0	45,0	140,0
05/05/10	19,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
Total		6,0	36,0	42,0	166,7	1,1	167,8	2833,9	281,1	3115,0

É importante chamar a atenção neste ponto, que as perdas de solo para o ano de 2010 para as microbacias B1 e B2 foram bem inferiores às registradas em 2009 (RODRIGUES, 2009), Este fato deve ter sido em decorrência da menor altura precipitada (941mm em 2010 e 1462 mm em 2009 (FUNCEME, 2010) e da distribuição irregular que não proporcionaram grandes concentrações pluviométricas, já que foram mantidos os mesmos manejos da vegetação para os dois anos.

Quanto à distribuição das frações dos sedimentos produzidos nas microbacias para o ano de 2010, na microbacia B1 86% de todo o sedimento produzido foi na fração de arraste, já na B2 apenas 0,7% foi na forma de arraste e na B3 esta fração correspondeu a 9%. Este comportamento merece ser estudado mais detalhadamente a fim de determinar se em condições de semiárido o estudo da produção de sedimentos pode ser monitorado apenas através da fração de sedimentos em suspensão como fazem as pesquisas.

5.1.4 Biomassa

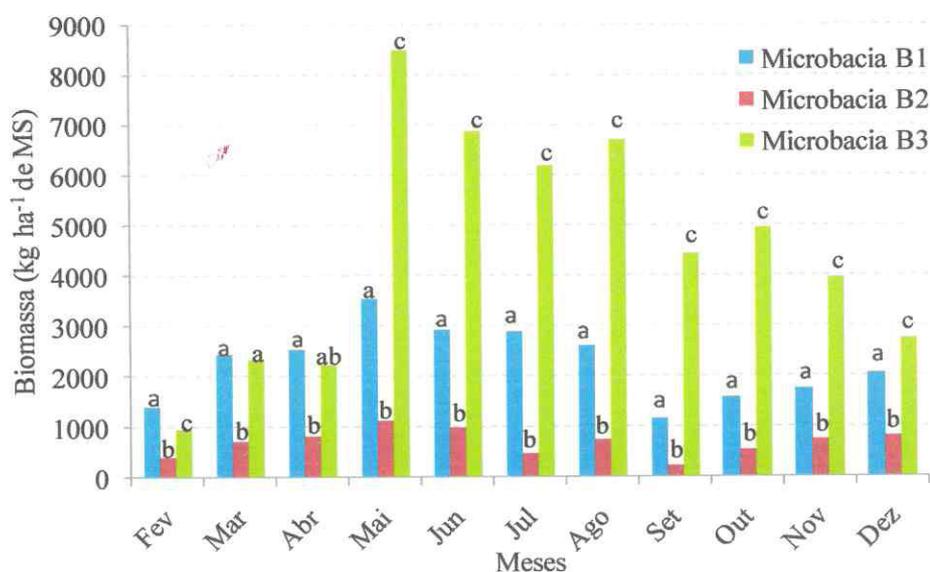
Os manejos adotados propiciaram níveis de sombreamento e interação diferenciados entre a vegetação arbórea e herbácea resultando em diferentes quantidades de biomassa produzidas em cada uma das três microbacias. Para um melhor entendimento da discussão dos resultados, a produção de biomassa herbácea e arbórea será abordada separadamente.

5.1.4.1 Biomassa herbácea

Os dados expressaram uma alta variabilidade temporal na produção de biomassa herbácea ao longo do ano (Figura 22), tanto para a microbacia mantida com a caatinga não alterada (B2), para a raleada (B1) como para a que foi queimada e plantada com gramínea *Andropogon gayanus* Kunt (B3). Foram consideradas herbáceas todas as plantas em estágio não lenhoso. A produção de biomassa, também, foi diferenciada nas três microbacias estudadas, tendo ocorrido a maior produção na microbacia B3. Uma vez que nos diferentes

manejos aplicados a cada uma das bacias não foram realizados corte ou pastejo do estrato herbáceo durante todo o período de estudo, pode-se assegurar que as respostas foram diferenciadas em função da disponibilidade de água, nutrientes e vegetação presentes em cada área.

Observa-se que o pico de produtividade de biomassa herbácea para as três áreas estudadas ocorreu no mês de maio, que corresponde ao final da quadra chuvosa. A microbacia B3 foi a que apresentou maior produção de biomassa herbácea ao longo de todo o ano, com uma produtividade de 8.513 kg ha⁻¹ de MS, este fato já era esperado tendo em vista que a mesma foi cultivada com gramínea para pastejo sem nenhum sombreamento, como tradicionalmente é realizado pelos pecuaristas da região. Produção semelhante foi observada na região sul de Minas Gerais durante a estação chuvosa, quando foi avaliado o desenvolvimento de diferentes gramíneas (BOTREL; ALVIN; XAVIER, 1999) e na região de Terezina-PI, onde foram avaliadas a produção de biomassa desta gramínea em monocultura e sistemas silvipastoris (VERAS et al., 2010). Destaca-se que os valores aqui encontrados são superiores aos registrados em área de pastagem nativa com predominância da gramínea andropógon no Pantanal (CARDOSO et al., 2003).



Barras identificadas com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de significância.

Figura 22 – Disponibilidade de matéria seca da biomassa herbácea para os meses de 2010 na microbacia raleada (B1), caatinga não alterada (B2) e queimada e plantada com gramínea (B3), Iguatu, CE.

A segunda maior produção de herbáceas no final do período chuvoso foi constatada na microbacia B1 (3.555 kg ha⁻¹ de MS), a qual foi raleada deixando apenas árvores com diâmetro de caule superior a 10 cm o que proporcionou uma maior disponibilidade de energia solar, de água e de nutrientes para o substrato herbáceo em relação à área não alterada (B2). Este valor de produção de biomassa deste substrato no período final da estação chuvosa foi semelhante ao encontrado por Pereira Filho et al. (2007), com produção de 3.211 kg ha⁻¹ de MS em área de caatinga raleada submetida a pastejo alternado de ovino-caprino em Sobral-CE, com lotação de 2,5 animais ha⁻¹.

Já a microbacia B2, que permaneceu com a caatinga não alterada, apresentou uma produção de 1.115 kg ha⁻¹ de MS. Com o sombreamento proporcionado pela vegetação arbórea, durante a estação chuvosa ocorreu uma baixa incidência de raios solares para o substrato herbáceo (Figura 23) e este foi o fator limitante para o desenvolvimento de vegetação herbácea na microbacia B2. Uma menor produção do estrato herbáceo em áreas da caatinga não alterada foi observado por Araújo Filho et al. (2002).



Figura 23 – Vegetação herbácea na área das microbasins (a) com caatinga de regeneração não manejada (B2) e (b) com caatinga raleada (B1), no semiárido, Iguatu-CE.

Avaliando a produção de biomassa herbácea proporcionada pelos diferentes manejos, observa-se que no início do período chuvoso, no mês de fevereiro a microbacia raleada, B1 foi a que apresentou a maior quantidade de biomassa, seguida pela microbacia queimada, B3, sendo a menor produção de biomassa registrada na microbacia com caatinga não alterada, B2. Nota-se que já em fevereiro, embora tenham decorrido apenas 81 dias após a queima e 45 dias após o plantio do capim *Andropogon gayanus* Kunt, o substrato herbáceo

da microbacia B3 havia se desenvolvido e ultrapassado a quantidade deste substrato na B2 (Figura 24).

Com o transcorrer da estação chuvosa, logo nos meses de fevereiro, março e abril a gramínea da microbacia B3 se desenvolveu rapidamente e no mês de março não havia diferença estatística ao nível de 1% entre a biomassa presente nas microbacias B1 e B3 sendo a produção da biomassa na B2 estatisticamente inferior às duas outras. Vale salientar que a produção da B3 superou a B2 e passou a diferir estatisticamente desta a partir do mês de fevereiro, para o mesmo nível de significância. Já no mês de maio a quantidade de biomassa herbácea presente na microbacia B3 superou a B1, sendo a microbacia que produziu o maior peso de biomassa herbácea neste ano.

Com o final da estação chuvosa e consequente redução da umidade do solo, a biomassa parou de se desenvolver, iniciando-se o processo de desidratação e degradação pelo sol e pelo vento, ocasionando a redução do peso de biomassa herbácea nas bacias. Esta redução foi comum nas três microbacias B1(raleada) e B2 (caatinga não alterada) e B3 (plantada com gramínea), mas as quantidades do substrato herbáceo se mantiveram diferentes ao nível de 1% de significância, ocorrendo algumas pequenas flutuações ao longo da estação seca, mas foi mantida a tendência decrescente em todas as áreas (Figura 22).

Outro fato que deve ser observado na Figura 22 é que em outubro a biomassa do estrato herbáceo volta a se desenvolver e ocorre aumento da massa produzida nas três microbacias. Este aumento é decorrente das chuvas ocorridas neste mês, sendo que no dia 23/10 a lâmina precipitada foi de 66 mm (Tabela 10). Estes eventos de chuva no mês de outubro foram isolados (dias 22, 23 e 27/10) e não ocorreram precipitações nos dias subseqüentes. Assim, o solo voltou a perder umidade, e já em novembro o peso da biomassa voltou a ser reduzido para a microbacia B3 (plantada com *Andropogon gayanus* Kunt) e ainda continuou a tendência de aumento nas microbacias B1(caatinga raleada) e B2 (caatinga não alterada), demonstrando que estas duas coberturas vegetais apresentam um menor requerimento de água (Figura 22).

Outro ponto importante a ser avaliado é a sazonalidade da produção de biomassa deste substrato (Figura 22), sendo as interações manejo/tempo significativas ao nível de 1% pelo teste F. Pelo comportamento individualizado de cada microbacia observa-se que na microbacia B1 (raleada) a produtividade para o mês de fevereiro foi de 1.419 kg ha⁻¹ de MS. No mês de maio foi registrada a maior produtividade 3.555 kg ha⁻¹ de MS, sendo estatisticamente diferente dos demais meses. Com a redução da altura pluviométrica em maio

(Figura 11), caracterizando o final da quadra chuvosa, inicia-se o decréscimo na produção da biomassa em junho, o qual culmina com a menor quantidade para o mês de setembro. As chuvas ocorridas no mês de outubro e dezembro promoveram um novo desenvolvimento deste estrato, o que fez com que ainda no mês de outubro houvesse aumento na produtividade. Após outubro observa-se uma tendência de crescimento que continuou até o final do ano, demonstrando assim uma rápida resposta ao aumento da umidade do solo e uma capacidade de desenvolvimento deste substrato mesmo com poucas chuvas. Comportamentos sazonais do desenvolvimento da biomassa herbácea de caatinga raleada foram observados por Araújo Filho et al. (2002) e Pereira Filho et al. (2007).

A produção de biomassa herbácea na microbacia B2 (caatinga não alterada), ao longo do ano de 2010 (Figura 22), apresentou características sazonais. Os meses que apresentaram maior diferença de produtividade nesta microbacia foram maio, com o maior valor 1.115 kg ha^{-1} de MS, e o mês de setembro, com o menor valor 2.44 kg ha^{-1} de MS. Apesar da menor produção deste substrato, quando comparado com a microbacia raleada (B1), pode-se observar a mesma tendência de aumento na produtividade a partir do mês de outubro até o final do ano.

Já a microbacia B3 apresenta uma grande variação na produção deste substrato ao longo do ano tendo a menor produtividade de biomassa (961 kg ha^{-1} de MS) registrada no mês de fevereiro que foi logo após o início da estação úmida e o plantio da gramínea *Andropogon gayanus* Kunt. Durante o decorrer da quadra chuvosa ocorreu o desenvolvimento da gramínea e nos meses de março e abril ocorreu um aumento na produtividade de 142 e 134%, respectivamente, em relação a fevereiro. No entanto, a maior produtividade (8.513 kg ha^{-1} de MS) foi registrada no mês de maio e coincide com a época do lançamento e desenvolvimento da inflorescência da gramínea *Andropogon gayanus* Kunt (Figura 24). Já nos meses de junho e julho ocorreu uma redução da produtividade e coincidiu com a queda da inflorescência. Embora com algumas pequenas flutuações, com o final da quadra chuvosa e a redução da umidade do solo houve uma redução gradual até o final do ano na quantidade de biomassa herbácea na microbacia B3, demonstrando que a ausência de umidade no solo e o prolongado período seco causam a degradação deste substrato.

Diferenças de produção de matéria seca do *Andropogon gayanus* Kunt foram observadas por Bortrel, Alvin e Xavier 1999 que encontraram uma produção de 3.118 kg ha^{-1} de MS na estação seca e 8.747 kg ha^{-1} de MS na estação chuvosa na fazenda experimental da

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, localizada no município de Cambuquira, sul do Estado de Minas Gerais.



Figura 24 – Microbacia B3 cultivada com *Andropogon gayanus* Kunt no período de lançamento da inflorescência, no semiárido, Iguatu-CE.

Outro fato a ser observado é que, na microbacia B3, as chuvas ocorridas no mês de outubro e dezembro (Tabela 10) não foram suficientes para mudar a tendência de queda na produtividade de biomassa herbácea iniciada a partir do mês de junho (Figura 22), diferindo do comportamento apresentado pelas microbacias B1 e B2. Este fato demonstra que o plantio com gramínea é menos eficiente que a caatinga não alterada e a caatinga raleada em aproveitar a umidade fornecida pelas chuvas fora da estação chuvosa para produzir biomassa herbácea.

5.1.4.2 Biomassa arbórea

Na microbacia mantida com caatinga não alterada (B2), foram identificadas 18 espécies em onze famílias. As famílias com maior número de indivíduos presentes neste estudo foram Euphorbiaceae, Apocynaceae, Mimosoideae e Combretaceae. Embora o número de parcelas de 10 x 10 m instaladas na área, tenham sido apenas oito, e não cobriram toda a área como em alguns levantamentos fitossociológicos, mas como a área é pequena estas parcelas são representativas da vegetação das microbacias. Este número de espécies é superior aos encontrados por outros pesquisadores em áreas de caatinga do Nordeste brasileiro

(AMORIM; SAMPAIO; ARAÚJO, 2005; CAVALCANTI et al., 2009; PEREIRA et al., 2003; PEREIRA et al., 2002).

Quanto ao número de indivíduos, considerando a área mantida com caatinga não alterada (microbacia B2) e identificando-se apenas as plantas com diâmetro no nível do solo superior a 3 cm, foram detectadas 3.137 plantas ha⁻¹. Esta quantidade é semelhante à encontrada para alguns levantamentos no Nordeste do Brasil (PEREIRA et al., 2003; CAVALCANTI et al., 2009; AMORIM; SAMPAIO; ARAÚJO, 2005).

As microbacias B1 e B2 apresentaram produtividades distintas de biomassa arbórea em 2009 devido ao raleamento aplicado a microbacia B1 em outubro de 2008. Considerando que antes do raleamento a vegetação era a mesma e que as duas áreas são contíguas e tinham o mesmo tempo de regeneração, a única diferença entre as vegetações das duas bacias era em decorrência do manejo aplicado, raleamento, ficando a B1 com 40% a menos de biomassa arbórea que a B2.

A quantidade de biomassa presente na B2, microbacia mantida com a caatinga que vem de um processo de 30 anos de regeneração, apresentou no ano de 2010, 66.892 kg ha⁻¹ (Figura 25). Este valor é considerado elevado, quando comparado com outras áreas de caatinga: 43.800 kg ha⁻¹ em Pernambuco e 25.000 kg ha⁻¹ no Seridó do Rio Grande do Norte encontrados por Cavalcanti et al. (2009) e por Amorim, Sampaio e Araújo (2005), respectivamente. Acredita-se que a diferenças entre os valores encontrados nesta pesquisa com as existentes na literatura possam estar relacionadas com a metodologia empregada. Autores como Sampaio et al. (2010) constataram que as equações alométricas superestimam a produção da biomassa de caatinga de regeneração em até 20%. Apesar disso, considerou-se esta metodologia como sendo a mais adequada para a área deste estudo, pois se trata de uma metodologia não destrutiva, visto que as áreas estudadas receberam manejos diferenciados para monitorar mudanças nas respostas hidrológicas, no microclima e no processo erosivo e por ela ser vastamente aplicada em todo o mundo (LAURENCE et al., 1999; KETTERINGS et al., 2001; PILLI; ANFODILLO; CARRER, 2006).

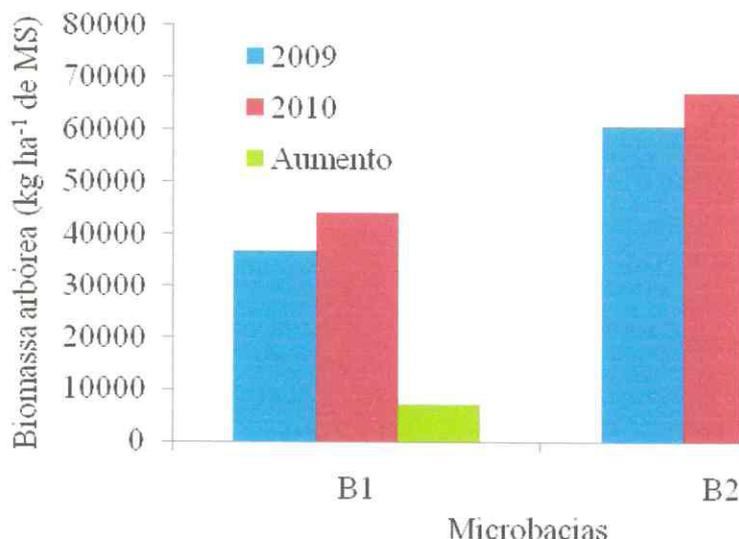


Figura 25 – Quantidade de biomassa abórea encontradas nas microbasias B1 e B2 para os anos de 2009 e 2010 e o aumento deste substrado entre os dois anos.

O aumento da produtividade ocorrido nas duas microbasias no ano de 2010 foi de 7.264 e 6.250 kg ha⁻¹ ou 20 e 10% para as microbasias B1 e B2, respectivamente (Figura 25). Este aumento é considerado muito alto quando comparado com o valor encontrado por Cavalcanti et al. (2009), que constatou um aumento de 2.600 kg ha⁻¹ ou 6% em um período de cinco anos para uma área de caatinga não manipulada na região da depressão sertaneja de Pernambuco com precipitação e temperatura médias anuais de 511 mm e 25°C, respectivamente, e déficit hídrico por 11 meses. Este maior aumento na área raleada pode ser explicado pelo tratamento aplicado, que proporcionou maior disponibilidade de luz para as plantas mantidas na área. Este fato, também foi constatado por Araújo Filho et al., (2002).

5.1.4.3 Biomassa total

A máxima produtividade de biomassa total (Figura 26) para o ano de 2010 foi registrada na B1 com 10.819 kg ha⁻¹, seguida pela B3 (8.513 kg ha⁻¹) e por último a B2 com 7.364 kg ha⁻¹. Para as produtividades totais das microbasias B1 e B2 as maiores contribuições vieram da produtividade de biomassa arbórea, sendo que na B1, as plantas que ficaram preservadas (devido o tratamento de raleamento e que as plantas que ficaram preservadas dispuseram de maior quantidade de luz, espaço e nutrientes) desenvolveram-se

mais que as da B2. Assim, a microbacia B1 ultrapassou a produtividade arbórea da microbacia B2.

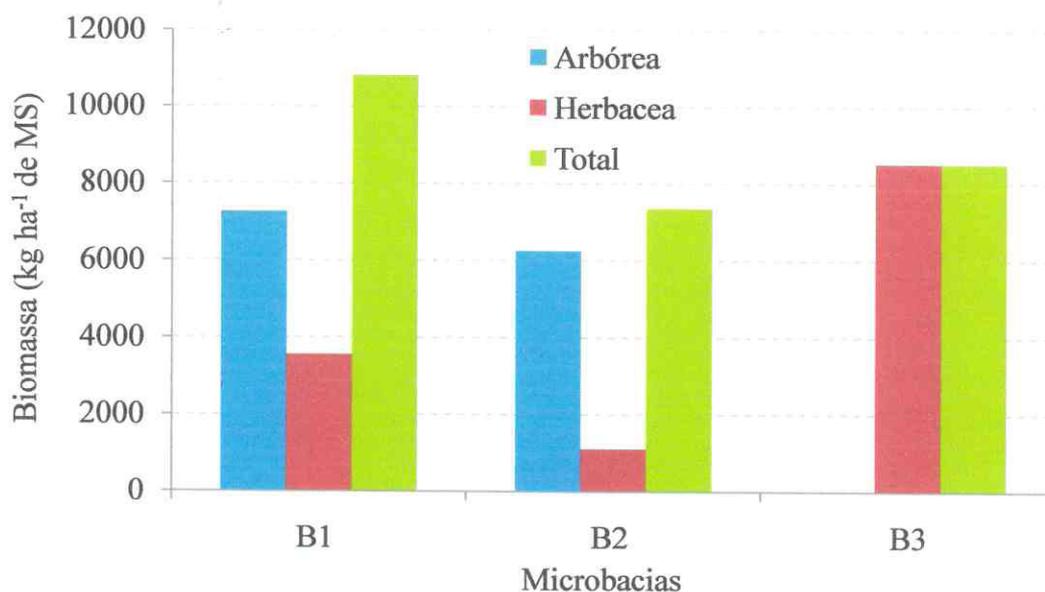


Figura 26 - Produtividade de biomassa dos substratos arbóreo, herbáceo e total nas microbacias B1, B2 e B3 para o ano de 2010.

Constata-se que o desmatamento, queima e plantio de gramínea *Andropogon gaynus* Kunt proporcionou um aumento de 16% na produtividade de biomassa total na área da B3, quando comparada com a produtividade da B2 mantida com caatinga não alterada, que foi mantida como testemunha. A maior produtividade foi observada na B1, onde foi aplicado um manejo menos agressivo ao meio ambiente, com o raleamento da caatinga, pois esta área proporcionou 47% a mais de produtividade de biomassa total, ao se comparar com a B2 (Figura 26). Maiores produções de biomassa em caatinga raleada foram encontradas por (ARAÚJO FILHO et al., 2002).

A microbacia B1 apresentou uma produtividade de biomassa total 27% maior que a microbacia B3 (Figura 26). Este fato demonstra que em relação à produtividade de biomassa o melhor manejo a ser aplicado é o raleamento, pois além de ser menos agressivo pode proporcionar maior quantidade de biomassa disponível para alimentar animais. Vale salientar que mais estudos devem ser conduzidos para analisar o comportamento nos anos seguintes e como se comportariam estas produtividades ao longo do tempo se tivesse a presença de animais pastejando nelas.

5.2 Balanço emergético

Neste ítem são apresentados e discutidos os resultados da análise emergética dos manejos aplicados nas três microbacias. Portanto, são apresentados os resultados para cada etapa da metodologia emergética (diagrama sistêmico, tabela de avaliação emergética e energia produzida, e balanço emergético), em seguida são apresentados os indicadores emergéticos para os três sistemas.

Como o objetivo dos manejos é a produção de biomassa para ser utilizada pelas comunidades através do uso da madeira e/ou do pastejo, na avaliação emergética considerou-se o aumento da biomassa como uma das saídas dos sistemas, ou produto para todos os manejos aplicados às microbacias.

5.2.1 Análise emergética da caatinga não manejada

O diagrama sistêmico de energia da caatinga não alterada, microbacia B2 (Figura 27), expressa o sistema em equilíbrio em sua condição natural. Neste sistema, seus componentes, os fluxos de energia e suas interações, os estoques de energia, entre outros, interagem em sua forma sustentável. A caatinga depende exclusivamente de recursos da natureza (sol, chuva, vento), além destes recursos ela usa os nutrientes do solo, proveniente dos estoques e reciclagem natural da serapilheira, e o nitrogênio da atmosfera, mas como estes não foram quantificados nos estudos de campo, serão desconsiderados para esta análise. Os produtos ou saídas do sistema são a água infiltrada para recarga do leçol freático, a água que escoar e pode ser aproveitada por outros sistemas e o aumento da biomassa que pode ser utilizada pela comunidade como aproveitamento de madeira e pastejo da biomassa herbácea.

Cabe lembrar que o cenário atual é o sistema base do estudo e que os outros cenários são propostas de modificação, por isso é importante ter sempre em mente a figura deste cenário.

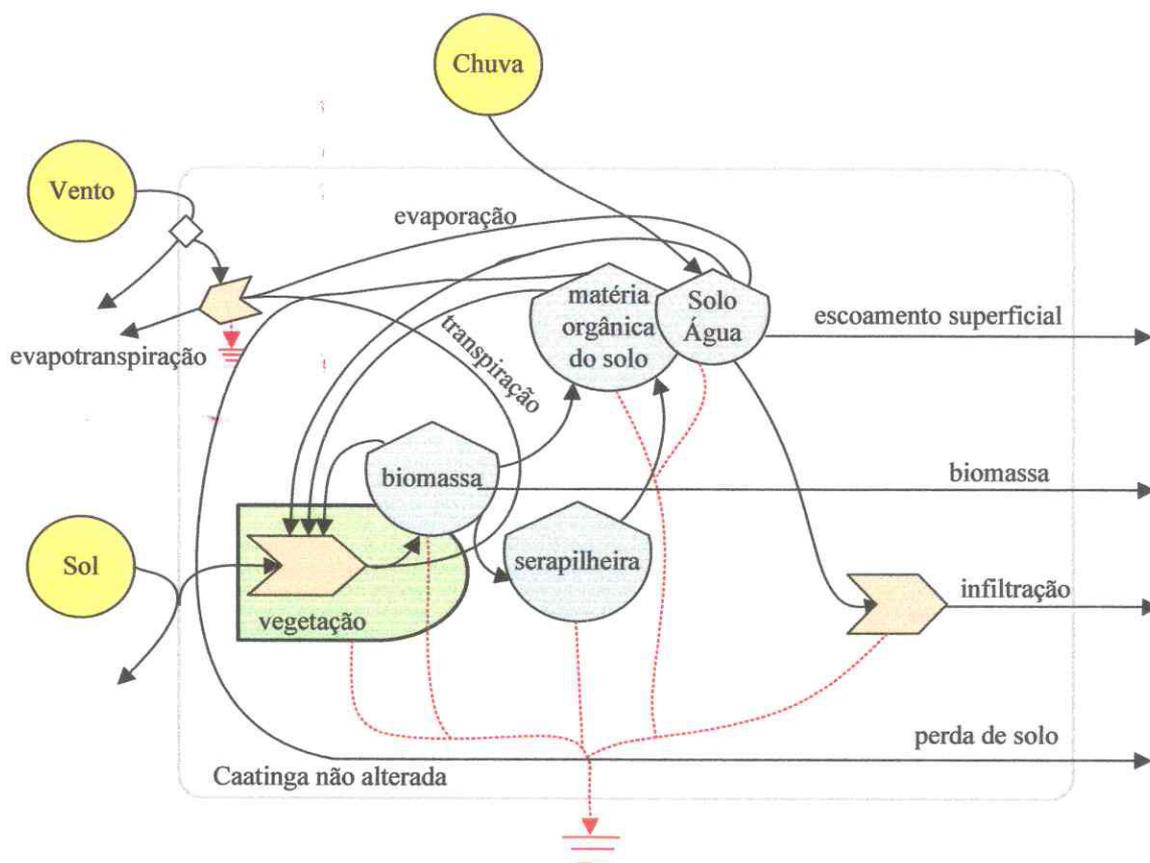


Figura 27 – Diagrama sistêmico de fluxos de energia da caatinga não alterada (microbacia B2).

A tabela de cálculo emergético é construída a partir do diagrama sistêmico. É nela que os valores dos fluxos de entrada que cruzam as bordas do sistema são convertidos em energia, o que possibilita saber a energia que suporta o sistema e calcular os indicadores de desempenho emergético.

As diferentes entradas (fluxos que suportam emergeticamente o sistema) são em função do manejo aplicado na área. Como a caatinga não alterada não exige nenhuma atividade, por isto é considerada como referência, os fluxos são apenas aqueles de origem da natureza: sol, vento e chuva e a perda de solo, onde é contabilizada a matéria orgânica.

Considerando que os fluxos de energia de cada sistema são em função dos manejos aplicados em cada área, os fluxos de entrada que suportam os sistemas são provenientes da natureza para os três manejos e da economia apenas para o sistema raleado e do plantio com *Andropogon gaynus* Kunt. Após estas considerações, pode-se observar que a demanda emergética da caatinga não alterada identifica a chuva como o principal fluxo

renovável (94,8%) (Tabela 16). Do outro lado, a perda de solo é o principal fluxo não renovável, representando apenas 0,8% da energia total. O cálculo detalhado da energia do fluxo de cada contribuição da referida tabela constam do Apêndice A.

Tabela 16 – Tabela de cálculo dos fluxos de energia que dão suporte a síntese emergética da caatinga não alterada (microbacia B2)

Nota	Contribuições	Fração renovável	Fluxo	Unid.	Intensidade emergética (seJ unid. ⁻¹)	Ref.	Energia Renovavel (seJ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Energia Não Renovavel (seJ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Energia Total (seJ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	%
	Renováveis						1,51E+15	0	1,51E+15	99,2
1	Sol	1	6,46E+13	J	1	[a]	6,46E+13	0,00E+00	6,46E+13	4,3
2	Chuva	1	4,71E+10	J	30600	[b]	1,44E+15	0,00E+00	1,44E+15	94,8
3	Vento	1	8,57E+08	J	2500	[b]	2,14E+12	0,00E+00	2,14E+12	0,1
	Não Renováveis						0,00E+00	1,19E+13	1,19E+13	0,8
4	Perda de solo	0	9,60E+07	J	124000	[c]	0,00E+00	1,19E+13	1,19E+13	0,8
	Materiais						0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0
	Serviços						0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0
Energia total							1,51E+15	1,19E+13	1,52E+15	100,00

[a] Odum (1996), [b] Brown e Ulgiati (2004), [c] Brown (2001)

As transformidades ou intensidades emergéticas correspondem à quantidade de energia incorporada por cada unidade do produto, material ou serviço e foram calculadas em avaliações emergéticas realizadas em outros trabalhos de emergy (ODUM, 1996; LI et al., 2010). Os valores das intensidades emergéticas presentes na coluna 6 da Tabela 16 foram calculadas conforme referências citadas no rodapé da referida tabela.

Além da energia total que suporta o sistema (entradas e estoques), é preciso conhecer a energia (emjoules) produzida pelo sistema, ressaltando que é contabilizada somente a energia que ultrapassa as fronteiras do sistema (saídas), e o aumento de biomassa será colocado como um produto para ser aproveitado pelas comunidades residentes nas áreas de caatinga. Os produtos da caatinga não alterada, assim como a energia produzida podem ser observadas na Tabela 17, evidenciando uma das características dos serviços ambientais prestados pela caatinga. Os detalhes do cálculo da energia destes produtos constam do Apêndice A.

Tabela 17 – Massa produzida e quantidade de energia produzida (Ep) pela caatinga não alterada no semiárido para o ano de 2010

Produto	Quant.	Unid. ($\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)	J unid. ⁻¹	Ep ($\text{J ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)
Água infiltrada	374680	kg	5,00E+03	1,87E+09
Água escoada superficial	151240	kg	5,00E+03	7,56E+08
Aumento de biomassa	7365	kg	1,39E+07	1,02E+11
Total	533285	kg		1,05E+11

Em termos quantitativos de massa, a água infiltrada representa o principal produto da caatinga não alterada ($374680 \text{ kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, correspondendo a 70% o total), em segundo aparece a água escoada superficialmente ($151240 \text{ kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, correspondendo a 29% do total), e a terceira posição é ocupada pelo aumento da biomassa ($7365 \text{ kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, correspondendo a 1% do total). Apesar do aumento de biomassa representar a menor quantidade dos produtos, este elemento é reponsável pela maior produção de energia neste sistema, 97% de toda energia produzida, isto ocorre devido a grande energia agregada por unidade do produto.

Os possíveis fluxos de energia que suportam os sistemas são: fluxos da natureza renováveis (R) e fluxos da natureza não renováveis (N), fluxos da economia de materiais (M), que apresentam parte renovável (M_R) e parte não renovável (M_N) e fluxos da economia de serviços (S), que também podem ter parte renovável (S_R) e parte não renovável (S_N) (ODUM, 1996; ORTEGA, 2002). A avaliação emergética da caatinga não alterada demonstra que

apenas dois fluxos se fazem presentes neste sistema: o fluxo de energia renovável (R) e o fluxo de energia da natureza não renovável (N), Figura 28 (a e b), e que o fluxo (R) foi responsável quase pela totalidade de energia que dá suporte à caatinga não alterada.

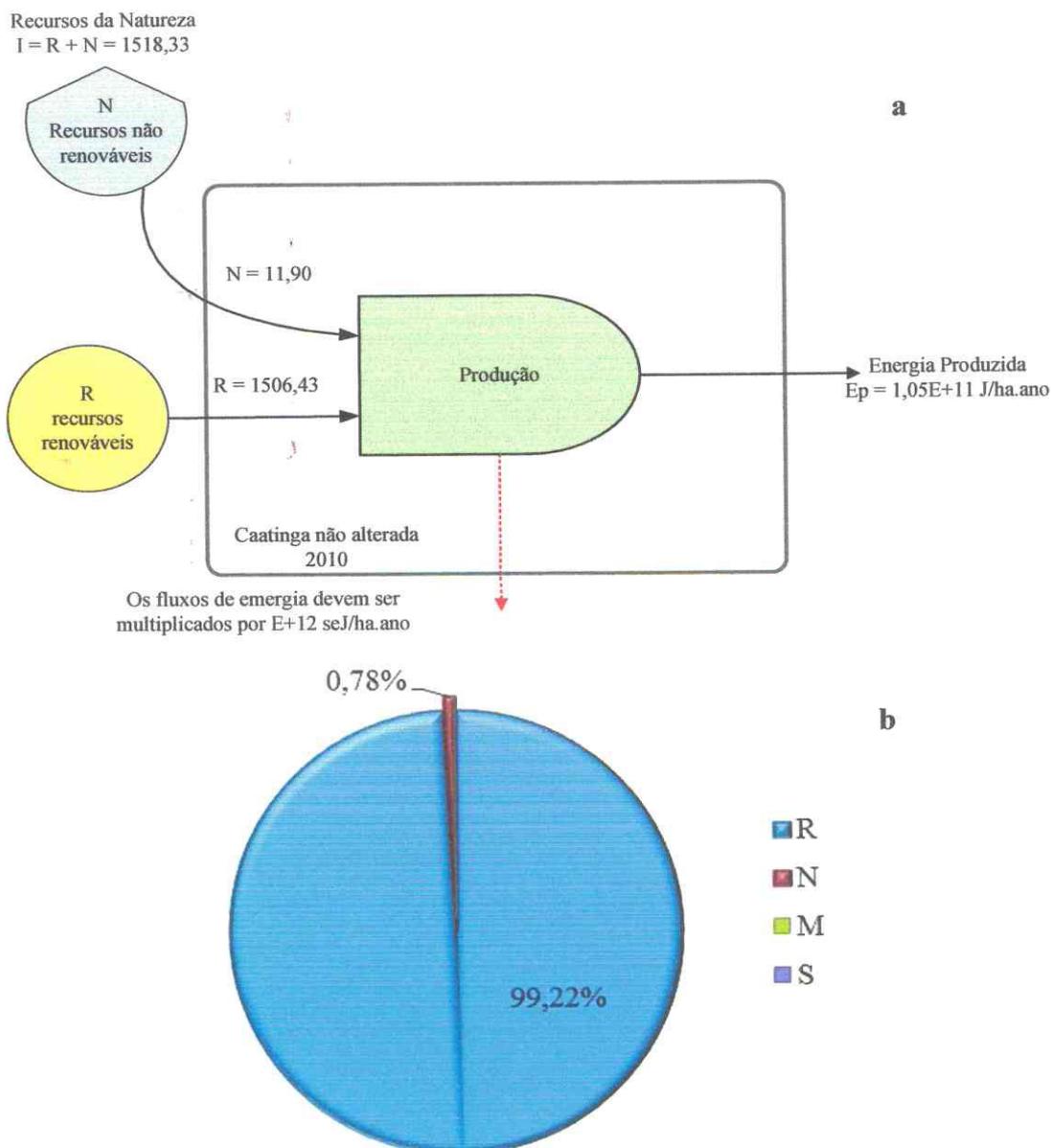


Figura 28 – Indicadores da caatinga não alterada (microbacia B2) em 2010: (a) Diagrama de energia agregado; (b) Porcentagem dos fluxos energéticos de entrada em relação à energia total.

Outra importante informação que se visualiza na Figura 28a é uma síntese da energia dentro do sistema da caatinga não alterada. Nela são mostrados os valores energéticos que deram suporte ao sistema e a energia produzida pelo sistema. Parte da energia é degradada no processo de transformações das energias para a produção de novos

elementos que são considerados os produtos do sistema: água infiltrada, água escoada superficialmente e aumento de biomassa. Foram gastos 14477 seJ para cada Joule produzido na caatinga não alterada.

5.2.2 Análise emergética da caatinga raleada

O diagrama sistêmico da caatinga raleada, microbacia B1 (Figura 29), representa o sistema com um manejo que modifica pouco a condição natural, pois não há introdução de novos componentes ao sistema, apenas são utilizados serviços para a redução do número de indivíduos da vegetação arbórea na área. As fontes de energia renovável, vindas da natureza, são as mesmas da caatinga não alterada, porém comparando com o referido sistema, há o aumento dos serviços de mão de obra para manter o raleamento da área.

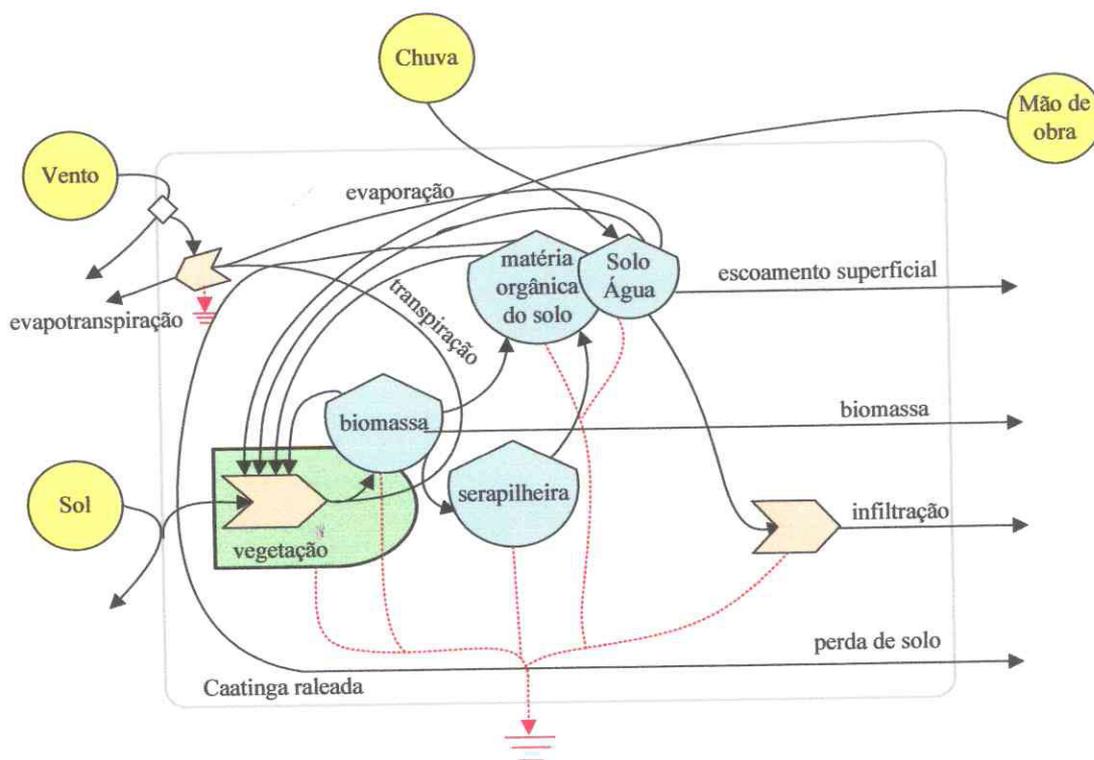


Figura 29 - Diagrama sistêmico de fluxos de energia da caatinga raleada (microbacia B1).

De acordo com a tabela de avaliação emergética da caatinga raleada (Tabela 18), dos principais fluxos emergéticos que dão suporte ao sistema, a chuva é o maior responsável (73,1%). A baixa perda de solo (0,1%) ajuda a manter a renovação do sistema. Já os serviços de mão de obra (23,4%) são responsáveis pela redução na renovação da caatinga raleada.

Tabela 18 - Tabela de cálculo dos fluxos de energia que dão suporte a síntese emergética da caatinga raleada (microbacia B1)

Nota	Contribuições	Fração renovável	Fluxo	Unid.	Intensidade emergética (seJ unid. ⁻¹)	Ref.	Energia Renovavel (seJ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Energia Não Renovavel (seJ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Energia Total (seJ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	%	
	Renováveis						1,51E+15	0	1,51E+15	76,5	
1	Sol	1	6,46E+13	J	1	[a]	6,46E+13	0	6,46E+13	3,3	
2	Chuva	1	4,71E+10	J	30600	[b]	1,44E+15	0	1,44E+15	73,1	
3	Vento	1	8,57E+08	J	2500	[b]	2,14E+12	0	2,14E+12	0,1	
	Não Renováveis						0	2,39E+12	2,39E+12	0,1	
4	Perda de solo	0	1,93E+07	J	124000	[c]	0	2,39E+12	2,39E+12	0,1	
	Materiais						0	0	0	0,0	
	Serviços						2,07E+14	2,53E+14	4,60E+14	23,4	
5	Mão de obra	0,45	4,19E+07	J	11000000	[a]	2,07E+14	2,53E+14	4,60E+14	23,4	
	Energia total							1,71E+15	2,56E+14	1,97E+15	100

[a] Odum, 1996; [b] Brown e Ulgiati, 2004; [c] Brown, 2001.

Em comparação com a caatinga não alterada, a chuva permanece sendo responsável pela maior quantidade de energia, mas houve uma diminuição, pois a porcentagem de energia da chuva em relação a toda energia que dá suporte ao sistema reduziu de 98,4% (caatinga não alterada) para 73,1% na caatinga raleada. O aparecimento do suporte dos serviços foi responsável por esta ligeira queda, o que geralmente acontece com a incorporação dos serviços que possuem alta transformidade e pouca renovabilidade. Com isto as fontes de energia naturais vão perdendo sua “importância”.

Outro fluxo que chama a atenção na Tabela 18 é o referente à perda de solo, pois este apresentou energia 80% menor quando comparado com da caatinga não alterada. Esta redução ocorreu porque as perdas de solo registradas na caatinga raleada para o ano de 2010 foram de 42 kg ha^{-1} , enquanto que na área da caatinga não alterada as perdas foram de 168 kg ha^{-1} (Tabela 15), como se está avaliando sistemas com monitoramento de campo, não se pode dizer que esta variação nas perdas de solo foram única e exclusivamente consequência da mudança no manejo. O raleamento da caatinga proporcionou uma maior cobertura rasteira pela biomassa herbácea que ajudou a proteger melhor o solo e reduziu as perdas. Mas apesar das duas áreas de manejo serem contíguas há algumas diferenças entre elas, a área de caatinga não alterada apresenta maior declividade e a presença de áreas com solo descoberto, que podem ter contribuído para o aumento da perda de solo nesta área.

Com a incorporação dos serviços de mão de obra na caatinga raleada, que representa 23,4% de toda a energia do sistema, houve um aumento de 30% na energia total que suporta o mesmo, quando se compara com a mesma energia da caatinga não alterada. Com isto, é necessário que o sistema seja mais produtivo para que haja vantagem na prática do raleio. Vale salientar que, mesmo que com o raleio se consiga maiores produções que com a caatinga inalterada, o uso de mão de obra, que tem maior energia agregada não renovável, vai acarretar uma maior dependência de outros sistemas.

Comparando os produtos da caatinga raleada (Tabela 19) aos da caatinga não alterada (Tabela 17), apesar de conterem os mesmos produtos e ter ocorrido uma redução na quantidade de água infiltrada e escoada, houve uma maior produção de biomassa na caatinga raleada. O aumento na produção de biomassa foi responsável por um acréscimo de 45% na produção de energia na caatinga raleada, já que a biomassa apresenta uma energia agregada 2783 vezes maior que a da água infiltrada e escoada. Os cálculos detalhados da quantidade dos produtos e da energia produzida para a caatinga raleada constam do Apêndice B.

Tabela 19 - Massa produzida e quantidade de energia produzida (Ep) pela caatinga raleada no semiárido para o ano de 2010

Produto	Quant.	Unid. ha ⁻¹ ano ⁻¹	J unid. ⁻¹	Ep (J ha ⁻¹ ano ⁻¹)
Água infiltrada	142494	kg	5,00E+03	7,12E+08
Água escoada superficial	112790	kg	5,00E+03	5,64E+08
Aumento de biomassa	10819	kg	1,39E+07	1,51E+11
Total	266103	kg		1,52E+11

Como para o sistema de caatinga não alterada, a maior quantidade de massa produzida pela caatinga raleada foi representada pela água infiltrada, em segundo a água escoada superficialmente e em terceiro o aumento de biomassa, só que as proporções em relação à massa total foram 54, 42 e 4% respectivamente. Como no manejo anterior, o aumento de biomassa foi responsável pela maior quantidade de energia produzida (99% do total).

A caatinga raleada tem como fontes de energia para suportar o sistema os fluxos da natureza, energia renovável (R), energia não renovável (N) e dos fluxos da economia apenas os serviços (S) dão suporte a este sistema (Figura 30a). O fluxo de energia renovável é o que contribui com a maior parcela de energia 76%, o fluxo dos serviços ocupa a segunda posição com 23% e a energia não renovável vinda das perdas de solo na área ficam em terceiro lugar, corresponde a apenas 0,16% da energia que dá suporte ao sistema (Figura 30b). Nota-se com isto que o sistema da caatinga raleada já apresenta dependência dos fluxos de energia da economia.

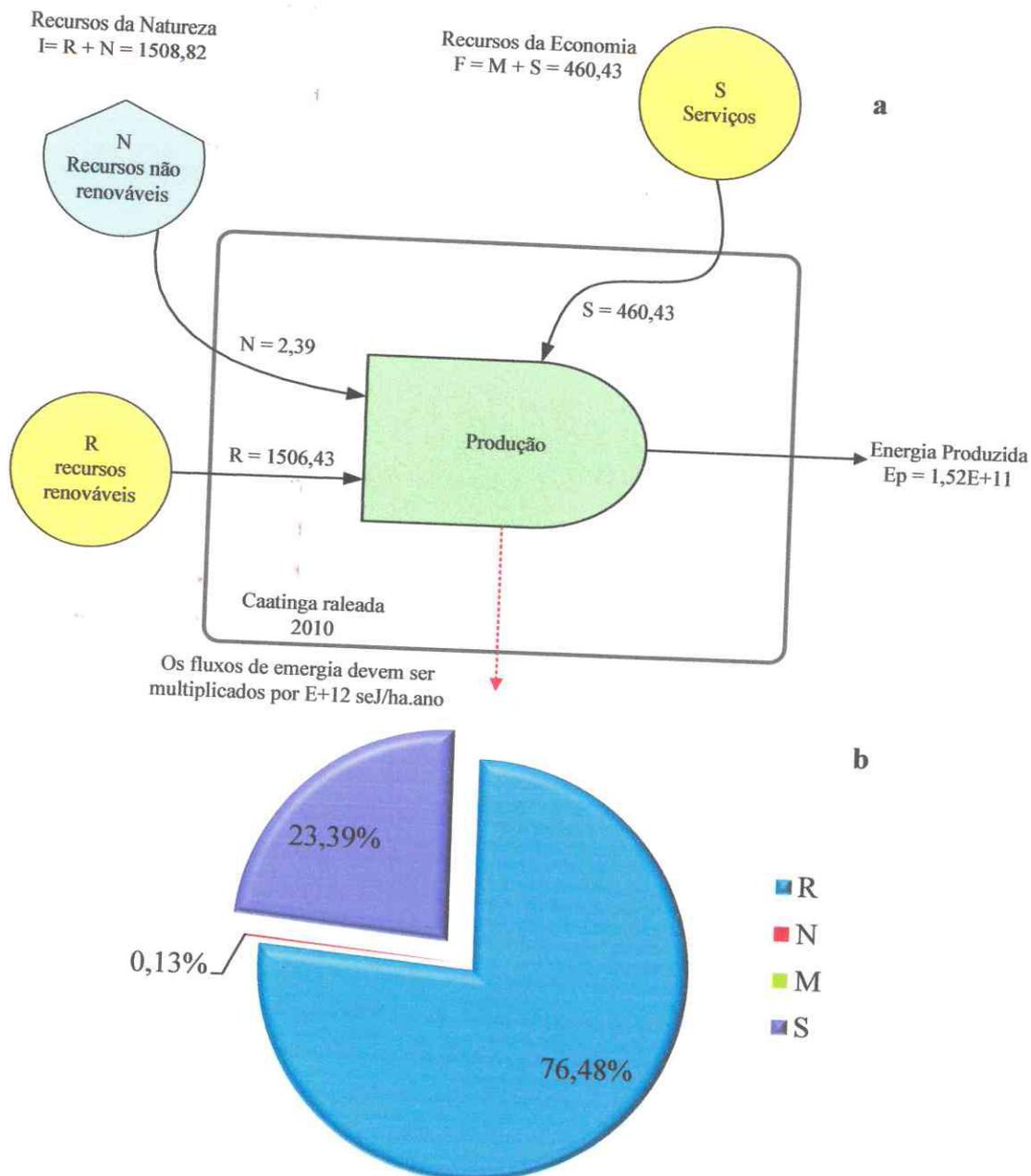


Figura 30 – Indicadores da caatinga raleada (microbacia B1) em 2010: (a) Diagrama de fluxo de energia agregado; (b) Porcentagem dos fluxos energéticos de entrada em relação à energia total.

5.2.3 Análise energética da caatinga desmatada, queimada e plantada com gramínea *Andropogon gayanus* Kunt

O diagrama sistêmico de energia para a microbacia B3 (Figura 31), que representa a área desmatada, queimada e plantada com gramínea, apresenta os fluxos de energia deste sistema. Em relação à caatinga raleada, ocorre um aumento da quantidade de serviços de mão de obra, necessária à amortização do plantio do *Andropogon gayanus* Kunt e à aplicação de herbicida. Além disso, há o aumento do de materiais herbicida e sementes, que são energias vindas da economia e que, conseqüentemente elevam a transformidade da área e reduzem a renovabilidade.

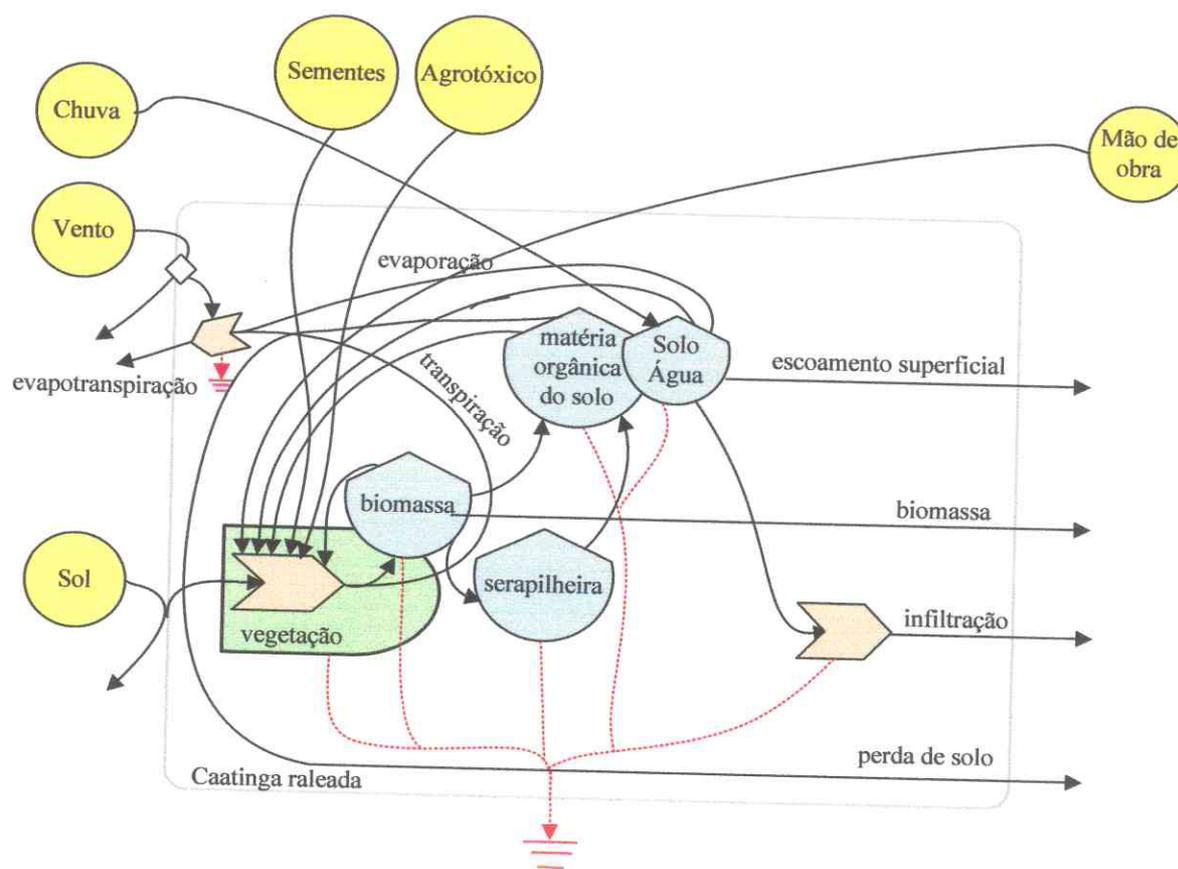


Figura 31 - Diagrama sistêmico de fluxos de energia da área desmatada, queimada e plantada com gramínea (microbacia B3).

O cálculo da demanda de energia da área desmatada, queimada e plantada com gramínea, microbacia B3 (Tabela 20) expressa que o fluxo de energia da chuva corresponde a 44% da energia total e é tida como a principal fonte de energia renovável do sistema. No entanto, o percentual de energia vindo dos serviços (46%) é o maior de todos os manejos estudados. Com a interferência antrópica aumentando na caatinga, os percentuais de energia dos serviços passaram de 0% no manejo da caatinga não alterada, para 23% no manejo de caatinga raleada e atingiram 46% para o manejo de plantio com gramínea (Tabelas 16, 18 e 20). Conforme aumenta a interferência do homem no meio ambiente para a produção agrícola, a demanda por energia vinda da economia para dar suporte aos sistemas vai aumentando e como parte desta energia é não renovável, a renovabilidade dos sistemas serão fortemente reduzidas (AGOSTINHO; AMBRÓSIO; ORTEGA, 2010).

Tabela 20 - Tabela de cálculo dos fluxos de energia que dão suporte a síntese emergética da área desmatada, queimada e plantada com gramínea (microbacia B3)

Nota	Contribuições	Fração renovável	Fluxo	Unid.	Intensidade emergética (seJ unid. ⁻¹)	Ref.	Energia Renovavel (seJ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Energia Não Renovavel (seJ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Energia Total (seJ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	%
Renováveis										
1	Sol	1	6,46E+13	J	1,00E+00	[a]	1,51E+15	0	1,51E+15	46,3
2	Chuva	1	4,71E+10	J	3,06E+04	[b]	6,46E+13	0	6,46E+13	2,0
3	Vento	1	7,46E+08	J	2,50E+03	[b]	1,44E+15	0	1,44E+15	44,3
Não Renováveis										
4	Perda de solo	0	1,67E+09	J	1,24E+05	[c]	0	2,07E+14	2,07E+14	6,4
Materiais										
5	Agrotóxico	0,01	4,91E+00	kg	2,48E+10	[b]	4,23E+11	4,19E+13	4,23E+13	1,3
6	Sementes	0,01	2,85E+01	J	1,48E+12	[d]	1,22E+09	1,21E+11	1,22E+11	0,0
Serviços										
5	Mão de obra	0,45	1,36E+08	J	1,10E+07	[a]	4,22E+11	4,18E+13	4,22E+13	1,3
Energia total							7,48E+14	7,48E+14	1,5E+15	46,0
							2,27E+15	9,97E+14	3,27E+15	100,0

[a] Odum, 1996; [b] Brown e Ulgiati, 2004; [c] Brown, 2001; [d] Ortega, 2002.

Tanto neste sistema, como nos dois anteriormente avaliados, a chuva é responsável pela maior quantidade de energia renovável dos sistemas. O fato é justificado por a intensidade emergética desta energia ser maior que a dos outros fluxos renováveis, pois o sol que representa o maior fluxo, tem a intensidade igual a 1, já o vento apresenta valor de 2500, no entanto, a chuva apresenta um valor muito superior (30600). Esta maior importância do fluxo da chuva na energia renovável que dá suporte aos sistemas de florestas e agrícolas foram constatados por outros pesquisadores (TILLEY; SWANK, 2003; AGOSTINHO et al., 2008).

Outro fato que também chama a atenção é a elevada perda de solo desse manejo, que representou 6,3% de toda a energia do sistema, superior aos valores constatados para a caatinga não alterada (0,8%) e para a caatinga raleada (0,1%).

Os produtos do manejo de desmatamento, queima e plantio de gramínea (Tabela 21) são os mesmos dos demais sistemas, o que varia são as quantidades de energia. Como se pode observar, o escoamento nesta área foi em torno de dez vezes maior que os outros dois manejos. A infiltração também foi mais elevada que nos outros dois manejos, devido à condutividade hidráulica do solo (Tabela 5), sendo 120 e 470% maior que na caatinga não alterada e na caatinga raleada, respectivamente. Já o aumento da biomassa foi 20% inferior ao da caatinga raleada e 16% superior ao da caatinga não alterada.

Tabela 21 – Energia equivalente para os produtos gerados na área desmatada, queimada e plantada com gramínea (Ep)

Produto	Quant.	Unid. ha ⁻¹ ano ⁻¹	J unid. ⁻¹	Ep (J ha ⁻¹ ano ⁻¹)
Água infiltrada	811448	kg	5,00E+03	4,06E+09
Água escoada superficial	1128920	kg	5,00E+03	5,64E+09
Aumento de biomassa	8513	kg	1,62E+07	1,38E+11
Total	1948881	kg		1,47E+11

Comparando os produtos dos três manejos, fica claro que o grande diferencial foi o aumento da biomassa, devido ao seu maior teor energético. Apesar da área raleada ter apresentado menores valores de escoamento e infiltração que as outras duas áreas ela apresentou maior produção de energia. Este fato deveu-se ao alto potencial de produção de biomassa, tanto arbórea como herbácea, proporcionado pelo raleamento. Já comparando a caatinga nativa com a área plantada com gramínea, observa-se que, devido à maior produção de biomassa, de escoamento e infiltração na área com gramínea, esta apresentou maior produção de energia. Porém, tal fato não significa que este manejo seja melhor que preservar

a caatinga, pois, apesar de ter ocorrido uma maior produção de energia, foram registradas elevadas perdas de solo nesta área, sendo o solo um dos recursos de energia não renovável. Portanto, torna-se necessário saber se esta produção de energia é sustentável ou não.

Quando se observa o diagrama dos fluxos agregados para a área desmatada, queimada e plantada com capim, nota-se que o sistema utiliza proporções iguais de energia oriunda dos fluxos da economia e da natureza (Figura 32a). Este fato demonstra uma elevada dependência da energia da economia para o manejo do capim. Comparando-se os fluxos de energia deste manejo com os outros dois, observa-se que ele apresenta a maior dependência da economia, tendo em vista que a caatinga não alterada não utiliza energia da economia (Figura 28) e a caatinga raleada utiliza apenas 23% de energia oriunda da economia (Figura 30).

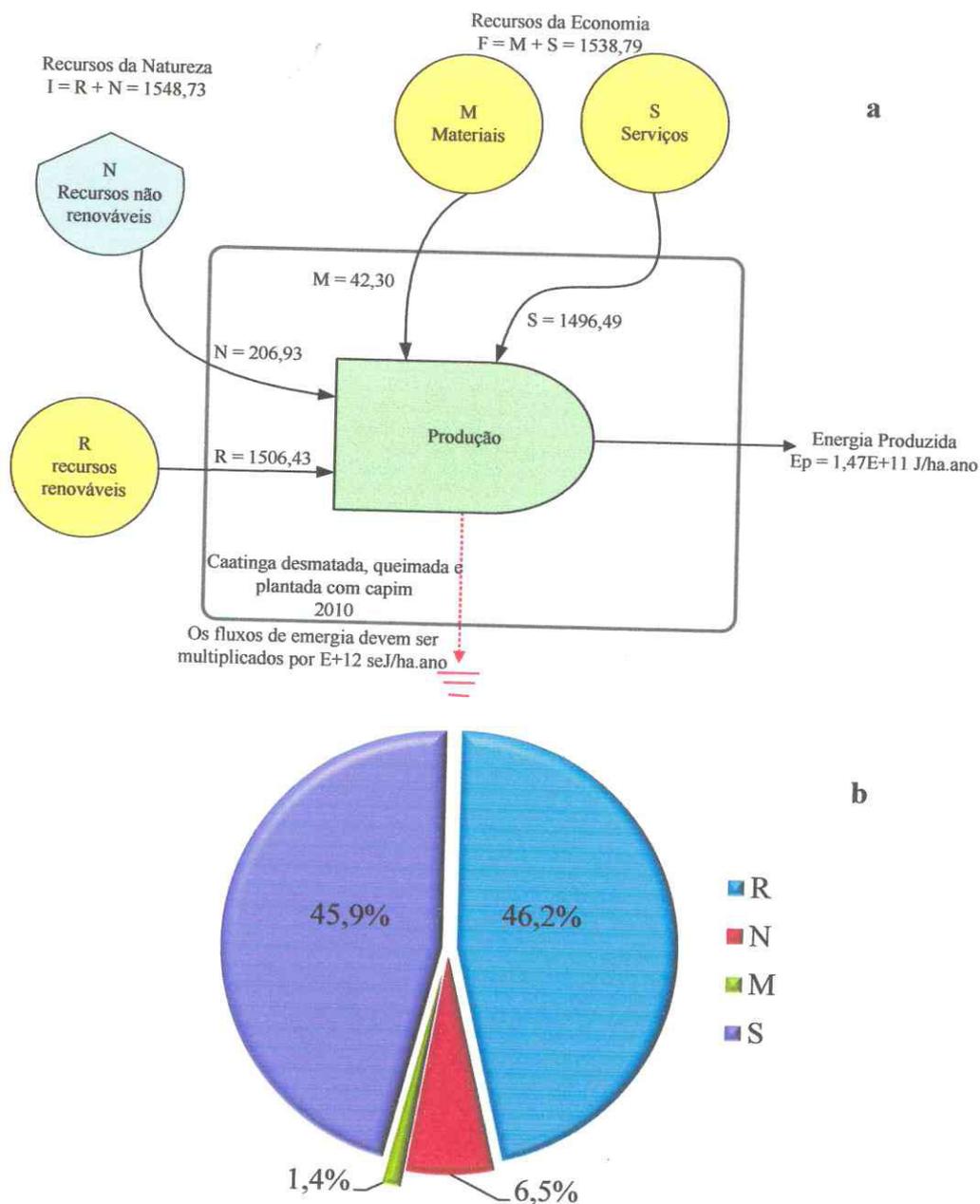


Figura 32 – Indicadores da caatinga desmatada, queimada e plantada com gramínea (microbacia B3) em 2010: (a) Diagrama de fluxo de energia agregado; (b) Porcentagem dos fluxos energéticos de entrada em relação à energia total.

Observa-se na (Figura 32 b) que apenas 46% da energia que dá suporte ao sistema de manejo com capim é renovável e de origem da natureza enquanto que na caatinga raleada este valor é e 76% (Figura 30 b) e na caatinga não alterada corresponde a 99% (Figura 28 b). Embora a maior parte da energia oriunda da economia venha dos serviços utilizados no plantio e controle de ervas daninhas e parte destes serviços tenha uma fração renovável, espera-se que o manejo com capim apresente a mais baixa renovabilidade dos três manejos em estudo.

Para uma melhor comparação entre os fluxos de energia que dão suporte aos três sistemas, apresenta-se a Tabela 22, com os valores de energia dos fluxos dos três sistemas de manejo e que foram detalhados nas Tabelas 16, 18 e 20.

Tabela 22 – Valores emergéticos que dão suporte aos manejos aplicados em microbacias do semiárido para o ano de 2010

Fluxos emergéticos	Energia (seJ ha ⁻¹ ano ⁻¹)		
	Caatinga não alterada	Caatinga raleada	Plantio de gramínea
Y (total que suporta sistema)	1,52E+15	1,97E+15	3,25E+15
I (que vem da natureza)	1,52E+15	1,51E+15	1,71E+15
R (renovável vindo da natureza)	1,51E+15	1,51E+15	1,51E+15
N (não renovável vindo da natureza)	1,19E+13	2,39E+12	2,07E+14
F (vindo da economia)	0	4,6E+14	1,54E+15
M (vindo dos materiais)	0	0	4,23E+13
M _R (renovável vindo dos materiais)	0	0	4,23E+11
M _N (não renovável vind dos materiais)	0	0	4,19E+13
S (vindo dos serviços)	0	4,6E+14	1,5E+15
S _R (renovável vindo dos serviços)	0	2,07E+14	7,48E+14
S _N (não renovável vindo dos serviços)	0	2,53E+14	7,48E+14

A menor quantidade e energia total que suporta o sistema (Y) é apresentada pelo manejo da caatinga não alterada e a modificação da condição natural vai aumentando a demanda de energia, 30% e 115% a mais de energia para os sistemas de caatinga raleada e manejo com gramínea, respectivamente (Tabela 22). Na referida tabela, também, fica claro que, à medida que aumenta o grau de interferência no sistema, além da quantidade de energia demandada os tipos de energia também vão se diversificando e a quantidade de energia renovável vai sendo reduzida em relação ao total utilizado pelo sistema. Consequentemente, conforme aumentou o grau de interferência na caatinga foram sendo utilizadas proporções maiores de energia oriunda da economia.

Outros valores que também merecem comparação entre os sistemas de manejo estudados são a quantidade total de massa e a energia total produzida em cada sistema de manejo e, que foram apresentadas com os detalhes para cada sistema nas Tabelas 17, 19 e 21 e se apresentam de forma resumida e conjunta na Tabela 23.

Tabela 23 – Produtos proporcionados pelos manejos aplicados à caatinga no semiárido para o ano de 2010

Produtos	Caatinga não alterada	Caatinga raleada	Plantio com gramínea
Massa total (kg ha ⁻¹)	5,3E+5	2,6E+5	1,9E+6
Ep - Energia produzida (J ha ⁻¹)	1,0E+11	1,5E+11	1,5E+11

O sistema que mais produziu massa total foi o manejo com gramínea *Andropogon gayanus* Kunt com 1.948.881 kg ha⁻¹. Este valor representa 265% a mais de massa total quando comparada com a quantidade produzida pela caatinga não manejada, que representa o sistema de referência e o que produziu a segunda maior quantidade de massa total (533.285 kg ha⁻¹). Já a caatinga raleada apresentou a menor produção de massa total (266.103 kg ha⁻¹), que representa apenas 50% do que foi produzido pela caatinga não alterada. Apesar deste fato, a menor produção de massa total constatada na caatinga raleada representa uma vantagem em relação aos outros manejos, pois ele apresentou a maior quantidade de energia produzida em relação aos outros dois sistemas em estudo, já que este foi o sistema que produziu a maior quantidade de biomassa (Tabelas 17, 19 e 21) e a biomassa é o produto que tem o maior valor de energia agregado (CAMPBELL et al., 2005). Sendo assim, a caatinga não alterada produziu 1,05E+11 J ha⁻¹ de energia, o sistema com gramínea produziu 1,47E+11 J ha⁻¹ (40% a mais que a caatinga não manejada) e a caatinga raleada, que produziu a maior quantidade de energia, 1,52E+11 (45% a mais que a caatinga não alterada e 3% a mais que o sistema com gramínea).

Assim, efetuado e apresentado o cálculo emergético e dos produtos dos manejos aplicados na área de caatinga foram calculados os índices de eficiência ou de sustentabilidade para os três sistemas investigados.

5.2.4 Indicadores de desempenho emergético

Nesta etapa são colocados e discutidos os indicadores de desempenho emergético (Tabela 24) obtidos para os três manejos aplicados à caatinga (caatinga não alterada, caatinga raleada e caatinga desmatada, queimada e plantada com gramínea). Apesar de haver alguns intervalos de valores desejáveis para os indicadores emergéticos, a comparação entre os indicadores dos sistemas avaliados ainda é uma das principais maneiras de análise. Desta

forma, é possível estabelecer relações entre os valores dos indicadores e as diferenças nos manejos aplicados a cada uma das microbacias.

Tabela 24 – Indicadores emergéticos para os três sistemas de manejo aplicado a microbacias do semiárido no ano de 2010

Indicador	Cálculo*	Caatinga não alterada	Caatinga raleada	Plantio com gramínea	Unidade
Transformidade	$Tr = Y/Ep$	14.477,4	12.975,0	22.062,1	seJ J ⁻¹
Energia específica	Y/Massa total	2,8E+09	7,4E+09	1,7E+09	seJ kg ⁻¹
Taxa de rendimento	$EYR = Y/F$	-	4,3	2,1	adimen.
Taxa de investimento	$EIR = F/I$	0,0	0,3	0,9	adimen.
Taxa de carga ambiental	$ELR = (N+M_N+S_N)/(R+M_R+S_R)$	0,0	0,1	0,4	adimen.
Renovabilidade	$100(R+M_R+S_R/Y)$	99,2	87,0	69,5	%
Benefício/custo	R/F	-	3,3	1,0	adimen.
Sustentabilidade	$ESI = EYR/ELR$	-	43	5,25	adimen.

* Valores utilizados para os cálculos foram retirados das Tabelas 22 e 23.

A transformidade (Tr) é a razão entre a energia total utilizada (Y) e a energia produzida pelo sistema (Ep). A transformidade, além de servir como fator de conversão (fator de intensidade emergética) para outros estudos, ela também é vista como indicador de qualidade do sistema em análise. De maneira geral, quanto maior a transformidade, maior a energia utilizada pelo sistema (ODUM, 1996; COMAR, 1998; LI et al, 2010).

A transformidade calculada para a caatinga não alterada foi maior que para a caatinga raleada. A atividade do raleio significa a inserção (requerimento) de mais energia no sistema através do serviço de mão de obra, portanto era esperado que a transformidade da caatinga não alterada fosse inferior ao da caatinga raleada. Esta resposta diferente do esperado se deve ao fato de que no sistema da caatinga raleada, a energia produzida foi 45% maior que a da caatinga não alterada (Figura 33). Esta resposta demonstra que o investimento em mão de obra para o raleio foi compensado pelo aumento na produção de energia. A alta transformidade da caatinga indica que se poderia ter um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis (BAKSHI, 2002). Este sistema poderia ser aproveitado com a exploração de apicultura, ou turismo ecológico, ou outra atividade que a exemplo do raleio, não alterasse muito o sistema, mas que permitisse uma exploração mais eficiente pelas comunidades do semiárido.

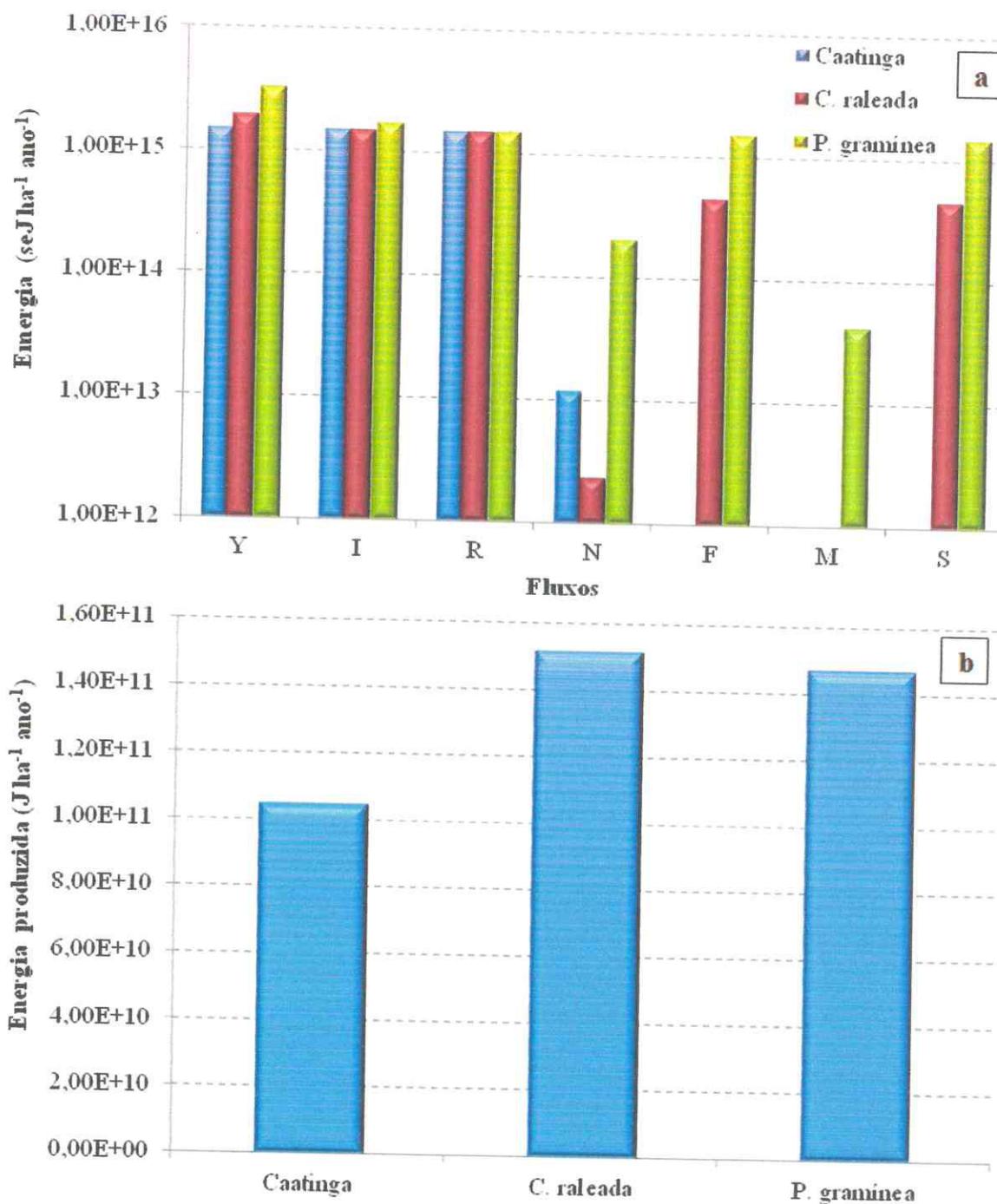


Figura 33 – Valores energéticos para a caatinga não alterada, caatinga raleada e plantio com gramínea: (a) Fluxos energéticos agregados (Y: energia total; I: energia da natureza; R: energia renovável da natureza; N: energia não renovável da natureza; F: energia da economia; M: energia dos materiais; S: energia dos serviços) e (b) energia produzida.

A transformidade do plantio com gramínea ($Tr = 22.062 \text{ seJ J}^{-1}$) é superior à dos outros dois sistemas, em 53 e 71% para a caatinga não alterada e caatinga raleada, respectivamente. Valor de transformidade semelhante ao do plantio com gramínea ($Tr =$

24.200 seJ J⁻¹) foi encontrado por Bonilla et al.(2010), avaliando a produção de bambu no Brasil.

Quando se compara o manejo do plantio com gramínea com o da caatinga não alterada (Figura 33), verifica-se que a diferença entre a energia produzida pelo plantio com gramínea é 40% maior, mesmo assim a transformidade é 53% superior à da caatinga não alterada (Tabela 24). O fator predominante no aumento do valor da transformidade no sistema do plantio com gramínea é a elevada demanda de energia (Y) pelo mesmo, 115% superior à energia requerida pela caatinga não alterada. Tal fato se explica devido à necessidade de serviços e materiais para plantio e o controle de ervas daninhas na área, durante os tratamentos culturais do *Andropogon gayanus* Kunt.

A menor transformidade do sistema caatinga raleada demonstra que este foi o mais eficiente no uso da energia, ficando a caatinga não alterada na segunda posição, em eficiência de uso da energia, e a última posição foi atribuída ao sistema de plantio com *Andropogon gayanus* Kunt. Apesar de este apresentar boa capacidade de produzir energia, a energia requerida para a produção neste sistema foi superior aos outros dois sistemas.

A energia específica (Y/Massa total) demonstra quanto da energia utilizada no sistema é incorporada a cada unidade de massa produzida pelo mesmo. O menor valor deste indicador foi registrado para os produtos do manejo com a gramínea *Andropogon gayanus* Kunt, isto se deve, principalmente, à elevada quantidade de água infiltrada e escoada superficialmente na área. A grande quantidade de energia requerida pelo referido sistema é distribuída para a massa de água infiltrada e escoada superficialmente e massa do aumento de biomassa, que são os produtos do sistema. Quando se compara este sistema ao de caatinga raleada, com maior produção de energia, observa-se uma menor quantidade de massa produzida (Tabela 23), pois o escoamento e a infiltração na área foram os menores dos três sistemas (Tabelas 17, 19 e 21).

Comparando as transformidades encontradas neste estudo com as encontradas por outros autores, observa-se que os valores estão compatíveis. Em uma avaliação emergética da bacia hidrográfica dos rios Pardo e Mogi-Guaçu, foram constatadas transformidades que variaram de 9000 para áreas mais preservadas e rurais a 3307000, para áreas mais degradadas e com maiores populações urbanas. Também foram encontrados valores próximos aos do estudo aqui conduzido, quando avaliaram a produção orgânica de cana de açúcar com transformidade igual a 44.000 seJ J⁻¹ (AGOSTINHO; AMBRÓSIO; ORTEGA, 2010).

Outro indicador presente na Tabela 24 é a taxa de rendimento (EYR), razão entre a energia total utilizada (Y) e a energia adicionada ao sistema vinda de outros locais,

recursos da economia (F). A referida razão serve para dar uma medida da habilidade do sistema para explorar os recursos locais (BROWN e ULGIATI, 1997). A taxa de rendimento demonstra quanto um investimento permite ao sistema exportar recursos locais, a fim de contribuir ainda mais para a economia. Quanto maior o EYR, maior a quantidade de energia que o sistema consegue retirar da natureza por unidade de energia investida (adicionada) no sistema.

O EYR da caatinga não alterada não foi calculado, pois este manejo não utiliza recursos da economia. Quando se compara este indicador da caatinga raleada com o do sistema de implantação da cultura do *Andropogon gaynus* Kunt, observa-se que a caatinga raleada apresenta um valor duas vezes maior que o plantio com gramínea, demonstrando que o raleio tem maior potencial para exportar recursos locais (produtos) com menor energia investida. Assim, o raleio proporcionaria um alto retorno do investimento.

O EYR para o manejo de plantio com gramínea foi 2,1, já para a caatinga raleada foi de 4,3. Os sistemas agrícolas avaliados por Odum (1996) apresentaram EYR menores que dois, enquanto Bastianoni et al., 2001 encontrou valores entre 1,33 a 3,49 em uma fazenda de Toscana na Itália que trabalha com adubação orgânica, para os cultivos de uva, oliveira, girassol, milho, pastagem e cereais. Os valores encontrados para os manejo aplicados à caatinga ficaram muito próximo dos valores dos referidos autores, sendo o aumento justificado pelo cômputo do fluxo de perda de solo realizada no presente trabalho. Como a caatinga raleada apresentou o maior valor (EYR = 4,3) demonstra que este manejo é bastante eficiente em exportar energia local, mas pode ainda ser aperfeiçoado com a agregação da presença de animais para produção de carne e/ou leite e produção de mel, pois Souza (2010) encontrou valores de EYR que variaram de 4,14 a 10,23 para áreas agrícolas com diferentes componentes e sistemas que incluem florestas, culturas anuais, fruteiras, pastejo e produção de álcool em microdestilaria, sendo que, no referido trabalho foram computados os fluxos de nitrogênio e minerais do solo.

O EYR da caatinga raleada, também, foi superior ao valor encontrado por Lu et al. (2006) que obteve valor de 2,155 para uma área mantida com floresta em um sistema de reflorestamento na China, que inclui áreas de floresta, pomar, grama e piscicultura, indo de áreas declivosas até a área plana, respectivamente, mostrando desta forma a eficiência do manejo de raleio na caatinga. O maior EYR obtido na área da caatinga deve ser associado ao raleio, que utiliza mão de obra com o custo energético inferior ao da vigilância utilizada na área de reflorestamento do estudo dos autores supra citados. Outro valor de EYR que pode ser comparado com o sistema avaliado na China é o do plantio com gramínea (*Andropogon*

gaynus Kunt) com 2,1 que foi superior ao da área de grama (*Pennisetum purpureum*) com 1,437.

Outro trabalho com análise emergética em área agrícola foi realizado por Agostinho et al. (2008), que encontrou valor de 18,85; 15,45 e 4,94 para EYR das fazendas Três Lagos, Duas Cachoeiras e Santa Helena, respectivamente. Estes índices foram superiores aos encontrados para todos os manejos da caatinga, mas vale salientar que as fazendas trabalhavam com várias atividades, desde pasto com gado até apicultura, aproveitando vários produtos para a venda no comércio local. A elevação de quase quatro vezes no EYR apresentada pelas fazendas Três Lagoas e Duas Cachoeiras não significa maior eficiência destes sistemas em relação aos manejos da caatinga, pois suas transformidades foram de 2.620.000 e 650.000 sej J^{-1} , conseqüentemente, cem e dez vezes superiores à maior transformidade apreendida pelo manejo com a caatinga.

A taxa de investimento (EIR) é a razão entre os fluxos da economia (energia comprada) e os fluxos da natureza ou energia gratuita, (Tabela 24). Quanto maior o EIR do sistema, maior sua dependência dos recursos da economia. Como o manejo da caatinga não alterada não utiliza recursos da economia, o seu EIR foi zero, demonstrando a total independência deste recurso. Quando se compara o manejo da caatinga raleada (EIR = 0,3) com o plantio de gramínea (EIR = 0,9), se observa que o sistema com gramínea apresentou um valor de EIR três vezes superior, demonstrando uma maior dependência dos recursos da economia que o sistema de raleio. Portanto, este índice aponta ser a caatinga raleada um manejo de maior acessibilidade ao pequeno produtor pela menor dependência do recurso capital.

Para se investigar a razão de carga ambiental (ELR) empregou-se a metodologia de análise emergética modificada por Ortega et al. (2002), onde as parcelas renováveis dos materiais e serviços, que vêm da economia, são contabilizadas nos fluxos de energia para estes recursos (M_R e S_R) e também são contabilizadas as parcelas de energia não renováveis destes mesmos fluxos (M_N e S_N). A ELR representa a razão entre os fluxos não renováveis e os fluxos renováveis, avaliando a pressão que o sistema exerce no meio ambiente, relacionada ao uso dos recursos renováveis e não renováveis. Sendo assim, a carga ambiental não se refere a poluição.

Semelhante ao que foi encontrado para a EIR, a caatinga não alterada apresentou valor zero para a ELR e o manejo com plantio de gramínea foi o que apresentou maior valor (ELR = 0,4), sendo um valor quatro vezes maior que o manejo da caatinga raleada (ELR = 0,1). Estes resultados demonstram que o sistema de plantio com gramínea exerce maior

pressão sobre o ambiente que o sistema de caatinga raleada. A menor pressão exercida pelo segundo sistema sobre o ambiente se explica pela menor demanda de energia não renovável, bem como a menor utilização de recursos da economia. Os valores da ELR desta pesquisa confirmam os obtidos por Lu et al. (2006). Os referidos autores encontraram ELR de 0,624 e 0,011 para uma área explorada com grama e floresta, respectivamente, em um manejo de reflorestamento na China, sendo que para a floresta foram considerados serviços com vigilância.

Outro indicador importante a ser avaliado, nesta época em que a sustentabilidade é um dos mais debatidos temas da atualidade, é a renovabilidade dos manejos (R%). Este é um indicador de fácil compreensão, pois ele varia de 0 a 100% e diz qual a porcentagem da energia renovável em relação a toda energia utilizada do sistema. Assim como na ELR, são consideradas as frações renováveis dos fluxos da economia, materiais e serviços.

Dos três sistemas, como já se esperava no decorrer da discussão dos outros indicadores, a caatinga não alterada apresentou a maior renovabilidade (R = 99,2%). O único fluxo de energia não renovável demandado por este sistema é o correspondente às perdas de solo e, como a vegetação permaneceu inalterada, estas perdas foram muito pequenas. Resultado semelhante foi constatado por Agostinho (2009) que encontrou renovabilidade de 94 e 84% para áreas de cerrado e florestas, respectivamente, estudando a sustentabilidade dos sistemas de produção agropecuários da bacia hidrográfica dos rios Mogi-guaçu e Pardo no Estado de São Paulo.

Com a prática do raleio, a renovabilidade caiu 12,2% (Tabela 24), pois houve o acréscimo do fluxo da economia relacionado aos serviços, que representou 23% da energia demandada neste sistema (Tabela 18). Com a demanda de serviços para o raleamento da vegetação, era esperado que houvesse uma maior queda no percentual da renovabilidade, quando comparado com a caatinga não alterada, já que esta não utiliza energia da economia. Este fato não ocorreu em consequência de dois fatos: 1. A perda de solo - fluxo de energia não renovável N (Tabela 22) foi reduzido de $1,190E+13, \text{seJ ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ na caatinga não alterada, para $2,39E+12 \text{ seJ ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ na caatinga raleada, correspondendo a uma redução de 80% com a prática do raleamento e, com isso, houve redução do uso de energia não renovável; 2. A aplicação da metodologia emergética modificada por Ortega (2002) permitiu subtrair dos serviços a parcela de energia renovável e com isso reduzir a quantidade de energia não renovável demandada por este sistema.

Já para o manejo de plantio de gramínea a renovabilidade foi de 69,5%, havendo uma redução de 29,7% em relação à caatinga não alterada e 17,5% quando comparada com o

valor da caatinga raleada (Tabela 24). Estas reduções ocorreram porque o plantio com gramínea demandou maior energia da economia e, além disso, ocasionou um grande aumento no fluxo de energia relacionado à perda de solo ($N = 2,07E+14 \text{ seJ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; Tabela 22), sendo 1.639 e 8.559% superior ao fluxo da caatinga não alterada e da caatinga raleada, respectivamente.

Com relação a este indicador, observa-se que o manejo do raleio na caatinga reduziu um pouco a renovabilidade, sendo esta redução em função do uso da mão de obra. Porém, este sistema proporcionou uma maior proteção do solo e com isto pode se configurar numa boa alternativa de exploração da caatinga sem comprometer a sustentabilidade do sistema. Este fato é mais evidente quando se compara com o manejo de plantio com gramínea, prática aplicada indiscriminadamente na região da caatinga, que ocasionou um grande aumento do fluxo de energia não renovável em função do elevado aumento da perda de solo.

Quando se compara a renovabilidade do manejo de raleamento da caatinga com outras áreas agrícolas, Sítio Duas Cachoeiras 59,00%, Santa Helena 34,02% e Três Lagoas 20,33% (AGOSTINHO et al., 2008), Assentamento Gleba XV de Novembro 68,30% (Souza, 2010), pode-se dizer que o manejo de raleamento da caatinga tem uma boa renovabilidade e que tem potencial para melhorar ainda mais este índice se forem agregadas outras atividades na área que não alterem em demasia o ambiente, como apicultura, exploração de espécies para fitoterapia e produção de sementes de espécies nativas.

Outro indicador a ser discutido é a relação benefício/custo, onde serão relacionados os fluxos de energia da natureza com os fluxos de energia da economia. Este indicador mostra que quanto mais elevada a relação maior o benefício que o sistema proporciona para cada unidade de energia investida. Como a caatinga não alterada não utiliza recursos da economia, este indicador não pode ser calculado para o sistema. Pela Tabela 24 se observa que o sistema de caatinga raleada apresentou uma relação benefício/custo de 3,3 enquanto que para o sistema de plantio com gramínea esta mesma relação foi de 1,0. Tais valores mostram que o benefício trazido pelo investimento com o raleio da caatinga é três vezes superior ao benefício proporcionado pelo plantio de gramínea. O manejo de plantio de gramínea não traz benefício, pois o retorno da natureza é apenas igual ao investimento feito pelos recursos da economia.

O último indicador avaliado foi a sustentabilidade dos manejos, desenvolvido por Brown e Ulgiati (1997) e segundo eles usado para avaliar a sustentabilidade do uso dos recursos. O valor deste indicador aumenta com o investimento e decresce com a carga ambiental (BARROS et al., 2009). Sendo assim mais uma vez os indicadores demonstram que

o raleio da caatinga é um manejo viável, pois possui um índice de sustentabilidade igual a 43, sendo superior ao do plantio com gramínea (5,25) em quase uma magnitude (Tabela 24).

Os valores para o indicador de sustentabilidade obtidos no sistema caatinga raleada foram bem superiores aos obtidos por Brown e Ulgiati (1997) para diversas atividades, para os quais o indicador variou de 0,03 a 3,33. Este fato se explica por não ter havido o pastejo direto, nem ter sido computado o serviço para corte e retirada da biomassa, pois o objetivo deste trabalho era comparar os indicadores energéticos para os três manejos.

Comparando os indicadores encontrados neste trabalho com outras pesquisas realizadas no país, constata-se a compatibilidade entre os valores, expressando a credibilidade dos resultados. Outro fato constatado nesta pesquisa é que empregando-se manejos adequados à Caatinga a mesma pode ser explorada de forma sustentável. Os trabalhos conduzidos por Ortega et al. (2005) e Francescatto et al. (2008) encontraram para a agricultura ecológica valores de renovabilidade entre 53 a 76%, sendo que neste estudo o manejo de plantio com gramínea alcançou um valor dentro destes limites ($R = 69,5\%$) e o manejo com caatinga raleada atingiu valor maior que estes ($R = 87\%$). Já quanto ao indicador EYR o comportamento foi o mesmo.

A análise emergética apontou o plantio com gramínea como um manejo de baixa sustentabilidade fato estes constatado por outras pesquisas em áreas de pastagem (SNYMAN; PREEZ, 2005; ZHAO et al., 2005) e deve ser acrescido a este fato a utilização do fogo para a limpeza da área que deixou o solo descoberto e proporcionou os maiores coeficiente de escoamento e produção de sedimentos, comprometendo ainda mais a sustentabilidade deste manejo, confirmando, assim, os vários resultados de aumento da degradação de áreas que utilizam o fogo (SHEUYANGE et al., 2005; RASUL; THAPA, 2006).

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho, considerando as condições em que foram avaliados, permitem tirar as seguintes conclusões:

- A metodologia emergética proporcionou fundamentos para avaliar os manejos aplicados à caatinga e demonstrou, através dos seus indicadores que o manejo do raleio foi mais sustentável e apresentou maior relação benefício/custo que o plantio de gramíneas;
- A metodologia emergética não se adequa para quantificar a sustentabilidade da caatinga não alterada, pois esta não utiliza recursos da economia para sua manutenção;
- Os manejos apresentaram transformidades de 14.477; 12.975 e 22.062 seJ J⁻¹ para as áreas com caatinga não alterada, caatinga raleada e plantio com gramínea, respectivamente, demonstrando que o plantio com gramínea foi o menos eficiente na utilização de energia;
- O manejo com caatinga raleada, além de apresentar os melhores índices emergéticos e a maior produção de biomassa, demonstrou maior eficiência no controle do processo erosivo, podendo ser recomendado como manejo sustentável para áreas de caatinga;
- As perdas de solo nas microbacias com vegetação de caatinga não alterada e raleada tendem a se concentrarem na época em que há uma maior concentração de chuvas e que proporciona maior teor de umidade no solo e maiores escoamentos. Mas a queima modificou este comportamento na microbacia B3 que apresentou as maiores perdas de solo logo nos primeiros eventos de escoamento;
- O baixo rendimento emergético da área plantada com gramínea associado às elevadas perdas de água e solo demonstraram que este manejo provoca a degradação das áreas de caatinga devendo ser desaconselhado pelas políticas públicas para sistemas de produção agro-alimentar;
- O plantio com *Andropogon gayanus* Kunt proporcionou a maior produção de biomassa herbácea dos três manejos no primeiro ano. No entanto, estes estudos devem ser conduzidos por mais tempo para analisar a produtividade nos anos seguintes; e,
- A microbacia raleada foi a que proporcionou a maior produtividade de biomassa total, contudo, mais estudos são necessários para analisar o comportamento das produtividades destes manejos ao longo do tempo e submetidos ao pastejo.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, F. D. R. **Uso de análise e sistemas de informações geográficas no estudo de pequenas propriedades agrícolas**. 2005. 252f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

AGOSTINHO, F. D. R. **Estudo da sustentabilidade dos sistemas de produção agropecuários da bacia hidrográfica dos rios mogi-guaçu e pardo através da análise emergética**. 2009. 230f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

AGOSTINHO, F.; AMBRÓSIO, L. A.; ORTEGA, E. Assessment of a large watershed in Brazil using emergy evaluation and geographical information system, **Ecological Modelling**, v. 221, p. 1209-1220, 2010.

AGOSTINHO, F.; DINIZ, G.; SICHE, R.; ORTEGA, E. The use of emergy assessment and the geographical information system in the diagnosis of small family farms in Brazil. **Ecological Modelling**, v. 210, p. 37-57, 2008.

ALCOFORADO FILHO, F. G.; SAMPAIO, E. V. S. B.; RODAL, M. J. N. 2003. Florística e fitossociologia de um remanescente de vegetação caducifólia espinhosa arbórea em Caruaru, Pernambuco. **Acta Botanica Brasilica**, v.17, n.2, p.287-303, 2003.

ALAM, S.; FATIMA, A.; BUTT, M. S.; Sustainable development in Pakistan in the context of energy consumption demand and environmental degradation. **Journal of Asian Economics**, v. 18, p. 825-837, 2007.

ALMEIDA, C. M. V. B.; BARRELA, F. A.; GIANNETTI, B. F. Emergetic ternary diagrams: Five examples for application in environmental accounting for decision-making. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, p. 63-74, 2007.

ALMEIDA, C. M. V. B.; RODRIGUES, A. J. M.; BONILLA, S. H.; GIANNETTI, B. F. Emergy as a tool for ecodesign: evaluating materials selection for beverage packages in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, p. 32-43, 2010.

ALVES, J. A. A.: Geoeecologia da caatinga no semi-árido do Nordeste brasileiro. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, v. 2, n. 1, p. 58-71, 2007.

ALVES, N. N. L. **Caracterização de micro-bacia hidrográfica experimental no semiárido brasileiro como suporte a estudos da degradação**. 2008. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga de Seridó, RN, Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, v. 19, n. 3, p. 615-623, 2005.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2nd Edition. CAB Internacional, Oxon, 1993, 221p.

ANDRADE, E. C. R.; SALIN, T. C.; LINARES, C. R. A.; SAMPAIO, R. L. M. Consórcios agroflorestais como garantia da biodiversidade e sustentabilidade ambiental para a agricultura familiar: o caso do sítio Nova Canaã. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 2851-2854, 2009.

ANDRADE, L. A. et al. Análise de cobertura de duas fitofisionomias de Caatinga, com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, estado da Paraíba. **Cerne**, v. 11, n. 3, p. 256-262, 2005.

ARAÚJO FILHO, J. A. Caatinga: agroecologia versus desertificação. **Ciência Hoje**, v. 30, n. 180, p. 44-45, 2002.

ARAÚJO FILHO, J. A.; CARVALHO, F. C.; GARCIA, R.; SOUSA, R. A. Efeitos da manipulação da vegetação lenhosa sobre a produção e compartimentalização da fitomassapastável de uma caatinga sucessional. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 1, p. 11-19, 2002.

ARAÚJO FILHO, J. A. **Manipulação da vegetação lenhosa da Caatinga para fins pastoris**. Sobral: Embrapa (Circular Técnica do Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos, 11). 1992. 18 p.

ARAÚJO, F.S.; RODAL, M.J.N; BARBOSA, M.R.V & MARTINS, F.R. Repartição da flora lenhosa no domínio da Caatinga. In: ARAÚJO, F. S.; RODAL, M. J. N.; BARBOSA, M. R. V. **Análise das variações da biodiversidade do bioma Caatinga: suporte e estratégias regionais de conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005, cap. 1, p. 17-36.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis**. 15. ed. Virginia: Arlington. D. C., 1990. v. 1. 1117 p.

BAKSHI, B. R. A thermodynamic framework for ecologically conscious process systems engineering. **Computers and Chemical Engineering**, v. 26, p. 269-282, 2002.

BARROS, I.; BLAZY, J. M.; RODRIGUES, G. S.; TOURNEBIZE, R.; CINNA, J. P. Emergy evaluation and economic performance of banana cropping systems in Guadeloupe (French West Indies). **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 129, p. 437-449, 2009.

BASTIANONI, S.; FACCHINI, A.; SUSANI, L.; TIEZZI, E. Emergy as a function of exergy. **Energy**, v. 32, p. 1158-1162, 2007.

BASTIANONI, S.; MARCHETTINI, N.; PANZIERI, C.; TIEZZI, E. Sustainability assessment of farm in the Chianti area (Italy). **Journal of Cleaner Production**, v. 9, p. 365-373, 2001.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006, 625 p.

BERTOL I.; GUADAGNIN, J. C.; CASSOL, P. C.; AMARAL, A.J.; BARBOSA, F. T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 485-494, 2004.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J. C.; AMARAL, A. J. Aspestos financeiros relacionados as perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, p. 133-142, 2007.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 1999. 335p.

BEZERRA, N. F. Água no semiárido nordestino: experiências e desafios. In: Fundação Konrad Adenauer. **Água e desenvolvimento sustentável no semiárido**. Fortaleza, 2002, p. 35-51.

BONILLA, S. H.; GUARNETTI, R. L.; ALMEIDA, C. M. V. B.; GIANNETTI, B. F. Sustainability assessment of a giant bamboo plantation in Brazil: exploring the influence of labour, time and space. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, p. 83-91, 2010.

BOTREL, M. A.; ALVIM, M. J.; XAVIER, D. F. Avaliação de Gramíneas Forrageiras na Região Sul de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n. 4, p. 683-689, 1999.

BROWN, M. T.; ULGIATI, S. Emergy evaluations as an environmental loading of electricity production systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 10, p. 321-334, 2002.

BROWN, M. T.; ULGIATI, S. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. **Ecological Engineering**, v. 69, p. 51-69, 1997.

BROWN, M.T., ULGIATI, S. Emergy Analysis and Environmental Accounting. **Encyclopedia of Energy**, v. 2, p. 329-354, 2004.

BROWN, M.T.; BRADI, E. **Handbook of Emergy Evaluation**: a compendium of data for emergy computation issued in a series of folios; Folio #3: emergy of ecosystems. Gainesville, F.I., Center for Environmental Policy, University of Florida. 94p. 2001.

CAMPANHA, M. M.; SANTOS, R. H. S.; FREITAS, G. B.; MARTINEZ, H. E. P.; BOTERO, C. J.; GARCIA, S. L. Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arábica* L.) cultivados em sistema agroflorestal em monocultura, na zona da mata, MG. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, p. 805-812, 2007.

CAMPBELL, D. E., BRANDT-WILLIAMS, S. L., MEISCH, M. E. A. **Environmental Accounting Using Emergy**: Evaluation of the State of West Virginia. EPA-600/R-05/006. US EPA, Office of Research and Development, Washington, DC. 2005.

CAMPBELL, D. E.; Emergy analysis of human carrying capacity and regional sustainability: An example using the state of Maine. (Appendix). **Environmental Monitoring Assessment**, v. 51, P. 531-569, 1998.

CAMPBELL, D. E. Proposal for including what is valuable to ecosystems in environmental assessments. **Environmental Science and Thecnology**, v. 35, p. 2867-2873, 2001.

CAMPO, J.; ANDREU, V.; GIMENO-GARCÍA, E.; GONZÁLEZ, O.; RUBIO, J. L.; Occurrence of soil erosion after repeated experimental fires in a Mediterranean environment. **Geomorphology**. v. 82, p. 367-387, 2006.

CAMPOS, A. T.; CAMPOS, A. T. Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agroecossistemas. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, p. 1977-1985, 2004.

CANAFÍSTULA, F. J. F.; TEIXEIRA, A. S.; SANTOS, C. C.; ALVES, N. N.; NUNES FILHO, J. L. N.; DAHER, S. Development and application of an automatic hidrological

station for monitoring first and second order watersheds. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 37, 2008, Foz do Iguaçu – PR. **Anais...** Porto Alegre – RS: SBEA, 2008.

CAPOBIANCO, J. P. R.; OLIVEIRA, J. A. P. (Orgs.). **Meio ambiente Brasil: avanços e obstáculos pós-Rio-92.** Estação Liberdade/Instituto Socioambiental/Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2002, p. 117-155.

CARDOSO, E. L.; CRISPIM, S. M. A.; RODRIGUES, C. A. G.; BARIONI JÚNIOR, W. Efeitos da queima na dinâmica da biomassa aérea de um campo nativo no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.6, p.747-752, 2003.

CARVALHO, A. J. E.; OLIVEIRA, C. R. **Avaliação do estoque lenhoso: inventário florestal do estado do Ceará.** Fortaleza, Projeto PNUD / FAO / IBAMA / SDU / SEMACE, 1993. 61 p. (Documento de Campo 26).

CARVALHO, A. J. E.; ZÁKIA, M. J. B. **Avaliação do estoque madeireiro: etapa final - inventário florestal do estado do Rio Grande do Norte.** Natal, PNUD / FAO / IBAMA / Governo do Rio Grande do Norte, 1993. 85 p. (Documento de Campo 13).

CARVALHO, D. F. et al. Perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 385-389, 2002.

CARVALHO, G. H.; CARVALHO, M. L. R.; LEITE, C. R.; NERI, A. F. O.; CAVALCANTI, J. C.; ALMEIDA, J. C. B. **Contribuição para a determinação da potencialidade madeireira da bacia do São Francisco: estado da Bahia.** Recife, SUDENE, 1979. 85 p. (Recursos Vegetais 8).

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática.** Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2008. 326p.

CARVALHO, R.; SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C.; CURI, N.; SOUZA, F. S. Erosão hídrica em latossolo vermelho sob diversos sistemas de manejo do cafeeiro no sul de Minas Gerais. **Ciência Agrotécnica**, v. 31, n.6, p. 1679-1687, 2007.

CASSOL, E. A.; LIMA, V. S. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.1, p.117-124, 2003.

CASTOLDI, N.; BECHINI, L. Integrated sustainability assessment of cropping systems with agro-ecological and economic indicators northern Italy. **European Journal of Agronomy**, v. 32, p. 59-72, 2010.

CAVALCANTI, A. D. C.; RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B.; COSTA, K. C. C. Mudanças florísticas e estruturais, após cinco anos, em uma comunidade de caatinga no estado de Pernambuco, Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, v. 23, n. 4, p. 1210-1212, 2009.

CAVALETT, O. C. **Análise emergética da piscicultura integrada à criação de suínos e de pesquepagues**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). 2004. 140 f. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CAVALETT, O.; ORTEGA, E. Emergy, nutrients balance, and economic assessment of the production and industrialization in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, p. 762-771, 2009.

CAVALETT, O.; ORTEGA, E. Integrated environmental assessment of biodiesel production from soybean in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, p. 55-70, 2010.

CAVALETT, O.; QUEIROZ, J. F.; ORTEGA, E. Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. **Ecological Modelling**, v. 193, 205-224, 2006.

CHEN, B.; CHEN, Z. M.; ZHOU, J. B.; CHEN, G. Q. Emergy as embodied energy based assessment for local sustainability of a constructed wetland in Beijing. **Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation**, v. 14, p. 622-635, 2009.

CHEN, B.; CHEN; G. Q. Emergy-based energy and material metabolism of the Yellow River basin. **Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation**, v. 14, p. 923-934, 2009.

CHEN, L.; WANG, J.; FU, B.; QIU, Y. Land use change in a small catchment of northern Loess Plateau, China. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, v. 86, p. 163-172, 2001.

CLINCH, R. L.; THEVATHASAN, N. V.; GORDON, A. M.; VOLK, T. A.; SIDDEERS, D. Biofiscal interactions in short rotation willow intercropping system in southern Ontario, Canada. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 131, p. 61-69, 2009.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declividade e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27, p. 743-753, 2003.

COHEN, M. J.; BROWN, M. T.; SHEPHERD, K. D. Estimating the environmental cost of soil erosion at multiple scales in Kenya usando emergy synthesis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 114, p. 249-269, 2006.

COMAR, M.V. **Avaliação emergética de projetos agrícolas e agro-industriais no Alto Rio Pardo: a busca do Desenvolvimento Sustentável**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). 1998. 197 f. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

COPPOLA, F.; BASTIANONI, S.; OSTERGARD, H. Sustainability of bioethanol production from wheat with recycled residues as evaluated by emergy assessment. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, p. 1626-1642, 2009.

COSTA, T. C. C.; ACCIOLY, L. J. O.; OLIVEIRA, M. A. J.; BURGOS, N.; SILVA, F. H. B. Mapeamento da fitomassa da caatinga no núcleo de desertificação do seridó, pelo índice de área de planta (IAP) e o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), obtido com dados do sensor landsat 7 TM. **Anais... X SBSR, Foz do Iguaçu, 2001, INPE**, p. 1563-1573. Disponível em:

<<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.24.09.09/doc/1563.1573.088.pdf>>.

Acesso em: 10 maio 2010.

COSTA, T. C. C.; ACCIOLY, L. J. O.; OLIVEIRA, M. A. J.; BURGOS, N.; SILVA, F. H. B. B. Phytomass mapping of the “seridó caatinga” vegetation by the plant area and the normalized difference vegetation indices. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 4, p. 707-715, 2002.

CRUZ, T. M. L.; TEIXEIRA, A. S.; CANAFÍSTOLA, F. J. F.; SANTOS, C. C.; NUNES FILHO, J. L. N.; MESQUITA, P. E. G. Ensaio de um sensor capacitivo como medidor de nível de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36, 2007, Bonito – MS. **Anais... Porto Alegre – RS: SBEA, 2007**.

DIEMONT, S. A. W.; MARTIN, J. F.; TACHER, S. I. L.; NIGH, R. B.; LOPEZ, P. R.; GOLLICHER, D. Lacandon Maya forest management: restoration of the fertility using native tree species. **Ecological Engineering**, v. 28, p. 205-212, 2006.

DONG, X.; ULGIATI, S.; YAN, M.; ZHANG, X.; GAO, W. Energy and emergy evaluation of bioethanol production from wheat in Henan Province, China. **Energy Policy**, v. 36, p. 3882-3892, 2008.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **La erosión del suelo por El agua: algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo.** Roma, 1967. 207p.

FATH, B. D.; PATTEN, B. C.; CHOI, J. S. Complementarity of Ecological Goal Functions. **Journal of Theoretical Biology**, v. 208, p. 493-506, 2001.

FELFILI, J. M.; CARVALHO, F. A.; HAIDAR, R. F. **Manual para monitoramento de parcelas permanentes nos biomas Cerrado e Pantanal.** Brasília, 2005, 51 p.

FIGUEIRÔA, J. M.; PAREYN, F. G. C.; ARAÚJO, E. L.; SILVA, C. E.; SANTOS, V. F.; CUTLER, D. F.; BARACAT, A.; GASSON, P. Effects of cutting regimes in the dry and wet season on survival and sprouting of woody species from the semi-arid caatinga of northeast Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 229, p. 294-303, 2006.

FRANCA-ROCHA, W. et al. Levantamento da cobertura vegetal e do uso do solo do Bioma Caatinga. In: **Anais... XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2629-2636.

FRANCESCATTO, G. AGOSTINHO, F.; NACHTIGALL, G. R.; NOBRE JR., A. A.; ORTEGA, E. Energy and economic diagnosis of Apple production system in south of Brazil. In: **Proceedings of 5th Biennial Energy Conference**, Gainesville, FL, USA, 2008.

FREITAS, F. J.; CANTALICE, J. R. B.; BEZERRA, S. A.; SILVA, M. D. R. O.; SANTOS, P. M.; CORREA, R. M.; LIMA, P. A.; FIGUEIRA, S. B. Erosão em entressulcos sob caatinga e culturas agrícolas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1743-1751, 2008.

FUNCEME, Séries pluviométricas do posto Iguatu-CE (1974 – 2009). Disponível em: <<http://www.funceme.br/>>. Acesso em: 20 set. 2010.

GAFUR, A.; JENSEN, J. R.; BORGGAARD, O. K.; PETERSEN, L. Runoff and losses of soil and nutrients from small watersheds under shifting cultivation (Jhum) in the Chittagong Hill Tracts of Bangladesh. **Journal of Hydrology**, v. 274, p. 30-46, 2003.

GALAN, M. B.; PESCHARD, D.; BOIZARD, H. ISO 14001 at the farm level: analysis of five methods for evaluating the environmental impact of agricultural practices. **Journal of Environmental Management**, v. 82, p. 341-352, 2007.

GARCÍA-RUIZ, J. M.; REGÜÉS, D.; ALVERA, B.; LANA-RENAULT, N.; SERRANO-MUELA, P.; NADAL-ROMERO, E.; NAVAS, A.; LATRON, LATRON, J.; MARTÍ-BONO,

C.; ARNÁEZ, J. Flood generation and sediment transport in experimental catchments affected by land use changes in the central Pyrenees. **Journal of Hydrology**, v. 356, p. 245-260, 2008.

GHINI, R.; BETTIOL, W. Proteção de plantas na agricultura sustentável. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v. 17, n. 1, p.61-70, 2000.

GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B.; BONILLA, S. H. Comparing emergy accounting with well-known sustainability metrics: The case of Southern Cone Common Market, Mercosur. **Energy Policy**, v.38, p. 3518-3526, 2010.

GIANNETTI, B. F.; BARRELLA, F. A.; ALMEIDA, C. M. V. B. A combined tool for environmental scientists and decision makers: ternary diagrams and emergy accounting. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, p. 201-210, 2006.

GIMENO-GARCÍA, E.; ANDREU, V.; RUBIO, J. L. Influence of vegetation recovery on water erosion at short and medium-term after experimental fires in a Mediterranean shrubland. **Catena**, v. 69, p. 150-160, 2007.

GÓMEZ-LIMÓN, J. A.; RIESGO, L. Alternative approaches to the construction of a composite indicator of agricultural sustainability: an application to irrigated agriculture in the Duero basin in Spain. **Journal of Environmental Management**, v. 90 p. 3345-3362, 2009.

GORDON, N. D.; MCMAHON, T. A.; FINLAYSON, B. L. **Stream Hydrology and Introduction for Ecologists**. John Wiley & Sons Ltd, England, 1992, 526 p.

HAY, J. D.; HENRIQUES, R. P. B.; COSTA, S. R. A. Uma avaliação preliminar da possibilidade de usar equações de regressão para estimativas da biomassa da restinga. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 5, p. 33-36, 1982.

HERNANI, L. C. et al. A erosão e seu impacto. In: MANZATTO, C. V.; JUNIOR, E. F.; PERES, J. R. R. (Ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 174 p.

HUANG, S. L.; LAI, H. Y.; LEE, C. L. Emergy hierarchy and urban landscape system. **Landscape and Urban Planning**, v. 53, p. 145-161, 2001.

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Perfil básico municipal. Iguatu. 2004.

INÁCIO, E. S. B.; CANTALICE³, J. R. B.; NACIF, P. G. S.; ARAUJO, Q. R.; BARRETO, A. C. Quantificação da erosão em pastagem com diferentes declives na microbacia do Ribeirão Salomea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 355–360, 2007.

JORGENSEN, E. J.; AGUIAR, A.; PEREIRA, O. J.; MATLOCK, W. G. **Energy production and use by agriculture in two áreas of northeast Brazil**. Department of Agricultural Economics: University of Arizona, 1983, 68p.

KANG, D.; PARK, S. S. Emergy evaluation perspectives of a multipurpose dam proposal in Korea. **Journal of Environmental Management**, v. 66, p. 293-306, 2002.

KASSAS, M. Desertification: a general review. **Journal of Arid Environments**, v. 30, p. 115-128, 1995.

KAUFFMAN, J. B.; SANFORD JR., R. L.; CUMMINGS, D. L.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forests. **Ecology**, v. 74, n. 1, p. 140-151, 1993.

KETTERINGS, Q. M.; COE, R.; NOORDWIJK, M.; AMBAGAU, Y.; PALM, C. A. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. **Forest Ecology and Management**, v. 146, p. 199-209, 2001.

KETTERINGS, Q. M.; NOORDWIJK, M. V.; BIGHAM, J. M. Soil phosphorus availability after slash-and-fires of different intensities in rubber agroforest in Sumatra, Indonesia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 92, p. 37-48, 2002.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. Fondo de cultura Econômica. México, 1948, 479 p.

KYDD, J.; PEARCE, R.; STOCKBRIDGE, M. The economic analysis of commodity systems: extending the policy analysis matrix to account for environmental effects and transactions cost. **Agricultural Systems**, v. 55, n. 2, p. 323-345, 1997.

LAURANCE, W. F.; FEARNside, P. M.; LAURANCE, S. G.; DELAMONICA, P.; LOVEJOY, T. E.; MERONA, J. M. R.; CHAMBERS, J. Q.; GASCON, C. Relationship between soils and Amazon Forest biomass: a landscape-scale study. **Forest Ecology and Management**, v. 118, p. 127-138, 1999.

- LAL, R. **Soil Erosion: Research Methods**. Soil and Water Conservation Society and St. Lucie Press, Florida, 1994, 340 p.
- LEAL, I. R.; SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; LACHER JR, T. E. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. *Conservação Internacional do Brasil* (ed.). **Megadiversidade**, v. 1, p. 139-146, 2005. Disponível em: <http://conservation.org.br/publicacoes/files/19_Leal_et_al.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2010.
- LEI, K.; WANG, Z. Emergy syntesis and simulation for Macao. **Energy**, v. 33, p. 613-625, 2008.
- LI, L.; LU, H.; CAMPBELL, D. E. ; REN, H. Emergy algebra: Improving matrix methods for calculating transformities. **Ecological Modelling**, v. 221, p. 411-422, 2010.
- LIMA, C. G. F. 1984. **Determinação da fitomassa disponível ao acesso animal em caatinga pastejada**: região de Ouricuri. 1984. 244 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1984.
- LIMA NETO, I. E.; WIEGAND, M. C.; ARAÚJO, J. C. Sediment redistribution due to a dense reservoir network in a large semiarid Brazilian basin. **Hydrological Sciences Journal**, v. 56, n. 2, p. 319-333, 2011.
- LIMA, P. C. F.; OLIVEIRA, E. B.; MACHADO, S. A. Equações para estimativa da biomassa de espécies de *Prosopis* no semi-árido brasileiro. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 32/33, n. 1, p. 67-79, 1996.
- LINHARES, C. A.; PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. Relação entre volume de madeira e índice de área foliar em um povoamento de *Pinus* spp.: estudo de caso. **Revista Árvore**, v. 24, p. 47-54, 2000.
- LIU, X.; CHEN, B. Efficiency and sustainability analysis of grain production in Jiangsu and shaanxi Provinces of China. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, p. 313-322, 2007.
- LOBATO, F. A. O. **Perdas de solo e nutrientes por erosão hídrica para diferentes alturas pluviométricas em área de Caatinga do Ceará**. 2008. 56f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- LOPES, J. F. B. **Deposição e decomposição de serapilheira em área da caatinga cearense**. 43p. 2008. Monografia (Curso de Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

LU, H. F.; CAMPBELL, D. E.; LI, A. Z.; REN, H. Emergy synthesis of an agro-forest restoration system in lower subtropical China. **Ecological Engineering**, v. 27, p. 175-192, 2006.

LU, H. F.; KANG, W. L.; CAMPBELL, D. E.; REN, H.; TAN, Y. W.; FENG, R. X.; LUO, J. T.; CHEN, F. P. Emergy and economic evaluations of four fruit production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. **Ecological Engineering**, v. 35, p. 1743-1757, 2009.

MAIA, G. B. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. São Paulo: Leitura e Arte Editora, 2004. 413p. a

MAIA, S. M. F. **Compartimentos da matéria orgânica e perdas de solo e água em sistemas agroflorestais e convencional no trópico semi-árido cearense**. 2004. 98f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Ceará, Fortaleza, 2004. b

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p. 837-848, 2006.

MAMEDE, M. A.; ARAÚJO, F. S. Effects of slash and burn practices on seed bank of caatinga vegetation in Northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 72, p. 458-470, 2008.

MAOSOLFF, C.; FARBER, S. An economic analysis of ecological agricultural technologies among peasant farmers in Honduras. **Ecological Economics**, v. 12, p. 237-248, 1995.

MARTIN, J. F.; DIEMONT, S. A. W.; POWELL, E.; STANTON, M.; LEVY-TACHER, S. Emergy evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with different scales and management. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 115, p. 128-140, 2006.

MIN-Ministério da Integração Nacional: Secretaria de Políticas e Desenvolvimento Regional. Nova delimitação do semi-árido brasileiro. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/desenvolvimentoregional/publicacoes/delimitacao.asp>>. Acesso em: 20 maio 2010.

MUGABE, F. T.; HODNETT, M.; SENZANJE, A. Comparative hydrological behavior of two small catchments in semi-arid Zimbabwe. **Journal of Arid Environments**, v. 69, p. 599-616, 2007.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1974. 547 p

NORTHUP, B. K.; ZITZER, S. F.; MCMURTRY, C. R.; BOUTTON, T. W. Aboveground biomass and carbon and nitrogen content of wood species in a subtropical thornscrub parkland. **Journal of Arid Environments**, v. 62, n. 1, p. 23-43, 2005.

NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO FILHO, A. F.; MENEZES, R. I. Q. Recolonização da fauna edáfica em áreas de caatinga submetidas a queimadas. **Caatinga**, v. 21, n. 3, p. 214-220, 2008.

ODUM, H.T. An Energy Hierarchy Law for Biogeochemical Cycles. In: **Emergy Synthesis**, ed. by M.T. Bown, Gainesville: Center for Environmental Policy. Univ. of Florida, p. 235-247. 2001.

ODUM, H. T. **Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making**, New York, John Wiley & Sons Inc. 1996, 370 p.

ODUM, H. T. **Handbook of emergy evaluation: a compendium of data for emergy computation issued in a series of folios; Folio #2: Emergy of global processes**. Center for environmental policy. Gainesville [FL]: University of Florida. 30p. 2000b.

ODUM, H. T. Self-organization, transformity and information. **Science**, v. 9, p. 242-1132, 1988.

ODUM, H. T. **Systems ecology: an introduction**. Wiley-Interscience, Nova Iorque. 1983, 644 p.

ODUM, H. T.; ARDING, J. E. Emergy Analysis of Shrimp Mariculture in Ecuador. **Working paper**. Environmental Engineering Sciences and Center for wetlands, University of Florida, Gainesville, Flórida. 1991. 114 p.

ODUM, H.T. **Environment, power, and society**. Wiley-Interscience, Nova Iorque. 1971, 336 p.

ODUM, H.T.; BROWN, M.T.; BRANDT-WILLIAMS, S.; **Handbook of emergy evaluation**: a compendium of data for emergy computation issued in a series of folios; Folio #1: Introduction and global budget. Center for environmental policy. Gainesville [FL]: University of Florida. 16p. 2000a.

OLIVEIRA, J. R.; PINTO, M. F.; SOUZA, W. J.; GUERRA, J. G. M.; CARVALHO, D. F. Erosão hídrica em um argissolo vermelho-amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 140-147, 2010.

OMETTO, A. R.; RAMOS, P. A. R.; LOMBARDI, G. The benefits of a brazilian agro-industrial symbiosis system and the strategies to make it happen. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, p. 1253-1258, 2007.

ONDA, Y.; DIETRICH, W. E.; BOOKER, F. Evolution of overland flow after a severe forest fire, Point Reyes, California. **Catena**, v. 72, p. 13-20, 2008.

ORTEGA, E. Contabilidade e diagnóstico de sistemas usando os valores dos recursos expressos em emergy. Campinas. 2002a. Disponível em: <<http://www.unicamp.br/fea/ortega/extensao/resumo.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2011.

ORTEGA, E. et al. **Manual de cálculo de emergy**. 2002b. Disponível em: <<http://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/manual.htm>>. Acesso em: 05 abr. 2010.

ORTEGA, E.; CAVALETT, O.; BONIFÁCIO, R. WATANABE, M. Brazilian soybean production: emergy analysis with and expanded scope. **Bulletin of Science, Technology & Society**, v. 25, 323-334, 2005.

PALÁCIO, H. A. Q. **Índice de qualidade das águas na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu Ceará**. 2004. 96 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

PEREIRA FILHO, J. M.; ARAÚJO FILHO, J. A.; CARVALHO, F. C.; REGO, M. C. Disponibilidade de fitomassa do estrato herbáceo de uma caatinga raleada submetida ao pastejo alternado ovino-caprino. **Livestock Research for Rural Development**, v.19, n.1, 2007.

PEREIRA, C. L. F.; ORTEGA, E. Sustainability assessment of large-scale ethanol production from sugarcane. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, p. 77-82, 2010.

RODRIGUES, E. R.; JÚNIOR, L. C.; MOSCOGLIATO, A. V.; BELTRAME, T. B. O uso do sistema agroflorestal taungya na restauração de reservas legais: indicadores econômicos. **Revista Floresta**, v. 38, n. 3, p. 517-525, 2008.

RODRIGUES, J. O. **Uso da terra e a resposta hidrossedimentológica em pequenas bacias hidrográficas semiáridas**. 2009. 129f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

RODRIGUEZ, G.R.; BROWN, M.T.; ODUM, H.T.; Sameframe . Sustainability Assessment Methodology Framework. In: **Proceedings** of III Internacional Workshop Advances in Energy Studies: reconsidering the importance of energy. September, 24-28, Porto Enere, Italy, p.605-612. 2002.

ROSA, A. D. L.; SIRACUSA, G.; CAVALLARO, R. Emery evaluation of Sicilian red Orange production. A comparison between organic and conventional farming. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, p. 1907-1914, 2008.

SALIN, T. C.; ANDRADE, E. C. R.; MATOS, J. L. S. Agrofloresta e o Resgate da Biodiversidade: uma experiência de transição Agroecológica no Agreste Pernambucano. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 2101-2104, 2009.

SAMPAIO, E.; GASSON, P.; BARACAT, A.; CUTLER, D.; PAREYN, F. Tree biomass estimation in regenerating areas of tropical dry vegetation in northeast Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1135-1140, 2010.

SAMPAIO, E. V.; S. B.; SILVA, G. C. Biomass equations for brazilian semiarid caatinga plants. **Acta Botânica Brasileira**, v. 19, n. 4, p. 935-943, 2005.

SANTOS, A. M.; TABARELLI, M. Distance from roads and cities as a predictor of habitat loss and fragmentation in the Caatinga vegetation of Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 62, n. 4b, p. 897-905. 2002.

SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M.; SRINIVASAN, V. Análise das perdas de água e solo em diferentes coberturas superficiais no semi-árido da Paraíba. **Revista OKARA: Geografia em Debate**, v. 1, n. 1, p. 16-32, 2007.

SANTOS, J. C. N. **Erosão laminar em microbacia com cobertura herbácea no semi-árido cearense**. 71p. 2009b. Monografia (Curso de Tecnologia em Irrigação e Drenagem) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Iguatu, Iguatu.

SANTOS, L. L. Quantificação do escoamento superficial e erosão do solo em regiões semiáridas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, n. 1, p. 14-25, 2009a.

SARAIVA, E.M.R. **Efeitos da manipulação do estrato lenhoso sobre as características fitossociológicas do estrato herbáceo em um sítio ecológico do sertão cearense**. 1988. 46f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

SCHACHT, W. H.; MESQUITA, R. C. M.; MALECHEK, J. C.; KIRMSE, R. D. Response of caatinga vegetation to decreasing levels of canopy cover. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 24, n. 11, p. 1421-1426, 1989.

SCIUBBA, E.; BASTIANONI, S.; TIEZZI, E. Exergy and extended exergy accounting of very large complex systems with an application to the province of Siena, Italy. **Journal of Environmental Management**, v. 86, p. 372-382, 2008.

SHEUYANGE, A.; OBA, G. WELADJI, R. B. Effects of anthropogenic fire history on savanna vegetation in northeastern Namibia. **Journal of Environmental Management**, v. 75, p. 189-198, 2005.

SILVA, A. M.; Schulz, H. E.; Camargo, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: Rima, 2003, 140p.

SILVA, G. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Biomassas de partes aéreas em plantas da caatinga. **Revista Árvore**, v. 32, n. 3, p. 567-575, 2008.

SILVA, K. A.; ARAÚJO, E. L.; FERRAZ, E. M. N. Estudo florístico do componente herbáceo e relação com solos em áreas de caatinga do embasamento cristalino e bacia sedimentar, Petrolândia, PE, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v. 23, n. 1, p. 100-110, 2009.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; OLIVEIRA, R. B.; SOUZA, G. S.; SILVA, M. A. Análise espacial da erosão hídrica em um latossolo vermelho amarelo sob cultivo de café conilon. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 4, 2007.

SNYMAN, H. A.; PREEZ, C. C. Rangeland degradation in a semi-arid South Africa – II; influence on soli quality. **Journal of Arid Environments**, v. 60, p. 483-507, 2005.

SOUZA, A. M. **Análise emergética do assentamento fazenda ipanema: reforma agrária e desenvolvimento sustentável**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). 2006. 159 f. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SOUZA, A. M. **Sustentabilidade e viabilidade econômica de um projeto de microdestilaria de álcool combutível em um grupo de agricultores do assentamento gleba XV de Novembro**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). 2010. 116 f. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, C. A. G.; GALVÃO, C. O. Erosão hídrica do solo no Semi-árido brasileiro: a experiência na bacia experimental de Sumé. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 57-73, 2003.

STANCHEVA, J.; BENCHEVA, S.; PETKOVA, K.; PIRALKOV, V. Possibilities for agroforestry development in Bulgaria: outlooks and limitations. **Ecological Engineering**, v. 29, p. 382-387, 2007

SUDEC. **Levantamento de reconhecimento semidetalhado dos solos da Região dos Inhamuns - Salgado**. Parte I - Iguatu, Fortaleza, 1980, 192 p.

SUN, L.; NI, J.; BROTHWICK, A. G. L. Rapid assessment of sustainability in Mainland China. **Journal of Environmental Management**, v. 91, p. 1021-1031, 2010.

TAUSCH, R. J.; TUELLER, P. T. Comparison of regression methods for predicting singleleaf pinyon phytomass. **Great basin naturalist**, v. 48, p. 39-45, 1988.

THOMAZ, E. L. The influence of traditional steep land agricultural practices on runoff and soil loss. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 130, p. 23-30, 2009.

TILLEY, D. R.; BROWN, M. T. Dynamic emergy accounting for assessing the environmental benefits of subtropical wetland stormwater management systems. **Ecological Modelling**, v. 192, p. 327-361, 2006.

TILLEY, D. R.; SWANK, W. T. Emergy - based environmental systems assement of a multi-purpose temperate mixed-forest watershed of the southern Appalachian Mountains, USA. **Journal of Environmental Management**, v. 69, p. 213-227, 2003.

TRIGUEIRO, E. R. C.; OLIVEIRA, V. P. V.; BEZERRA, C. L. F. Indicadores biofísicos e a dinâmica da degradação?desertificação no bioma caatinga: estudo de caso no município de Tauá, Ceará. **Revista Eletrônica do Prodema**, v. 3, n. 1, p. 62-82, 2009.

TUBELLIS, A; NASCIMENTO, F.J.L. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1980. 374p.

ULGIATI, S.; BARGIGI, S.; RAUGEI, M. Na emergy evaluation of complexity, information and technology, towards maximum Power and zero emissions. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, p. 1359-1372, 2007.

ULGIATI, S.; ODUM, H.T.; BASTIANONI, S.; Emergy use, environmental loading and sustainability: an emergy analysis of Italy. **Ecological Modelling**, v.73, p.215-268. 1994.

VALE, A. T.; FIEDLER, N. C.; SILVA, G. F. Energetic evaluation of the biomass of “cerrado” in function of the diameter of the trees. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 2, p. 115-126, 2002.

VASSALLO, P.; PAOLI, C.; TILLEY, D. R.; FABIANO, M. Emergy and resource basis of na italian coastal resort region integrated using emergy synthesis. **Journal of Environmental Management**, v. 91, p. 277-289, 2009.

VERAS, V. S.; OLIVEIRA, M. E.; LACERDA, M. S. B.; CARVALHO, T. B.; ALVES, A. A. Produção de biomassa e estrutura do pasto de capim-andropogon em sistema silvipastoril e monocultura. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.62, n.1, p.200-207, 2010.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mcgraw-Hill do Brasil, 1975, 245 p.

WARREN, A. Sustainability: a view from the wind-eroded field. **Journal of Environmental Sciences**, v. 19, p. 470-474, 2007.

WEI, W.; CHEN, L.; FU, B.; HUANG, Z.; WU, D. The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China. **Journal of Hidrology**, v. 335, p. 247-258, 2007.

WISCHMEIER, W.H; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: **A guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1978. 58p. (Agricultural Handbook, 537).

World Commission on Environment and Development. **Our Common Future**. Oxford, New York. Oxford University Press. 1987.

XU, J. Precipitation–vegetation coupling and its influence on erosion on the Loess Plateau, China. **Catena**, v. 64, p. 103–116, 2005.

ZHANG, G.; LONG, W. A key review on emergy analysis and assessment of biomass resources for a sustainable future. **Energy Policy**, v. 38, p. 2948-2955, 2010.

ZHANG, X.; JIANG, W.; DENG, S.; PENG, K. Emergy evaluation of the sustainability of Chinese steel production during 1998-2004. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, p. 1030-1038, 2009.

ZHAO, H. -L.; ZHAO, X. -Y; ZHOU, R. -L; ZHANG, T. -H.; DRAKE, S. Desertification processes due to heavy grazing in sandy rangeland, Inner Mongolia. **Journal of Arid Environmentals**, v. 62, p. 309-319, 2005.

ZHEN, L.; ZOEBISCH, M. A.; CHEN, G.; FENG, Z. Sustainability of farmers' soil fertility management practices: a case study in the North China Plain. **Journal of Environmental Management**, v. 79, p. 409-419, 2006.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Notas de cálculo da tabela de avaliação emergética da caatinga não alterada (B2)

Nota	Descrição				
1	Sol, J				
	Insolação =	7777655,6	$\text{kJ m}^{-2} \text{ano}^{-1}$	Medido (INMET Iguatu)	
	Albedo =	17	(%)		
	Conversão =	1000	J kJ^{-1}		
	Conversão =	10000	$\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$		
	Energia (J) =	(insolação) x fator de conversão			
	Fator de conversão =	((100-albedo)/100) x (1000 J kJ^{-1}) x (10000 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$)			
	Fator de conversão =	8300000			
	Energia (J) =	6,455E+13	$\text{J ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$		
	2	Chuva, J			
Chuva =		941	mm ano^{-1}		Dados da pesquisa
Conversão =		10000	$\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$		
Conversão =		1	kg L^{-1}		
Energia da chuva =		5000	J kg^{-1}		
Energia(J) =		(chuva) * fator de conversão			
Fator de conversão =		(10000 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$)*(1 kg L^{-1})*(energia da chuva)			
Energia(J) =		(chuva)*(10000 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$)*(kg L^{-1})*(energia da chuva)			
Fator de conversão =		50000000			
Energia(J) =		4,705E+10	$\text{J ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$		
3	Vento, J				
	Velocidade do vento =	2,67	m s^{-1}	Medido (INMET Iguatu)	
	Vel. altura vegetação =	2,0986282	m s^{-1}		
	Conversão =	10000	$\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$		
	Conversão =	31400000	s ano^{-1}		
	Coeficiente de arraste=	0,001	adimensional		
	Densidade ar =	1,3	kg m^{-3}		RODRIGUES et al, 2002
	Energia (J) =	(veloc. Alt. vegetação) * coef. arraste * fator de conversão			
	Fator de conversão =	(1000 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) * (31400000 s ano^{-1}) * (1,3 kg m^{-3})			
	Energia(J) =	(veloc. alt. vegetação) * (coef. de arraste) * (10000 m^2/ha) * (31400000 s ano^{-1}) * (1,3 kg m^{-3})			
Fator de conversão =	4,082E+11				
Energia(J) =	856660047	$\text{J ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$			

4	Produção de sedimentos, J			
	Perda de solo =	167,8	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹	Dados da pesquisa
	Matéria orgânica =	0,0253	kg matéria orgânica / kg de solo	Dados da pesquisa
	Energia da matéria orgânica =	5400	Kcal kg ⁻¹	RODRIGUES et al, 2002
	Conversão =	4186	J kcal ⁻¹	
	Fator de conversão =	(5400 kcal kg ⁻¹) * (4186 J kcal ⁻¹)		
	Energia(J) =	(perda de solo) * (teor de matéria orgânica) * fator de conversão		
	Fator de conversão =	22604400		
	Energia(J) =	95963363	J ha ⁻¹ ano ⁻¹	
5	Escoamento superficial, J			
	Lâmina escoada =	15,124	mm	Dados da pesquisa
	Conversão =	10000	m ² ha ⁻¹	
	Conversão =	1	kg L ⁻¹	
	Energia da chuva =	5000	J kg ⁻¹	
	Energia(J) =	(lâmina escoada) * fator de conversão		
	Fator de conversão =	(10000 m ² ha ⁻¹)*(1 kg L ⁻¹)*(energia da chuva)		
	Energia(J) =	(lâmina escoada)*(10000 m ² ha ⁻¹)*(1 kg L ⁻¹)*(energia da chuva)		
	Fator de conversão =	50000000		
	Energia(J) =	756200000	J ha ⁻¹ ano ⁻¹	
6	Infiltração, J			
	Infiltração	37,468	mm ano ⁻¹	
	Conversão =	10000	m ² ha ⁻¹	
	Conversão =	1	kg/L	
	Energia da chuva =	5000	J/kg	
	Energia(J) =	(percolação) * fator de conversão		
	Fator de conversão =	(10000 m ² ha ⁻¹)*(1 kg L ⁻¹)*(energia da chuva)		
	Energia(J) =	(percolação)*(10000 m ² ha ⁻¹)*(1 kg L ⁻¹)*(energia da chuva)		
	Fator de conversão =	50000000		
	Energia(J) =	1,873E+09	J ha ⁻¹ ano ⁻¹	
7	Aumento de biomassa, J			
	Biomassa arbórea =	6249,6424	kg ha ⁻¹	Dados da pesquisa
	Biomassa herbácea =	1115,037	kg ha ⁻¹	Dados da pesquisa
	Energia da biomassa arbórea =	3316	kcal kg ⁻¹	Brand et al, 2009 e Dados da pesquisa
	Energia da biomassa herbácea =	3319,9742	kcal kg ⁻¹	Dados da pesquisa

$$\begin{aligned}
 \text{Convers\~{a}o} &= 4186 \quad \text{J kcal}^{-1} \\
 \text{Energia(J)} &= ((\text{biom. Arbo.} * \text{energia biom. Arb.}) + (\text{biom. Herba.} * \text{ener. Biom. Herb.})) * \text{fator de convers\~{a}o} \\
 \text{Fator de convers\~{a}o} &= (4186 \text{ J/kcal}) \\
 \text{Energia(J)} &= ((\text{Biom. Arbo.} * \text{energia biom. Arb.}) + (\text{herb.} * \text{ener. Biom. Herb.})) * (4186 \text{ J kcal}^{-1}) \\
 \text{Fator de convers\~{a}o} &= 4186 \\
 \text{Energia(J)} &= 1,022\text{E}+11 \quad \text{J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}
 \end{aligned}$$

APÊNDICE B - Notas de cálculo da tabela de avaliação emergética da caatinga raleada (B1)

Nota	Descrição		
1	Sol, J		
	Insolação =	7777656	$\text{kJ m}^{-2} \text{ano}^{-1}$
	Albedo =	16,1	(%)
	Conversão =	1000	J kJ^{-1}
	Conversão =	10000	$\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$
	Energia (J) =	(insolação) x fator de conversão	
	Fator de conversão =	((100-albedo)/100) x (1000 J kJ^{-1}) x (10000 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$)	
	Fator de conversão =	8390000	
	Energia (J) =	6,5E+13	$\text{J ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$
			Medido (INMET Iguatu) Estimado pelo Sebal
2	Chuva, J		
	Chuva =	941	mm ano^{-1}
	Conversão =	10000	$\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$
	Conversão =	1	kg L^{-1}
	Energia da chuva =	5000	J kg^{-1}
	Energia (J) =	(chuva) * fator de conversão	
	Fator de conversão =	(10000 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$)*(1 kg L^{-1})*(energia da chuva)	
	Energia (J) =	(chuva)*(10000 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$)*(1 kg L^{-1})*(energia da chuva)	
	Fator de conversão =	5E+07	
	Energia (J) =	4,7E+10	$\text{J ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$
			Medido no pluviógrafo das bacias
3	Vento, J		
	Velocidade vento média anual	2,67	m s^{-1}
	Velocidade altura vegetação	2,09863	m s^{-1}
	Conversão =	10000	$\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$
	Conversão =	3,1E+07	s ano^{-1}
	Coefficiente de arraste =	0,001	adimensional
	Densidade ar =	1,3	kg m^{-3}
	Energia (J) =	(veloc. Alt. vegetação) * coef. arraste * fator de conversão	
	Fator de conversão =	(1000 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) * (31400000 s ano^{-1}) * (1,3 kg m^{-3})	
	Energia(J) =	(veloc. Alt. vegetação) * (coef. de arraste) * (10000 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) * (31400000 s ano^{-1}) * (1,3 kg m^{-3})	
	Fator de conversão =	4,1E+11	
	Energia(J) =	8,6E+08	$\text{J ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$
			RODRIGUEZ et al, 2002

4 Produção de sedimentos, J

		kg ha ⁻¹	
Perda de solo =	42	ano ⁻¹	Dados da pesquisa
Matéria orgânica =	0,0203	kg matéria orgânica / kg de solo	Dados da pesquisa
Energia da matéria orgânica =	5400	kcal kg ⁻¹	RODRIGUEZ et al, 2002
Conversão =	4186	J kcal ⁻¹	
Fator de conversão =	(5400 kcal kg ⁻¹) * (4186 J kcal ⁻¹)		
Energia(J) =	(perda de solo) * (teor de matéria orgânica) * fator de conversão		
Fator de conversão =	2,3E+07		
Energia(J) =	1,9E+07	J ha ⁻¹ ano ⁻¹	

5 Serviços

Total de homem-dia			
=	4	dias trabalhados ano ⁻¹	
Conversão =	2500	kcal pessoa ⁻¹ dia ⁻¹	
Conversão =	4186	J kcal ⁻¹	
Energia (J) =	(homem-dia)*(fator de conversão)		
Fator de conversão =	(kcal pessoa ⁻¹ dia ⁻¹)*(J kcal ⁻¹)		
Energia (J) =	(homem-dia)*(kcal pessoa ⁻¹ dia ⁻¹)*(J kcal ⁻¹)		
Fator de conversão =	1E+07		
Energia (J) =	4,2E+07	J ha ⁻¹ ano ⁻¹	

6 Escoamento superficial, J

Lâmina escoada =	11,279	mm	Dados da pesquisa
Conversão =	10000	m ² ha ⁻¹	
Conversão =	1	kg L ⁻¹	
Energia da chuva =	5000	J/kg	
Energia(J) =	(lâmina escoada) * fator de conversão		
Fator de conversão =	(10000 m ² ha ⁻¹)*(1 kg L ⁻¹)*(energia da chuva)		
Energia(J) =	(lâmina escoada)*(10000 m ² ha ⁻¹)*(1 kg L ⁻¹)*(energia da chuva)		
Fator de conversão =	5E+07		
Energia(J) =	5,6E+08	J ha ⁻¹ ano ⁻¹	

7 Infiltração

Chuva =	14,2494	mm ano ⁻¹	14,2494 mm	Dados da pesquisa
Conversão =	10000	m ² ha ⁻¹		
Conversão =	1	kg L ⁻¹		

$$\begin{aligned} \text{Energia da chuva} &= 5000 \text{ J kg}^{-1} \\ \text{Energia(J)} &= (\text{percolação}) * \text{fator de conversão} \\ \text{Fator de conversão} &= (10000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}) * (1 \text{ kg L}^{-1}) * (\text{energia da chuva}) \\ \text{Energia(J)} &= (\text{percolação}) * (10000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}) * (1 \text{ kg L}^{-1}) * (\text{energia da chuva}) \\ \text{Fator de conversão} &= 5\text{E}+07 \\ \text{Energia(J)} &= 7,1\text{E}+08 \text{ J ha}^{-1} \text{ ano}^{-1} \end{aligned}$$

8 Aumento de biomassa

Aum. Biom. arbórea			Dados da pesquisa
=	7264,33	kg ha ⁻¹	Dados da pesquisa
Aum. Biom. herbácea			Dados da pesquisa
=	3554,8	kg ha ⁻¹	Brand et al, 2009 e dados da pesquisa
Energia da biom. arbórea			
=	3316	kcal kg ⁻¹	
Energia da biom. herbácea			
=	3341,11	kcal kg ⁻¹	
Conversão			
=	4186	J kcal ⁻¹	
Energia(J)	((biom. Arb.*energia biom. Arb.) + (biom. Herba.* ener. Biom. Herba.))		
	* fator de conversão		
Fator de conversão	= (4186 J kcal ⁻¹)		
Energia(J)	1,5E+11	J ha ⁻¹ ano ⁻¹	

APÊNDICE C - Notas de cálculo da tabela de avaliação energética do plantio com capim (B3)

Nota	Descrição				
1	Sol, J				
	Insolação =	7777656	$\text{kJ m}^{-2} \text{ano}^{-1}$	Medido (INMET Iguatu)	
	Albedo =	16,5	(%)		
	Conversão =	1000	J kJ^{-1}		
	Conversão =	10000	$\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$		
	Energia (J) =	(insolação) x fator de conversão			
	Fator de conversão =	((100-albedo)/100) x (1000 J kJ^{-1}) x (10000 m^2)			
	Fator de conversão =	8350000			
	Energia (J) =	6,49E+13	$\text{J ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$		
	2	Chuva, J			
Chuva =		941	mm ano^{-1}		
Conversão =		10000	$\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$		
Conversão =		1	kg L^{-1}		
Energia da chuva =		5000	J/kg		
Energia(J) =		(chuva) * fator de conversão			
Fator de conversão =		(10000 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$)*(1 kg L^{-1})*(energia da chuva)			
Energia(J) =		(chuva)*(10000 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$)*(1 kg L^{-1})*(energia da chuva)			
Fator de conversão =		50000000			
Energia(J) =		4,71E+10	$\text{J ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$		
3	Vento, J			Medido (INMET Iguatu)	
	Velocidade do vento méd. anual	2,67	m s^{-1}		
	Velocidade altura vegetação	1,826962	m s^{-1}		
	Conversão =	10000	$\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$		
	Conversão =	31400000	s ano^{-1}		
	Coefficiente de arraste =	0,001	Adimensional		
	Densidade ar =	1,3	kg m^{-3}		RODRIGUES et al, 2002
	Energia (J) =	(veloc. Alt. vegetação) * coef. arraste * fator de conversão			
	Fator de conversão =	(1000 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) * (31400000 s ano^{-1}) * (1,3 kg m^{-3})			
	Energia(J) =	(veloc. Alt. vegetação) * (coef. de arraste) * (10000 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) * (31400000 s ano^{-1}) * (1,3 kg/m^3)			
Fator de conversão =	4,08E+11				
Energia(J) =	7,46E+08	$\text{J ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$			
4	Produção de sedimentos, J				

Perda de solo =	3115	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹	Dados da pesquisa
Matéria orgânica =	0,0237	kg matéria orgânica / kg de solo	Dados da pesquisa
Energia da matéria orgânica =	5400	kcal kg ⁻¹	RODRIGUES et al, 2002
Conversão =	4186	J kcal ⁻¹	
Fator de conversão =	(5400 kcal kg ⁻¹) * (4186 J kcal ⁻¹)		
Energia(J) =	(perda de solo) * (teor de matéria orgânica) * fator de conversão		
Fator de conversão =	22604400		
Energia(J) =	1,67E+09	J ha ⁻¹ ano ⁻¹	

5 Serviços

Total de homen-dia =	13	dias trabalhados/ano
Conversão =	2500	kcal pessoa ⁻¹ dia ⁻¹
Conversão =	4186	J kcal ⁻¹
Energia (J) =	(homem-dia)*(fator de conversão)	
Fator de conversão =	(kcal pessoa ⁻¹ dia ⁻¹)*(J kcal ⁻¹)	
Energia (J) =	(homem-dia)*(kcal pessoa ⁻¹ dia ⁻¹)*(J kcal ⁻¹)	
Fator de conversão =	10465000	
Energia (J) =	1,36E+08	J ha ⁻¹ ano ⁻¹

6 Sementes

Quantidade =	30	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹	Dados da pesquisa
		kg MS ⁻¹	
Conversão =	0,95	kg ⁻¹	
Total =	28,5	kg MS	

7 Herbicida

Quantidade =	4,2	L ha ⁻¹ ano ⁻¹	Dados da pesquisa
Conversão =	1,17	kg L ⁻¹	
Total =	4,914		

8 Escoamento superficial, J

Lâmina escoada =	112,892	mm	Dados da bacia
Conversão =	10000	m ² ha ⁻¹	
Conversão =	1	kg L ⁻¹	
Energia da chuva =	5000	J kg ⁻¹	
Energia(J) =	(lâmina escoada) * fator de conversão		
Fator de conversão =	(10000m ² ha ⁻¹)*(1kg L ⁻¹)*(energia da chuva)		
Energia(J) =	(lâm. escoada)*(10000 m ² ha ⁻¹)*(1 kg L ⁻¹)*(energia da chuva)		
Fator de conversão =	50000000		
Energia(J) =	5,64E+09	J ha ⁻¹ ano ⁻¹	

9 Infiltração, JDados da
pesquisa

Infiltração =	81,1448	mm ano ⁻¹
Conversão =	10000	m ² ha ⁻¹
Conversão =	1	kg L ⁻¹
Energia da chuva =	5000	J kg ⁻¹
Energia(J) =	(percolação) * fator de conversão	
Fator de conversão =	(10000 m ² ha ⁻¹)*(1 kg L ⁻¹)*(energia da chuva)	
Energia(J) =	(percolação)*(10000 m ² ha ⁻¹)*(1 kg L ⁻¹)*(energia da chuva)	
Fator de conversão =	50000000	
Energia(J) =	4,06E+09	J ha ⁻¹ ano ⁻¹

10 Aumento de biomassa

Biom. Herbácea =	8513,151	kg ha ⁻¹
Energia da biom. herbácea =	3864,406	kcal kg ⁻¹
Conversão =	4186	J kcal ⁻¹
Energia(J) =	(Biom. Herba.* ener. Biom. Herba.) * fator de conversãc	
Fator de conversão =	(4186 J kcal ⁻¹)	
Energia(J) =	1,38E+11	J ha ⁻¹ ano ⁻¹
