



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
NÚCLEO DE ALTOS ESTUDOS AMAZÔNICOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO SUSTENTAVEL  
DO TRÓPICO ÚMIDO

RODRIGO DA CRUZ DE ARAUJO

EFEITOS DO DESMATAMENTO SOBRE O CICLO  
HIDROLÓGICO: uma comparação entre a Bacia do Rio Curua-Una e  
a Bacia do Rio Uraim

Belém  
2010

RODRIGO DA CRUZ DE ARAUJO

**EFEITOS DO DESMATAMENTO SOBRE O CICLO  
HIDROLÓGICO: uma comparação entre a Bacia do Rio Curua-Una e  
a Bacia do Rio Uraim**

Tese de doutorado apresentado ao Programa de Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido – PDTU, como requisito para a obtenção do grau de doutor em desenvolvimento sustentável.

Orientador: Dr. Marcos Ximenes Ponte

Belém  
2010

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)  
(Biblioteca do NAEA/UFPA)

---

Araújo, Rodrigo da Cruz de

Efeitos do desmatamento sobre o ciclo hidrológico: uma comparação entre a Bacia do Curua – Una e a Bacia do Rio Uraim / Rodrigo da Cruz de Araújo; Orientador, Marcos Ximenes Ponte. – 2010.

123 f.: il. ; 29 cm  
Inclui bibliografias

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, Belém, 2010.

1. Desmatamento – Paragominas (PA). 2. Ciclo hidrológico. 3. Desenvolvimento sustentável - Amazônia. 4. Bacia do Curua-Una (PA). 5. Bacia do Rio Uraim (PA). 6. Desmatamento – Santarém (PA). I. Ponte, Marcos Ximenes, orientador. II. Título.

---

CDD 21. ed. 333.7513098115

RODRIGO DA CRUZ DE ARAUJO

**EFEITOS DO DESMATAMENTO SOBRE O CICLO  
HIDROLÓGICO: uma comparação entre a Bacia do Rio Curua-Una e  
a Bacia do Rio Uraim**

Tese de doutorado apresentado ao Programa de Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido – PDTU, como requisito para a obtenção do grau de doutor em desenvolvimento sustentável.

Aprovada em:

Banca examinadora:

Prof. Dr. Marcos Ximenes Ponte  
Orientador – PPGDSTU/NAEA/UFPA

Prof. Dr. David Gibbs McGrath  
Examinador – PPGDSTU/NAEA/UFPA

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Norbert Fenzel  
Examinador – PPGDSTU/NAEA/UFPA

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Rosa Barganha Barp  
Examinadora – PPGE/ITEC/UFPA

Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes  
Examinador – PPGE/ITEC/UFPA

A todos os amigos e familiares que sempre torceram por mim, mas especialmente

Aos meus avós Armando e Ana e às tias Beth e Zezé, que por meio do seu amor foram sempre os maiores incentivadores que eu poderia ter, em qualquer coisa que eu me propusesse fazer,

Ao meu pai, pelo amor, incentivo e todo tipo de apoio,

À minha esposa Ussinha, amor da minha vida, companheira no mais completo sentido do termo, por todo amor e apoio,

À minha pequena Verinha, amor em forma de gente, receita de felicidade instantânea na minha vida,

À minha mãe, meu maior exemplo para sempre.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço especialmente ao professor Marcos Ximenes, por ter sido um orientador de fato, sempre acessível, atencioso, me proporcionando contínua aprendizagem e evolução, graças a uma capacidade ímpar de equilibrar as críticas e cobranças com os elogios e apoio.

Ao Sr. Manfredo Ximenes, responsável pelo primeiro contato com meu orientador, ou seja, ao momento que posso considerar o primeiro passo dessa caminhada.

À ELETRONORTE, na pessoa do Sr. Mario Pedreira, pela ajuda na obtenção dos dados primários da UHE Curua-Una.

À Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, nas pessoas dos Srs. Manfredo Ximenes e Marcelo, pela ajuda na obtenção dos dados hidrológicos necessários e na orientação quanto às técnicas de tratamento dos mesmos.

Ao amigo Osmar Guedes, pelo auxílio no trato com os mapas utilizados para levantamento do desmatamento das bacias.

Ao amigo Fabio Djan, pelo auxílio com as análises estatísticas.

Aos colegas da turma de doutorado do NAEA, pela agradável convivência, repleta de companheirismo e apoio mútuo nas horas de dificuldade.

Dentre eles, agradeço especialmente ao Danilo Araujo, pela oportunidade que me proporcionou logo no início do curso de entender melhor assuntos que me eram pouco afins, fato fundamental para que minha caminhada pudesse prosseguir e chegar ao final; e à Regina Brabo, pela amizade surgida e consolidada.

A todos os membros da banca, pela disponibilidade de aceitarem o convite apesar do curto prazo solicitado.

A todos os professores que tive durante o curso, pelos conhecimentos transmitidos e pela visão de áreas que me eram inteiramente novas e desafiadoras que me proporcionaram.

À coordenação do PDTU e do NAEA pela oportunidade.

## RESUMO

Este trabalho tem como foco a resposta das características hidrológicas (i.e. precipitação, vazão e evapotranspiração) ao desmatamento, para duas bacias de captação individuais, nas quais o processo de mudança da cobertura vegetal se encontra em níveis diferentes. Busca-se dessa forma ratificar os resultados apontados pela literatura, no sentido de que a partir de certo nível de desmatamento as respostas hidrológicas passam a se dar em função de interações atmosféricas locais e não locais. Foram então selecionadas duas bacias: do Curua-Una (micro-região de Santarém) e do Uraim (Paragominas). Tais bacias foram escolhidas por representarem exemplos de duas situações distintas no avanço do desmatamento. A primeira se encontra em um nível aproximado de 25%, enquanto a segunda bacia já experimentou desmatamento ainda mais significativo, na ordem de 65 %. Utilizando-se as séries históricas de dados foram realizadas para cada bacia análises estatísticas a fim de testar as diferenças hidrológicas entre dois períodos, representativos de situações distintas quanto ao desmatamento, ou seja, um momento mais preservado e um mais desmatado. Os resultados encontrados confirmam que, de fato, níveis de desflorestamento diferentes provocam respostas distintas nas características hidrológicas, ao apontar que para a bacia com menor nível de desmatamento 25% (i.e. Bacia do Curua-Una) não ocorre alteração significativa na precipitação, e ainda assim a descarga aumenta, ao passo que a área mais devastada (i.e Bacia do Uraim) apresenta redução da precipitação (na faixa de 25%) com conseqüente diminuição da vazão do canal. Tais resultados são especialmente relevantes por confirmarem com dados de campo que as hipóteses levantadas por diversas simulações de cenários futuros, na prática já estão ocorrendo, se não em um nível regional, pelo menos para uma área específica onde o nível de desmatamento é acentuado tanto em termos percentuais quanto de extensão total.

Palavras-chave: Desmatamento. Ciclo hidrológico. Bacia hidrográfica. Vazão. Precipitação.

## ABSTRACT

This work focuses on the hydrological response (ie precipitation, discharge and evapotranspiration) to deforestation, for two individual basins, where the processes of changing vegetation cover are at different levels. Search is thus ratifying the results mentioned in literature in the sense that above certain level of deforestation hydrological responses are to give due to local and non-local atmospheric interactions. Two basins were selected: the Curua-Una (micro-region of Santarem-PA) and Uraim (Paragominas-PA). These basins were chosen because they represent examples of two different situations in respect of the advance of deforestation. The first is at a level of approximately 25%, while the second basin has experienced even more significant deforestation in the order of 65%. Using the time series data were performed for each basin statistical analysis to test the hydrological differences between two periods, representing different situations of deforestation, that is, a more preserved moment and a more deforested one. The results confirm that, in fact, different levels of deforestation cause different hydrological responses, to point out that for the basin with lower levels of deforestation 25% (i.e. Curua-Una Basin) there is not significant change in precipitation and even so the discharge increases, while the most devastated area (i.e. Uraim Basin) shows a reduction in precipitation (ranging from 25%), consequently decreasing the channel's flow. These results are particularly relevant for confirming with field data that the assumptions made by various simulations of future scenarios in practice are already occurring, if not on a regional level, at least for one specific area where the level of deforestation is enhanced both as a percentage as of total length.

Keywords: Deforestation. Hydrological cycle. Hydrographic basin. Discharge. Precipitation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Esquema 1-	Representação esquemática do ciclo hidrológico.....	47
Esquema 2-	Esquema representativo da delimitação de uma bacia hidrográfica.....	48
Figura 1 -	Localização da microrregião Santarém em relação ao Estado do Pará.....	68
Figura 2 -	Detalhe da localização da Bacia do Curua-Una em relação à microrregião Santarém.....	69
Figura 3 -	Situação da cobertura vegetal da Bacia do Rio Curua-Una em 1997.....	72
Figura 4 -	Situação da cobertura vegetal da Bacia do Curua-Una em 2008.....	73
Figura 5 -	Localização da microrregião Paragominas em relação ao Estado.....	76
Figura 6 -	Detalhe da localização da Bacia do Uraim em relação à microrregião Paragominas.....	77
Figura 7-	Situação da cobertura vegetal da Bacia do Uraim em 1997.....	79
Figura 8 -	Situação da cobertura vegetal da Bacia do Uraim em 2008.....	80
Figura 9 -	Exemplo de procedimento de determinação da pluviometria média de uma bacia pelo método dos polígonos de Thyessen.....	86

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1-	Receitas do Complexo Soja (em milhões de US\$).....	31
Gráfico 2-	Participação do Complexo Soja no total das receitas cambiais.....	31
Gráfico 3 -	Percentuais desmatados dos municípios da região da Bacia do Curua-Una nos anos 2000 e 2008.....	63
Gráfico 4-	Áreas desmatadas (km <sup>2</sup> ) dos municípios da região da Bacia do Curua-Una nos anos 2000 e 2008.....	63
Gráfico 5-	Percentuais desmatados dos municípios da região da Bacia do Uraim nos anos 2000 e 2008.....	64
Gráfico 6-	Áreas desmatadas (km <sup>2</sup> ) dos municípios da região da Bacia do Uraim nos anos 2000 e 2008.....	65
Gráfico 7-	Exemplos de análise de consistência pelo método de dupla massa.....	83
Gráfico 8-	Dupla-massa para consistência de dados do posto Fazenda Marcondes.....	84
Gráfico 9-	Dupla-massa para consistência de dados do posto Sítio São Pedro.....	84
Gráfico 10-	Relação precipitação média anual x evapotranspiração média anual para série histórica (1978 a 2008) da Bacia do Curua-Una...	85
Gráfico 11-	Relação precipitação média anual x evapotranspiração média anual para série histórica (1985 a 2007) da Bacia do Uraim.....	87
Gráfico 12-	Gráfico de dupla-massa para consistência de dados do posto UHE Curua-Una.....	88
Gráfico 13-	Dupla-massa para consistência de dados do posto Cafezal.....	89
Gráfico 14-	Dupla-massa para consistência de dados do posto Paragominas.....	90
Gráfico 15-	Curvas de precipitação média mensal na bacia do Curua-Una para os períodos de 1978-1985 e 2003-2008.....	95
Gráfico 16-	Curvas de descarga média mensal na bacia do Curua-Una para os períodos de 1978-1985 e 2003-2008.....	96
Gráfico 17-	Curvas de precipitação média mensal na bacia do Uraim para os períodos de 1978-1985 e 2003-2008.....	101
Gráfico 18-	Curvas de descarga média mensal na bacia do Uraim para os períodos de 1978-1985 e 2003-2008.....	102

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Produção de soja no Brasil, na Amazônia Legal e no Bioma Amazônia.....	32
Tabela 2-	Médias de longo-prazo de P, Q, ET e C para a Bacia do Curua-Una.....	92
Tabela 3-	T-teste para as médias de pluviometria da Bacia do Curua-Una dos períodos 1(1978-1985) e 2 (2003-2008).....	93
Tabela 4-	T-teste para as médias de vazão da Bacia do Curua-Una dos períodos 1(1978-1985) e 2 (2003-2008).....	94
Tabela 5-	T-teste para as médias de Coeficiente de <i>Runoff</i> da Bacia do Curua-Una dos períodos 1(1978-1985) e 2 (2003-2008).....	94
Tabela 6-	T-teste para as precipitações das estações chuvosas (fev-mar-abr) da Bacia do Curua-Una dos períodos 1(1978-1985) e 2 (2003-2008).....	96
Tabela 7-	T-teste para as vazões das estações de cheia (mar-abr-maio) da Bacia do Curua-Una dos períodos 1(1978-1985) e 2 (2003-2008).....	97
Tabela 8-	T-teste para as precipitações das estações secas (jul-ago-set) da Bacia do Curua-Una dos períodos 1(1978-1985) e 2 (2003-2008).	98
Tabela 9-	T-teste para as vazões das estações secas (set-out-nov) da Bacia do Curua-Una dos períodos 1(1978-1985) e 2 (2003-2008).....	98
Tabela 10-	Médias de longo-prazo de P, Q, ET e C para a Bacia do Uraim.....	99
Tabela 11-	T-teste para as médias de pluviometria da Bacia do Uraim dos períodos 1(1985-1989) e 2 (2003-2007).....	99
Tabela 12-	T-teste para as médias de vazão da Bacia do Uraim dos períodos 1(1985-1989) e 2 (2003-2007).....	100
Tabela 13-	T-teste para as médias de Coeficiente de <i>Runoff</i> da Bacia do Uraim dos períodos 1(1985-1989) e 2 (2003-2007).....	100
Tabela 14-	T-teste para as precipitações das estações chuvosas (fev-mar-abr) da Bacia do Uraim dos períodos 1(1985-1989) e 2 (2003-2007).....	103
Tabela 15-	T-teste para as vazões das estações de cheia (mar-abr-maio) da Bacia do Uraim dos períodos 1(1985-1989) e 2 (2003-2007).....	103
Tabela 16-	T-teste para as precipitações das estações secas (jul-ago-set) da Bacia do Uraim dos períodos 1(1985-1989) e 2 (2003-2007).....	104
Tabela 17-	T-teste para as vazões das estações secas (set-out-nov) da Bacia do Uraim dos períodos 1(1985-1989) e 2 (2003-2007).....	104

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 AGRONEGÓCIOS NA AMAZÔNIA E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA REGIÃO</b> .....	18
2.1 A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO AGRONEGÓCIO E SEU AVANÇO NA AMAZÔNIA.....	18
2.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	21
2.3 OS AGRONEGÓCIOS NA AMAZÔNIA: SUSTENTÁVEL?.....	25
<b>2.3.1 Pecuária</b> .....	26
2.3.1.1 Estimativa do custo econômico (social) dos desmatamentos na Amazônia.....	28
<b>2.3.2 Sojicultura</b> .....	29
2.3.2.1 O Efeito Arraste.....	33
<b>2.3.4 Agronegócio na Amazônia: as diferentes Correntes de Abordagem Quanto às ameaças à Região</b> .....	35
<b>2.3.5 Agronegócio na Amazônia: Oportunidades de Conservação</b> .....	41
<b>3 O AVANÇO DO AGRONEGÓCIO NA AMAZÔNIA E SEUS IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE</b> .....	43
3.1 IMPACTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS À AGROPECUÁRIA.....	43
3.2 MUDANÇA DA COBERTURA VEGETAL EM REGIÕES DE FLORESTAS TROPICAIS E SEUS EFEITOS SOBRE A HIDROLOGIA.....	45
<b>3.2.1 Ciclo Hidrológico e balanço hídrico em uma Bacia hidrográfica</b> .....	46
<b>3.2.2 Cobertura Vegetal x Ciclo Hidrológico</b> .....	51
<b>3.2.3 Mudança na Descarga do Canal</b> .....	51
<b>3.2.4 Mudança no Regime do Canal</b> .....	53
<b>3.2.5 Efeitos do desmatamento de Larga-escala sobre a Precipitação e a Vazão</b> .....	55
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	61
4.1 DELIMITAÇÃO DO CAMPO DE PESQUISA E ANÁLISE.....	61
4.2 CARACTERIZAÇÕES GERAIS DAS ÁREAS DE ESTUDO.....	62
<b>4.2.1 Introdução</b> .....	62
<b>4.2.2 Bacia do Curua-Una</b> .....	65

<b>4.2.3 Bacia do Uraim.....</b>	<b>74</b>
4.3 DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS.....	80
<b>5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>92</b>
5.1 EFEITO DA MUDANÇA DE COBERTURA VEGETAL SOBRE A HIDROLOGIA DA BACIA DO RIO CURUA-UNA.....	92
5.2 EFEITO DA MUDANÇA DE COBERTURA VEGETAL SOBRE A HIDROLOGIA DA BACIA DO RIO URAIM (PARAGOMINAS).....	99
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>106</b>
6.1 QUANTO AO EFEITO DA MUDANÇA DE COBERTURA VEGETAL SOBRE A HIDROLOGIA DA BACIA DO RIO CURUA-UNA.....	106
6.2 QUANTO AO EFEITO DA MUDANÇA DE COBERTURA VEGETAL SOBRE A HIDROLOGIA DA BACIA DO RIO URAIM (PARAGOMINAS).....	107
6.3 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	108
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>116</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país que apresenta grande riqueza no que se refere à existência de recursos naturais. Entretanto, ao longo da história, esta riqueza foi bastante negligenciada e explorada de maneira irracional, sem compromisso algum com a conservação e renovação dos recursos naturais.

Diversas são as atividades humanas que são reconhecidamente importantes para um país, com papel de destaque na economia, mas que por outro lado podem apresentar também impactos negativos, dos pontos de vista ambiental e sócio-econômico. Nepstad et al. (2002) consideram que a inacessibilidade promoveu certa proteção à floresta amazônica. Entretanto, o desenvolvimento econômico é vital para milhões de pessoas que habitam a região, de modo que investimentos em infraestrutura tornam-se inevitáveis (NEPSTAD et al., 2002). À medida que estradas sejam pavimentadas, o cenário de *business-as-usual* de expansão da fronteira pode provocar rápido desmatamento na região.

Nesse contexto, Nepstad et al. (2006) afirmam que a pecuária e a sojicultura são os principais vetores do desmatamento da Amazônia, respondendo cada vez mais a estímulos econômicos vindos de todo mundo, levando a um período recente de altas taxas de desmatamento.

De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2010) a área total desflorestada na Amazônia brasileira cresceu de 15,2 milhões de hectares em 1978 para 41,5 milhões de hectares em 1990, 58,7 milhões em 2000, 60,3 milhões em 2001 e 71 milhões em 2008.

A respeito dessa questão, Margulis (2003, p.28) afirma que “a principal mudança do uso do solo é, indubitavelmente, a enorme expansão da área ocupada por pastagens, ocupando cerca de 70% das áreas desmatadas em 1995”.

Por sua vez, em relação à soja, estudo realizado por Morton et al (2006), conclui que o desmatamento na porção Sul da Amazônia brasileira (especificamente, no estado do Mato Grosso) tem na soja um de seus principais vetores. De fato, enquanto a área plantada para produção de soja no Mato Grosso foi de 5.470.149ha em 2008, no Pará foi de apenas 71.060ha (IBGE, 2009). Logo, é evidente que em termos absolutos a produção nesse último é inexpressiva se comparada à do primeiro. O que se argumenta, entretanto, é se a velocidade com que tal cultura vêm

avançando rumo ao norte da região amazônica pode representar uma alteração na dinâmica do desflorestamento dessa área e uma ameaça potencial para o futuro.

Fearnside (2001) expõe que a soja é conduzida por forças dos mercados globais e a capacidade dos mercados globais de absorverem a produção será o principal fator limitante para sua expansão.

Dados do INPE (2010) apontam que o Pará vem sendo um dos estados com avanço do desmatamento mais acelerado, ao lado do Mato Grosso. De acordo com tais dados, de 1988 a 2008, a taxa de desmatamento anual no Pará corresponde, em média, a 33% da taxa de desmatamento anual de toda Amazônia Legal.

Diversos setores da sociedade têm demonstrado preocupação e contrariedade quanto ao avanço daquelas atividades, podendo-se citar como exemplo os protestos da própria comunidade local de Santarém, que conta com o apoio do Greenpeace (GRUPO DE TRABALHO ACADÊMICO, 2005; GREENPEACE, 2005; 2006). Tal contrariedade decorre dos riscos ambientais e sociais relacionados às mesmas.

De acordo com Fearnside (2001), Nepstad et al. (2002; 2006), McGrath e Vera-Díaz (2006) a conversão de terras para pastagens e campos de soja tem sérios impactos sócio-ambientais, dentre os quais: desmatamento, compactação e erosão do solo, perda de biodiversidade, contaminação de rios e lençóis freáticos por insumos químicos utilizados na plantação e assoreamento de mananciais, representando elevadas perdas, inclusive do ponto de vista econômico e expulsão das populações tradicionais.

Pode-se concluir, portanto, que em que pese a importância (ou até mesmo necessidade) econômica das atividades aqui mencionada, é indispensável que as mesmas venham acompanhadas de estudos e procedimentos que permitam sua compreensão, avaliação, monitoramento e remediação de efeitos indesejáveis.

No Pará, verifica-se o avanço acelerado do desmatamento nos últimos anos, impulsionada predominantemente pela pecuária e a potencial ameaça representada pela monocultura de soja. Nesse contexto, dois exemplos de destaque podem ser mencionados nos quais, além da histórica dinâmica de desflorestamento voltado à pecuária, houve nos últimos anos um avanço da monocultura de soja: a experiência do Pólo de Paragominas, criado em 1995, e recentemente em Santarém.

Destaca-se, porém, que o avanço do desmatamento no primeiro município se deu de forma mais acelerado, com a área desmatada passando de

aproximadamente 15% em 2000 para cerca de 45% em 2008; enquanto na micro-região de Santarém o aumento no mesmo período foi de cerca de 16% para 20% em Santarém, de 15% para 17% em Belterra e de 16% para 22% em Placas (INPE, 2010).

Dentre as diversas conseqüências provocadas pelo desmatamento a presente pesquisa se detém especialmente nos efeitos que a mudança da cobertura vegetal de uma região de floresta acarreta sobre o ciclo hidrológico na mesma.

Costa et al. (2007) e Coe et al. (2009) relatam que observações do comportamento de bacias hidrográficas em micro ( $<1\text{km}^2$ ), meso (centenas de  $\text{km}^2$ ) e grande escala (milhares de  $\text{km}^2$ ) indicam que o desmatamento reduz a evapotranspiração e aumenta o fluxo do canal e o coeficiente de runoff.

Costa et al. (2003) explicam que a menor rugosidade da superfície, a menor área de folhagem (relação entre superfície com folha e superfície total) e a menor profundidade das raízes dos pastos comparadas à floresta contribuem para reduzir a evapotranspiração (ET) e aumentar a vazão (Q).

Em resumo: é de se esperar que a substituição de vegetação natural tropical cause redução na ET e um aumento associado na descarga média anual.

Sampaio et al. (2007) afirmam, porém, que o desmatamento em larga escala na Amazônia poderia alterar o clima regional significativamente. Coe et al (2009) corroboram com tal tese, explicando que uma vez que o desmatamento na bacia Amazônica ocorra em uma escala muito grande ( $>100.000\text{km}^2$ ), interações atmosféricas podem reduzir a precipitação regional significativamente. Sampaio et al. (2007), Costa et al. (2007) e Coe et al. (2009) usam modelos gerais de circulação atmosférica para examinar os possíveis efeitos do desmatamento da Amazônia sobre o clima global e regional, com todas as simulações mostrando um decréscimo significativo na evapotranspiração e um decréscimo significativo da precipitação sobre a bacia Amazônica.

Costa et al. (2007) e Sampaio et al. (2007), por meio de tais modelos, avaliaram os efeitos do desmatamento no clima em nível regional encontraram que mudanças significativas na precipitação ocorrem somente depois que mais de 40% da bacia Amazônica esteja desmatada.

Dentro da realidade do estado do Pará, especificamente nas regiões de Paragominas e Santarém, foram então selecionadas duas bacias: do Curua-Una (micro-região de Santarém) e do Uraim (Paragominas). Tais bacias foram escolhidas

por representarem exemplos de duas situações distintas no avanço do desmatamento na Amazônia. A primeira se encontra em um nível aproximado de 25% do município, destacando-se que a soma da área dos municípios do entorno (Santarém, Belterra, Placas e Uruará) perfaz um montante de aproximadamente 45.000 km<sup>2</sup>, dos quais, de acordo com INPE (2010) o total desmatado atingiria aproximadamente 9.600 km<sup>2</sup>. Por sua vez, a segunda bacia já experimentou desmatamento ainda mais significativo, na ordem de 65 da bacia em si, enfatizando-se que a soma das áreas dos municípios do entorno (Paragominas, Ulianópolis, Dom Eliseu, Nova Esperança do Piriá, Goianésia e Ipixuna do Pará) totaliza cerca de 45.000 km<sup>2</sup>, dos quais cerca de 23.000km<sup>2</sup> já foram desmatados.

Nesse contexto, o foco dessa pesquisa é a resposta das características hidrológicas (i.e. precipitação, vazão e evapotranspiração) ao desmatamento, para duas bacias de captação individuais, nas quais o processo de mudança da cobertura vegetal se encontra em níveis diferentes, buscando dessa forma ratificar os resultados apontados pela literatura, no sentido de que a partir de um certo nível de desmatamento as respostas hidrológicas passam a se dar em função de interações (atmosféricas) locais e não locais.

Para tanto, os dados hidrológicos (precipitação e descarga do canal) das séries históricas de cada uma das bacias foram divididos em dois períodos, considerados representativos de um momento anterior, de maior preservação da floresta e do momento atual, de maior devastação. As diferenças entre os períodos foram então analisadas por meio de testes estatísticos (t-teste e z-teste), a fim de avaliar a resposta daqueles parâmetros ao desmatamento em cada área.

Os resultados encontrados demonstraram-se bastante relevantes, confirmando que, de fato, níveis de desflorestamento diferentes provocam respostas distintas nas características hidrológicas, ao apontar que para a bacia com nível de desmatamento na ordem de 20% (i.e. Bacia do Curua-Una) não ocorre alteração significativa na precipitação, enquanto a vazão aumenta cerca de 55%, ao passo que a área mais devastada (i.e Bacia do Uraim) apresenta redução da precipitação (na faixa de 25%) com conseqüente diminuição da vazão do canal.

Tais resultados são, então, especialmente expressivos por confirmarem com dados de campo que as hipóteses levantadas por diversas simulações de cenários futuros, acerca da possibilidade de decréscimo na precipitação como resultado de desmatamento em larga-escala, na prática já estão ocorrendo, não em um nível

regional, mas em nível local, pelo menos para uma área específica onde o nível de desmatamento é acentuado tanto em termos percentuais quanto de extensão total.

A fim de atingir os objetivos dessa pesquisa, a tese foi estruturada da seguinte forma: no segundo capítulo são apresentados a evolução histórica do agronegócio no mundo e na Amazônia, as diferentes visões acerca dos riscos que tal atividade representa(ria) para a região e as oportunidades que poderiam levar a uma inversão do papel desempenhado até agora, passando de promotora de devastação a colaboradora do desenvolvimento sustentável.

No capítulo 3, são abordados os impactos ambientais em geral associados a tais atividades, dando enfoque especial à mudança de cobertura vegetal em áreas de floresta e seus efeitos sobre a hidrologia da área.

No capítulo 4 é descrita a metodologia adotada no estudo, delimitando-se as áreas estudadas, as fontes de dados, os períodos de tempo adotados e o tipo de tratamento a que tais dados foram submetidos.

O capítulo 5 apresenta e discute os resultados obtidos para as duas áreas, indicando quais as alterações constatadas na precipitação, vazão e evapotranspiração das mesmas, tanto em termos de média anual quanto nas estações de máximas (chuvosa/cheia) e mínimas (seca/estiagem).

## 2 AGRONEGÓCIOS NA AMAZÔNIA E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA REGIÃO

### 2.1 A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO AGRONEGÓCIO E SEU AVANÇO NA AMAZÔNIA

O entendimento da evolução histórica dos agronegócios tem no caso de Chicago um exemplo bastante ilustrativo de que, como expõe Cronon (1991), o campo não surgiu em decorrência das cidades, mas sim o contrário, ou seja, as cidades é que foram compelidas pelo campo a se formarem.

Ainda segundo Cronon (1991), “fazendeiros trouxeram uma nova ordem humana para o oeste dos Grandes Lagos, tão revolucionária em sua forma própria quanto o trem ou a cidade em si”.

Por volta de 1830, Chicago começava a despontar como um “centro” na região dos Grandes Lagos. Produtores e comerciantes locais mandavam seus produtos para lá por meio fluvial, sistema que apresentava restrições intrínsecas ao mesmo. O agente no porto atuava como “despachante” e os produtos eram transportados em sacos.

Cronon (1991) afirma que “as ferrovias mudaram tudo isto”. Possibilitando uma nova alternativa de se atingir os mercados urbanos, elas reorientaram o fluxo dos produtos agrícolas e encorajaram novos padrões de assentamento nas áreas em que passavam. O vagão substituiu o saco, correspondendo a 325 vezes o volume daquele e, dessa forma, aumentou o volume de grão passando por Chicago.

Os elevadores de grãos também colaboraram para o aperfeiçoamento do transporte mecanizado dos produtos, além de proporcionarem a vantagem de que o “recibo” do elevador passou a ter valor monetário.

Outros importantes passos para a evolução do agronegócio naquela região foram: a criação, por parte da *Chicago Board of Trade*, de um mercado central e um sistema de classificação de grãos, atribuindo-lhes “tipos” e “categorias”, que permitiam a negociação mais “abstrata”, pois o comprador passou a ter a possibilidade de comprar sem a necessidade de inspecionar pessoalmente a mercadoria.

Desta forma, como explica Cronon (1991, p.120), Chicago adquiriu “as três instituições chave que definiram o futuro de seu comércio de grãos: o elevador, o sistema de classificação e o mercado central [...]”. Com o advento do telégrafo, as

informações passaram a ser transmitidas de modo mais dinâmico, possibilitando mais integração dos mercados e reduzindo a incerteza.

Todas essas condições estimularam o surgimento de um “mercado de futuros” em que, de fato, não se negociavam grãos, mas “preços de grãos”, com especuladores “apostando” no preço futuro. Grãos, então, se transformaram definitivamente em *commodity*.

Atualmente, a produção mais eficiente levou a menores preços, e produtores orientados para o mercado passaram a buscar o aumento de seus lucros pelo crescimento de seu tamanho e de sua produção.

Mecanização, insumos químicos e tecnologia melhoraram as variedades das culturas agrícolas e a proteção dos governos tendeu a “amortecer” os impactos de muitas realidades de mercado sobre os produtores, porém a globalização está mudando tal situação, pois os produtores, que antes competiam com seus vizinhos, hoje competem em escala mundial, ainda que subsídios governamentais representem uma proteção a esta competição com produtores estrangeiros. A possibilidade de redução dos subsídios tenderia a permitir que as vantagens dos países periféricos aparescem e o agronegócio pudessem crescer naquelas nações.

Na Amazônia, o avanço do agronegócio é, claramente, uma consequência de um contexto mundial, no qual mercados externos pressionam e incentivam a produção de determinados produtos. Nesse sentido, a expressão “Conexão Hamburger” foi cunhada por Myers nos anos 80 (apud KAIMOWITZ et al., 2004) para descrever o rápido aumento das exportações de carne da América Central para atender cadeias de lanchonetes norte-americanas, levando ao desflorestamento naqueles países. Na época, o Brasil exportava pouca carne, o que significa que aquela ligação não se aplicava para o país. Porém, entre 1997 e 2003 o volume de exportação disparou, com especialistas afirmando que atualmente o país esteja em primeiro lugar no ranking de exportações.

Para Kaimowitz et al. (2004), alguns fatores explicam esse aumento tão significativo nos últimos anos: a desvalorização da moeda nacional, fazendo que o preço da carne (em reais) dobrasse e com isso incentivando a expansão de áreas de pastagem; a melhora na situação de febre aftosa no país (permitindo acesso da carne brasileira a diversos mercados); e melhoras infra-estruturais e tecnológicas na região Amazônica.

Recentemente, outra atividade vem se apresentando como uma nova ameaça à Amazônia: a expansão da soja. Bickel (2004, p.14) descreve que “a expansão da soja no Brasil parece desenfreada”. O autor faz essa colocação com base nos dados referentes à produção destes grãos no país. Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE, 2005), em 2003 o Brasil era responsável por cerca de 26% da produção mundial de soja. Citando novamente Bickel (2004, p.14) “a soja é um dos principais produtos globalizados, sendo o produto agrícola mais comercializado a nível mundial”.

O complexo soja, de acordo com a Embrapa (2005), foi o principal produto de exportação do agronegócio brasileiro em 2004, sendo responsável por U\$10 bilhões da pauta de exportações do país, que no período foi de aproximadamente U\$96 bilhões.

Dados do IBGE (2009) apontam que a produção de soja no Brasil passou de cerca de 20 milhões de toneladas em 1990 para cerca de 23 milhões em 1996 e atingiu cerca de 51 milhões de toneladas em 2005 e 60 milhões de toneladas em 2008. Quanto à produção na Amazônia Legal, a produção de soja passou de aproximadamente 3 milhões de toneladas em 1990 para cerca de 20 milhões em 2005, porém sofreu uma queda no ano seguinte (ficando por volta de 17,5 milhões) e em 2008 voltou à faixa dos 20 milhões de toneladas .

Trata-se, portanto, de uma importantíssima atividade do ponto de vista econômico e que, por isso mesmo, desperta interesse geral. Nesse contexto, o Governo do Pará adotou desde o final da década de 90 uma política de incentivo à entrada e/ou expansão dessa cultura no estado. Segundo o Governo do Pará, “com 6,2 milhões de hectares disponíveis para o plantio de soja, o Pará voltou-se para a cultura em 1995, quando teve início a criação do Pólo de Paragominas” (PARÁ, 2005). Ainda segundo a mesma fonte, “as áreas escolhidas foram as alteradas e as de cerrado, que no Pará correspondem à metade da área de soja plantada em todo o país”. Dados da CONAB (2005) apontam que a soja no Pará iniciou-se em escala empresarial em 97/98 com 2,6 mil hectares e avançou rapidamente, de tal forma que no período 2004/2005 já ocupava cerca de 69 mil hectares. Dados do IBGE (2009), porém, apontam que desde então o avanço desacelerou, tendo, inclusive, apresentado uma queda para 53 mil hectares em 2007 e voltando à faixa de 70 mil hectares em 2008. O Governo do Pará (2005) afirma ainda que pesquisa realizada nos dois pólos sojeiros pioneiros do estado (Paragominas e Redenção) “constatou a

viabilidade da soja no Pará, ao apresentar uma produtividade média de 45 a 50 sacas (60 kg) por hectare, acima da média nacional, que é de 35 sacas por hectare”. Os dados citados em relação à produtividade estão em concordância com os divulgados pela Companhia Nacional de Abastecimento CONAB (2005), que indica uma produtividade de 3000kg/ha no Pará contra uma média nacional de aproximadamente 2200kg/ha.

Reportagem da revista *Veja*, de 29 de setembro de 2004 corrobora com a visão acerca da importância econômica dessa atividade para o país, bem como dos agronegócios em geral. Segundo a reportagem, o “moderno agronegócio brasileiro é justamente a feliz reunião de alta tecnologia, equipamentos de ponta e crédito farto”. A mesma reportagem afirma que “cada vez que a produção agrícola de um país em desenvolvimento cresce 1%, a renda dos mais pobres aumenta em uma proporção maior, 1,6%”, dando uma série de exemplos que ilustrariam os benefícios do avanço dessas atividades.

O problema desse tipo de abordagem é que a mesma confere ao aspecto econômico um peso muito grande (se é que não se possa considerar que absoluto) e não parece tão criteriosa em relação a outros aspectos, especificamente aos sociais e ambientais. Entretanto, é cada vez mais difundido e aceito (o que realmente parece inquestionável) que o mundo precisa se preocupar com a sua sustentabilidade. Ribeiro (2002) considera que “o conceito de desenvolvimento sustentável é provavelmente o mais amplo, complexo e difundido já criado pela humanidade”.

## 2.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O que é desenvolvimento sustentável? Se analisado tal conceito, percebe-se que apresenta enunciado com conteúdo profundo e complexo.

A idéia de desenvolvimento sustentável tem um de seus maiores marcos no ano de 1987, quando dá-se a divulgação pela Comissão de *Brundtland* do relatório *Our Common Future* (Nosso Futuro Comum). O referido relatório foi fundamentado a partir de uma análise entre o início e fim do século passado. Aponta os sucessos e falhas do desenvolvimento no mundo. Surgia, aqui, uma das definições de desenvolvimento sustentável mais conhecidas até hoje: “O desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a

possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades” (COMISSÃO MUNDIAL..., 1991, p.46). Ainda segundo o relatório “o principal desafio do desenvolvimento é atender às necessidades e aspirações de uma população cada vez maior do mundo em desenvolvimento” (COMISSÃO MUNDIAL..., 1991, p.58).

Para Barbieri (1997) desenvolvimento sustentável é uma nova forma de perceber as soluções para os problemas globais, que não se limitam apenas à questão ambiental, mas se estende também aos aspectos sociais, políticos e culturais.

Fenzl (1997) explica que:

define-se desenvolvimento sustentável levando em conta as seguintes condições básicas: o consumo de recursos renováveis não deve ultrapassar suas capacidades de renovação, a quantidade de rejeitos produzidos não deve ultrapassar a capacidade de absorção dos ecossistemas e os recursos não renováveis só devem ser utilizados na medida em que possam ser substituídos por um recurso renovável equivalente.

Para CMAD (1991) padrões de vida que estejam aquém do mínimo básico não são sustentáveis. De modo semelhante, para haver sustentabilidade ambiental é preciso não pôr em risco os elementos naturais que sustentam a integridade global dos ecossistemas: a qualidade do ar, dos solos, das águas e dos ecossistemas.

Sachs (1993) e Maimon (1996) definem desenvolvimento sustentável de maneira parecida, a qual pode ser resumida como uma busca da eficiência econômica, justiça social harmonia ambiental.

Deve-se ressaltar, porém, que se trata de um conceito que ainda suscita diversas polêmicas uma vez que é difícil obter respostas definitivas sobre o que deve ser sustentado, qual o prazo de futuro a ser considerado, etc. Costa (2006, p.4), por exemplo, diz que o enunciado largamente utilizado de “eficiência econômica, equidade social e prudência ecológica” é um ideário, pois na realidade do mundo moderno nenhuma situação seria descrita por tal conceito. Entretanto, ressalta que esse ideal de sustentabilidade “corresponde às necessidade estratégicas delineadas por manifestações concretas de insustentabilidade”, devendo essa sim ser descrita e compreendida para averiguar seus mecanismos e combater-los.

De toda forma, ao se imaginar quais seriam as conseqüências para o planeta se todos os países seguissem o padrão de consumo dos mais desenvolvidos (principalmente dos Estados Unidos), fica claro que ainda que possua alguns pontos

de divergência, a preocupação com a sustentabilidade é cada vez mais importante e necessária.

Especificamente sobre nossa região, Costa (2000) ressalta que por ser a maior floresta tropical do mundo a Amazônia ocupa posição de destaque, como resultado de uma nova consciência ecológica mundial que vem sendo gradativamente assimilada por discursos e práticas políticas e sociais.

Nesse trabalho, considera-se a então que a sustentabilidade de uma atividade requer que a mesma seja economicamente viável, socialmente justa e ambientalmente adequada (ainda que esse conceito seja passível de críticas como a de Costa (2006) citada anteriormente).

Alier; Jusmet (2001) ressaltam que não se deve confundir extração com verdadeira produção sustentável, exemplificando tal confusão por meio da inadequabilidade de expressões como “produção de petróleo”; reforçando ainda a importância de se ter uma distinção clara entre recursos renováveis e não renováveis.

Os mesmos autores defendem então um entendimento do problema segundo a Economia Ecológica, a qual busca compreender a economia como um sistema aberto à entrada de energia e matéria e à saída de resíduos (visão diferente da economia neoclássica, que via a economia como um sistema fechado entre produtores e consumidores) e tem como objeto de estudo “a (in)sustentabilidade ecológica da economia” (ALIER; JUSMET, 2001).

É importante entender que o desenvolvimento não ocorre ao acaso, mas como resultado de uma trajetória construída a partir das decisões e ações tomadas. Assim, segundo Costa (2006) o ideário de desenvolvimento sustentável impõe algumas tarefas para as ciências da sociedade: recapitular sua compreensão sobre a trajetória de desenvolvimento; verificar o que produz risco de insustentabilidade; ampliar a compreensão sobre esses riscos e incorporá-los nas reflexões; e construir mecanismos que minimizem os mesmos.

No que diz respeito aos problemas ambientais, alguns economistas (da corrente chamada Economia Ambiental) consideram que os mesmos seriam apenas externalidades e que poderiam então ser corrigidos pela sua internalização na estrutura de custos e preços das empresas.

Entretanto, outra corrente da economia (Economia Ecológica) se põe contrariamente àquela abordagem, tendo como um dos argumentos principais o fato

de que a mesma considera que todo dano poderia ser compensado e/ou reconstituído, o que para esta última corrente não estaria correto, pois algumas mudanças produzidas na natureza implicariam em uma perda de qualidade, transformando matéria de qualidade em matéria degradada e gerando aumento de entropia, o que em última análise significaria que seriam irreversíveis e levariam à insustentabilidade.

Costa (2006, p.10) sintetiza a contradição dizendo:

se se tem um sistema que cresce compulsivamente, cuja essência é moldada pelas necessidades do capitalismo industrial e financeiro, cuja única razão de ser é a expansão; se nesse esforço cego de crescimento se precisa a todo momento de elementos da natureza; se nessa tensão se produz endogenamente riquezas em proporções correlatas à pobreza... Se tudo isso é verdadeiro, o ideário de desenvolvimento sustentável – um desenvolvimento economicamente eficiente, socialmente justo e ecologicamente prudente – está na contramão (da história) do sistema.

A economia ecológica procura então o caminho da compatibilização entre economia, tendo então como questão fundamental a busca da determinação da sustentabilidade desta interação, ou seja, a preocupação acerca de em que medida as restrições ambientais podem ou não constituir efetivamente limites ao crescimento econômico.

A Economia Ecológica coloca-se, assim, como uma posição intermediária: se por um lado não partilha do alarmismo pessimista ecológico, que vê tais limites como iminentes e intransponíveis, também não partilha do "otimismo tecnológico", o qual entende que as restrições naturais sempre podem ser superadas pela tecnologia.

Em sua posição de "ceticismo prudente", a Economia Ecológica reconhece o progresso tecnológico, mas argumenta que o mesmo ocorre apenas dentro de certos limites fisicamente possíveis. Desta forma, não adota nenhuma posição a priori quanto a existência ou não de limites ambientais ao crescimento econômico, buscando justamente delimitar as escalas em que as restrições ambientais podem constituir limites efetivos às atividades econômicas, ou seja, busca demonstrar os limites físicos do planeta.

Nesse contexto, a pesquisa atual tem como papel principal o avanço do conhecimento para a indicação de tal limite do ponto de vista do desmatamento de áreas de florestas tropicais e as conseqüências sobre o ciclo hidrológico das áreas devastadas.

Como já mencionado anteriormente, a formação de excedente é condição necessária para o crescimento. A questão que surge é: só é possível obter crescimento (formação de excedente) com a destruição do meio ambiente? O trajeto histórico foi de aumentar a produtividade destruindo a natureza, mas outros tipos de uso são possíveis, criando riqueza sem tal destruição, ou seja, criando bases para o desenvolvimento futuro (COSTA, 2006).

Seria necessário introduzir a questão da sustentabilidade nos grandes debates relativos ao desenvolvimento (especialmente da Região Amazônica), não por meio de suas contradições polarizadas e “insolúveis”, mas sim pelas suas possibilidades intermediárias de utilização da natureza.

### 2.3 OS AGRONEGÓCIOS NA AMAZÔNIA: SUSTENTÁVEL?

O desmatamento na Amazônia apresentou acentuado crescimento nos últimos 15 anos, com a principal mudança do uso do solo se dando em razão da enorme expansão da área ocupada por pastagens, as quais correspondiam a cerca de 70% das áreas desmatadas em 1995 (MARGULIS, 2003). Comparando em relação a 1970, verifica-se que 91% do incremento de área desmatada foram convertidos a pecuária. No mesmo sentido, Kaimowitz; Mertens; Pacheco (2004, p.2) afirma que “a avassaladora maioria das áreas desmatadas acaba convertida para pastagens”

Ao mesmo tempo, a sojicultura constitui-se em uma atividade que vem apresentando uma acelerada expansão na Amazônia nos últimos anos. Tal expansão vem sendo, então, alvo de diversos debates, suscitando diferentes posições acerca de seus benefícios e seus custos, suas vantagens e desvantagens. Morton et al. (2006) consideram que o “arco do desmatamento” é a mais ativa fronteira no mundo, em termos de perda total de floresta e intensidade de atividade de fogo. Historicamente, o padrão dominante de conversão da floresta foi de exploração de madeira em pequena escala ou agricultura de subsistência, seguido pela consolidação por pecuária extensiva ou abandono para floresta secundária.

Recentemente, porém, o Brasil vem se tornando um líder na produção mundial de grão, especialmente a soja. A grande questão que surge, a qual terá importantes conseqüências para os serviços ecológicos e para a dinâmica de desmatamentos futuros, é: essa expansão de campos agricultáveis contribui

diretamente para o desflorestamento ou ocorre somente pela intensificação de uso de áreas já desmatadas?

A fim de contribuir para a resposta àquela pergunta os autores, por meio da combinação de observações de campo com dados de satélite, examinam o destino dos grandes desflorestamentos durante o período de 2001-2004, a fim de prover evidências das contribuições relativas de agricultura e pasto para a redução de floresta no período.

Segundo os resultados obtidos, em todos os anos, a média de áreas abertas para agricultura era mais que o dobro da média para pastagens. A evolução da soja apresentava, ainda, relação de dependência com o preço mundial daquele grão em cada período.

Assim, de acordo com Morton et al. (2006) as pastagens continuam sendo o uso predominante de áreas desflorestadas, mas os resultados indicam uma tendência de aumento do desflorestamento destinado à agricultura. Para os autores, este aumento significa, então, um novo paradigma do desflorestamento na Amazônia, definido por maiores e mais rápidas taxas de conversão da floresta.

### **2.3.1 Pecuária**

No que diz respeito à pecuária na região, Margulis (2003) expõe que a maior parte das terras convertidas no cerrado foi para pecuária e não para soja, que ocupa apenas parte muito pequena. Kaimowitz; Mertens; Pacheco (2004) ressaltam que apesar da grande preocupação gerada nos últimos anos em relação à expansão da cultura de soja na Amazônia, ela explica somente uma pequena porcentagem do total de desmatamento. Fearnside (1990) destaca que a pecuária domina o uso de terra nas áreas desmatadas da Amazônia.

Alencar et al. I (2004) afirmam que a conversão de florestas em pastagens nas fazendas de tamanhos médio e grande, é a forma de desmatamento mais comum na Amazônia Brasileira e, muitas vezes, a menos produtiva. Por isso mesmo, consideram que talvez devesse ser o alvo mais importante de uma política pública para redução do desmatamento.

Kaimowitz; Mertens; Pacheco (2004) apresentam dados acerca da espetacular expansão da pecuária bovina na Amazônia nas últimas décadas: o número de cabeças passou de 26 milhões em 1990 para 57 milhões em 2002. Tais

números representam um aumento na participação no rebanho nacional de 17,8% para cerca de 30%. Ainda, 80% do crescimento do gado do Brasil no período aconteceram na Amazônia. Dados do IBGE (2009) apontam que em 2008 o rebanho na região já alcançava cerca de 72 milhões de cabeça, o que representava cerca de 35% do total nacional, sendo responsável por 85% do crescimento de gado ocorrido no país entre os anos de 2002 e 2008.

Kaimowitz; Mertens; Pacheco (2004) analisa ainda que, considerando-se que o aumento no consumo de carne no país foi bem menos intenso, pode-se concluir que o aumento da produção foi voltado para a exportação.

Assim, o motor das exportações seria:

- a) Desvalorização da moeda;
- b) Tendências nas enfermidades dos gados;
- c) Dinâmica da própria região, tais como expansão da rede elétrica e rodoviária, baixos preços de terra, etc.

Entretanto, o fato do lucro privado ser positivo não garante o interesse social da atividade. É preciso observar suas implicações sociais e ambientais, entendidas da maneira mais ampla possível, para se reavaliar sua atratividade.

Nesse sentido, afirma Margulis (2003, p.67) que “a avaliação social deve ter em conta os custos de oportunidade da pecuária, ou seja, considerar a possibilidade de atividades alternativas melhores”.

Nesse contexto, aquele autor faz uma análise, explicando que nos anos 90 o crédito subsidiado que aparentemente promovia a expansão da pecuária (e dos desmatamentos) foi removido e os incentivos fiscais e creditícios da SUDAM reduzidos, e ainda assim as taxas de desmatamento não reduziram.

Resumindo, pode-se concluir que os incentivos tiveram um papel importante no passado, para construir a infra-estrutura e a base industrial associadas à produção pecuária, mas hoje em dia, com um maior controle sobre a alocação dos recursos, os incentivos fiscais não têm papel relevante como fator que explique a lucratividade da produção e, assim, dos desmatamentos na Amazônia (MARGULIS, 2003).

### 2.3.1.1 Estimativa do custo econômico (social) dos desmatamentos na Amazônia

Margulis (2003) procura fazer então uma avaliação do custo econômico e social relacionado aos desmatamentos na Amazônia. Usos indiretos como manutenção do clima local, controle de erosão do solo e de cheias não foram estimados, pois tal estimativa se restringiu a parcelas cujos conhecimentos ecológicos permitam uma inferência dos danos ambientais e, daí, uma estimação monetária.

Assim, foram estimadas as seguintes parcelas:

- a) Valores de uso associados ao extrativismo madeireiro, não madeireiro e ecoturismo;
- b) Valores de uso indireto associado à estocagem de carbono;
- c) Valores de opção relativos à bioprospecção;
- d) Valores de existência associado à preservação da biodiversidade.

Margulis (2003) faz algumas comparações com outras atividades que possam ser mais competitivas do ponto de vista social (isto é, quando se incorporam os diversos custos sociais de ambas as atividades).

A partir das estimativas que realiza acerca do valor econômico do custo do desmatamento da Amazônia, conclui que há importantes *trade-offs* entre o uso atual e o uso sustentável da floresta, indicando que seria necessário a criação de mecanismos de mercado ou de compensações internacionais que valorizem os serviços ambientais da floresta.

Comparando a pecuária ao manejo florestal, enfatiza que embora do ponto de vista privado a pecuária seja economicamente superior ao manejo florestal sustentado (MFS), do ponto de vista social o MFS é bastante superior à pecuária.

Por fim, expõe que o MFS produz resultado social superior à pecuária ou ao extrativismo madeireiro, mas do ponto de vista privado não compete com o primeiro e produz taxas de retorno próximas às do segundo. Porém, enquanto é comum que aquelas atividades se associem (pecuária seguindo extrativismo) o MFS é uma atividade exclusiva, o que faz que na prática o mesmo se encontre competindo com a soma daquelas duas atividades, o que torna quase impossível sua implantação sem intervenção governamental.

### 2.3.2 Sojicultura

Alencar et al. (2004) e Nepstad et al. (2006) relatam que, como reação ao mal da vaca louca, a União Européia banuiu rações baseadas em proteína animal, substituída principalmente por soja, tornando-se o mais importante dentre os novos mercados para a soja produzida na Amazônia. Também, o crescimento econômico da China provocou um aumento da classe média (consumidora de carne animal alimentada à base de soja), fazendo que a demanda internacional por soja “explodisse”.

Fearnside (2001) expõe que a soja “responde” a forças do mercado global, os quais vêm se expandindo rapidamente. O mercado global de soja engloba a soja em si, o óleo de soja e o farelo de soja, sendo a Ásia o principal mercado deste último, utilizando-o como ração. A China, que até 1993 exportava soja, é hoje o maior importador do mundo (nas três formas) e o comportamento futuro daquele mercado será um fator determinante da expansão da sojicultura no Brasil.

Desta forma, a quantidade suprida por áreas tropicais aumentou de modo ainda mais rápido que o volume total global de comércio de soja, em decorrência da progressiva transferência da produção de soja das áreas temperadas para as áreas tropicais, onde a terra é mais barata.

Nepstad et al. (2006) consideram que a expansão da agroindústria de soja na Amazônia deve ter ocasionado, indiretamente, a expansão do rebanho de gado na Amazônia, uma vez que muitos fazendeiros proprietários de terras apropriadas para a produção de soja venderam suas áreas, com enormes ganhos, o que permitiu aos mesmos ampliarem seus rebanhos e comprarem novas terras mais ao norte, em regiões onde o preço da terra é menor.

De modo geral, o debate sobre o avanço dos agronegócios e especificamente acerca do avanço de soja na Amazônia tem suscitado posições bastante diferentes, que variam de um extremo a outro.

McGrath e Vera-Diaz (2006) apresentam os argumentos da corrente contrária e da favorável à expansão da monocultura na região. Enquanto os opositores apontam a aceleração da perda de floresta, a extinção da biodiversidade, a erosão do solo, a poluição das águas, o assoreamento dos rios e as mudanças climáticas como efeitos comprometedores do equilíbrio ecológico regional.

Por outro lado, os defensores da expansão argumentam, primeiramente, que houve bastante confusão acerca do potencial agronômico dos solos da Amazônia. Como explicam McGrath e Vera-Diaz (2006, p.151), embora as ameaças para o meio ambiente existam, também há mecanismos para mitigar os impactos provocados. Além disso, conforme ressaltam os autores “tais impactos devem ser avaliados no contexto das alternativas reais de uso do solo na fronteira amazônica, como a exploração madeireira, a pecuária extensiva e a agricultura de corte e queima”.

Assim, os autores esclarecem que a crença geral de que os solos da Amazônia não eram adequados para cultivo contínuo prevaleceu durante bastante tempo, porém aos poucos as barreiras naturais e infra-estruturais da região vêm sendo superadas. Entretanto, a viabilidade agronômica e econômica não significa que as conseqüências ambientais também tenham sido contornadas ou revertidas na mesma medida. O avanço de monoculturas agrícolas, caso ocorram sem planejamento e/ou sem atender critérios e cuidados referentes à sustentabilidade e uso adequado do solo, pode provocar impactos ambientais de grande relevância local e regional.

Fearnside (2003) aponta que as políticas de conservação da Amazônia Legal brasileira são objeto de muitas controvérsias, com grupos de interesses potencialmente conflitantes. Albagli (1998) destaca que a Amazônia é considerada o maior “banco genético” natural do planeta, sendo evidente o peso da geopolítica no curso que se irá imprimir à problemática da biodiversidade, sendo perceptíveis as diferentes visões e conflitantes interesses sobre a questão. Então, pode-se resumir a situação da seguinte forma: as posições sobre o uso e ocupação da Amazônia estariam baseadas na visão focada no desenvolvimento econômico em um extremo e na preservação no outro, crescendo nas últimas décadas uma posição “intermediária”.

Os defensores do primeiro grupo, a favor da expansão do agronegócio na região, têm como argumento principal o crescimento econômico, representado em dados como a participação do setor na pauta de exportações. Assim, por exemplo, pode-se citar que o “complexo soja” foi, de acordo com a EMBRAPA (2005), o principal produto de exportação do agronegócio brasileiro em 2004, sendo então uma importantíssima atividade do ponto de vista econômico e que por isso mesmo desperta interesse geral. Como já mencionado anteriormente, o próprio Governo do

Pará adotou uma política de incentivo à entrada e/ou expansão dessa cultura no estado. Dados das exportações de soja e da participação do complexo nas receitas cambiais (Gráfico 1 e 2) evidenciam sua importância econômica.

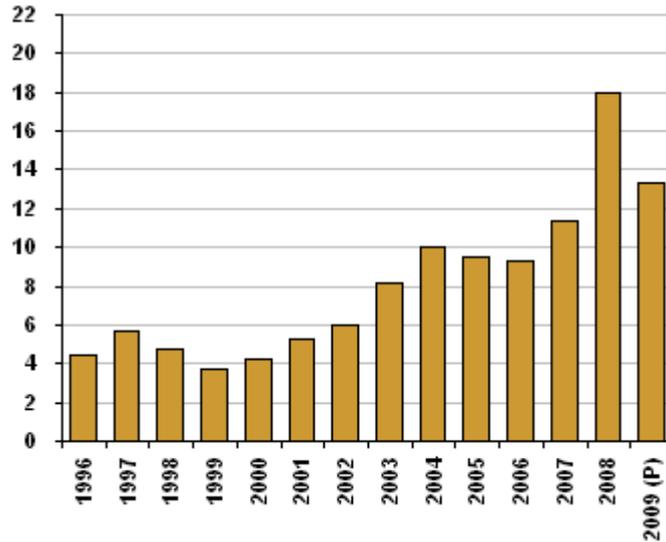


Gráfico 1- Receitas do Complexo Soja (em milhões de US\$)  
Fonte: ABIOVE (2010)

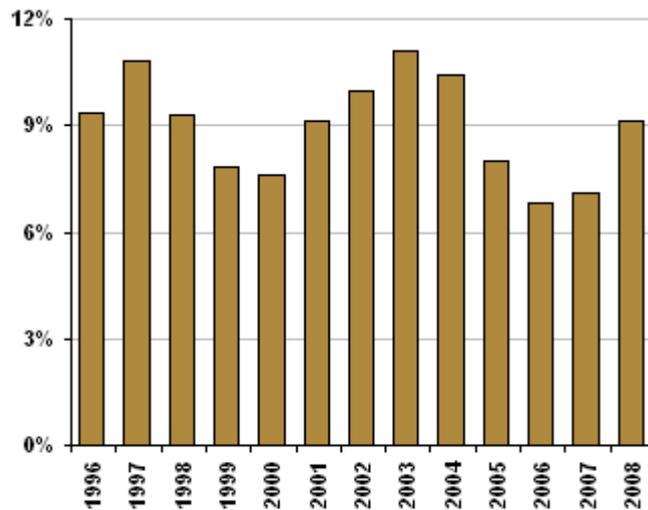


Gráfico 2- Participação do Complexo Soja no total das receitas cambiais  
Fonte: ABIOVE (2010)

Além disso, outro argumento levantado a favor de agronegócio da soja é que, teoricamente, a mesma é produzida em rotação com pastagens degradadas, para recuperá-las. Frequentemente, os produtores de soja enfatizam que para a sua expansão não é necessário desmatar a floresta. De acordo com este grupo, a soja iria ocupar áreas de florestas já desmatadas anteriormente pela pecuária (ABIOVE,

2005). Por esse ponto de vista, a soja seria então uma espécie de “salvação” para essas áreas já degradadas, ajudando na recuperação das mesmas e, acima de tudo, dando-lhes uma utilização de alto retorno econômico. Os produtores de soja enfatizam, então, que para a expansão da soja não seria necessário desmatar a floresta e apresentam dados demonstrando a pequena parcela que a mesma ocupa no bioma Amazônia, o que os conduz à conclusão de que não se trataria de um importante vetor do desmatamento (Tabela 1).

Tabela 1- Produção de soja no Brasil, na Amazônia Legal e no Bioma Amazônia

	Área Total do território (milhões de há) (a)	Área com soja (Safr 2005) (b)	Participação da soja (a/b)
Brasil	581	23,4	2,70%
Amazonia Legal	510	7	1,40%
Bioma Amazônia	419	1,1	0,30%

Fonte: Abiove (2010)

Entretanto, diversos trabalhos consideram que a avaliação da influência da cultura sobre o desmatamento não é tão simples. Segundo Alencar et al (2004) o cultivo de grãos estava (naquele momento) começando a pressionar as áreas de floresta. Os autores consideravam ainda que no caso da soja essa influência sobre o desmatamento ainda se dava de forma indireta, pois a expansão da cultura acontecia fundamentalmente em áreas de pastagens, até mesmo pelo custo de implantação da atividade se tornar menor. Fearnside (2001) também argumenta que poucas vezes os sojicultores derrubam a floresta eles próprios: ao invés disso, costumam comprar áreas já desmatadas.

Alencar et al. (2004, p.35) afirmam que “no entanto, ao ocupar pastagens, a soja acaba por pressionar a expansão da atividade pecuária para áreas com florestas, fomentando novos desmatamentos”. Fearnside (2001), Carvalho (1999) e Homma; Carvalho (1997), apontam para uma tendência de que os pequenos produtores expulsos de suas terras encontrem como única alternativa de sobrevivência o desbravamento de novas áreas de floresta virgem. Esse argumento é corroborado por trabalho do USDA (2004), que acrescenta ainda que o mesmo raciocínio se aplica aos fazendeiros que tenham suas antigas áreas de pastagens ocupadas pelo avanço da soja.

Fearnside (2001) também corrobora Carvalho (1999), considerando a soja como uma força nova e poderosa dentre as ameaças à biodiversidade brasileira. Conclui, então, que estratégias efetivas para conter seu avanço e os danos causados pelo mesmo requerem “entendimento dos processos pelos quais o avanço ocorre e a natureza de seus impactos”. Os “tomadores de decisão” e o público em geral precisam estar cientes de toda gama de impactos e dos meios, muitas vezes indiretos, pelos quais são infligidos.

Segundo Fearnside (2001), até o ano 2000, a preocupação ambiental de que a floresta tropical não fosse desmatada fez que a maior parte das plantações de soja avançassem em áreas fora das florestas tropicais, tais como o *cerrado* (Centro-Oeste) e os *campos* (Amazônia). Entretanto, pode-se contestar a afirmação de que a preocupação com o desmatamento tenha sido fator determinante para o maior avanço em áreas fora das florestas tropicais, pois há um fator bem mais relevante do ponto de vista dos empresários do agronegócio: a maior produtividade e a melhor adequabilidade natural das áreas de cerrado. De toda forma, o autor considera que, ainda assim, os impactos provocados por tal monocultura são significativos, uma vez que se reconhece que o cerrado brasileiro constituiria a vegetação do tipo *savana* com maior diversidade de espécies no mundo. Mais susceptível ainda é a faixa de transição entre cerrado e floresta, onde a concentração de espécies endêmicas é maior que no cerrado ou na floresta “puros”.

#### 2.3.2.1 O Efeito Arraste

Os possíveis impactos da soja não se limitam àqueles diretamente relacionados às áreas convertidas a tal cultura. Graças ao peso político que possui, a sojicultura promove a implantação de obras de infra-estrutura na região em que avança, especialmente as relacionadas a transporte, tais como rodovias, ferrovias, portos, etc.

A implantação desses projetos de infra-estrutura em uma região (especialmente de transporte) provoca um efeito que se denomina “efeito-arraste”. Tal efeito consiste, basicamente, na atração de outras atividades/ investimentos para a região, em virtude da infra-estrutura implantada, as quais, muitas vezes, geram impactos ambientais negativos. Dentre estas outras atividades, costumam estar

incluídas, por exemplo, a pecuária e a extração madeireira, ambas potencialmente danosas à biodiversidade.

Fearnside (2001, p.28) considera que o problema dessa situação recai na “falta de um mecanismo legal pelo qual o governo possa estabelecer compromissos irrevogáveis para que não sejam construídos projetos específicos que sejam reconhecidamente danosos”.

No caso específico de Santarém, pode-se destacar como infra-estrutura de transporte a hidrovia Teles Pires-Tapajós, a rodovia Cuiabá-Santarém e o porto de Santarém.

A hidrovia Teles Pires-Tapajós destinar-se-ia fundamentalmente ao transporte de soja. Porém, a mesma foi suspensa em 1997 em decorrência de falhas no seu Estudo de Impactos Ambientais, especificamente no que concernia a impactos relacionados às tribos indígenas existentes na área.

A pavimentação da rodovia Santarém-Cuiabá, obra incluída no programa do governo federal denominado “Avança Brasil”, também tinha como principal motivação o escoamento de soja. Fearnside (2001) expõe que a pressão política pela pavimentação daquela rodovia era liderada por Blairo Maggi, do Grupo Maggi, o qual estava financiando a plantação de soja na região e a construção do terminal portuário de Santarém.

Desta forma, Fearnside (2001, p.24) considera que:

o custo de produção da soja inclui não apenas o dinheiro investido em infra-estrutura e no sistema de produção da soja, mas também o custo de oportunidade referente à perda de serviços ambientais causada pelo impacto total nos ecossistemas naturais afetados pelo efeito arraste, e não apenas o que é introduzido diretamente pelas plantações de soja

Dentre os custos, deve-se incluir então, por exemplo, a perda de biodiversidade, a erosão de solos, os efeitos na saúde das pessoas e no meio-ambiente provocados por produtos químicos usados na agricultura, a expulsão das populações locais, o custo de oportunidade relacionado a fundos do governo investidos em subsídios a sojicultura, em detrimento a investimentos em educação, saúde e outras atividades que gerem mais empregos que o cultivo da soja, que por ser altamente mecanizada, tem baixíssima geração de emprego.

Além desse “efeito arrasto”, Bickel (2004) destaca ainda que cerca da metade da área potencial para expansão da soja no Brasil – 50 dos 100 milhões de–

é considerada vegetação secundária. Ane Alencar, pesquisadora do Instituto de Pesquisas Ambientais da Amazônia, em declaração publicada que “na região de Santarém [...] foram aproveitadas, inclusive, áreas de floresta secundária, de capoeira alta, abandonadas há 30 ou 40 anos, para a implantação de novas áreas de soja, entre o final de 2001 e durante 2002” (ALENCAR, 2003 apud JOHN, 2003). Segundo a mesma pesquisadora “as árvores destas matas secundárias já cumpriam de 80 a 85% do papel de uma floresta madura, ou seja, poderiam ser consideradas praticamente regeneradas”. Dessa forma, desmatá-las novamente teria impacto similar ao desmatamento de uma vegetação primária, no que diz respeito ao clima, à biodiversidade, às águas e a outros aspectos ambientais.

Pelo exposto até aqui, a pecuária e a implantação de monoculturas na Amazônia (que não atendam às técnicas adequadas de manejo do solo) parecem se constituir em exemplos de atividades que vêm sendo conduzida pela “lógica” de crescimento com destruição da natureza e se apresenta como um problema de (in)sustentabilidade.

A conversão de florestas em pastos e/ou campos de soja tem sérios custos sócio-ambientais, dentre os quais: a mudança nos parâmetros do ciclo hidrológico e no balanço hídrico local ou regional, foco principal deste estudo. Além deste, pode-se citar ainda os efeitos nocivos dos agrotóxicos no meio-ambiente e na saúde humana, a expulsão de sua terra das comunidades nativa e a erosão do solo com conseqüente assoreamento de mananciais. Seus danos são diversos, complexos, ocorrendo problemas em “efeito dominó” (o desmatamento provoca erosão, que provoca assoreamento, que provoca...) e em grande parte, possivelmente irreversíveis. A perda de biodiversidade tão rica pode representar a eliminação de recursos com uso potencial futuro sequer conhecidos nos dias de hoje. Constitui-se, então, em uma situação em que seria difícil a “monetarização” dos mesmos como uma tentativa de repará-los simplesmente pela internalização nos custos e preços.

#### **2.3.4 Agronegócio na Amazônia: as diferentes correntes de abordagem quanto às ameaças à Região**

Entidades como o Greenpeace consideram que o desmatamento é cometido na Amazônia por causa dos lucros a serem obtidos em atividades como a cultura de soja, ameaçando uma das regiões de maior biodiversidade do planeta, bem como as

populações indígenas e populações tradicionais que vivem na região (GREENPEACE, 2006). Tal posição tem efeitos amplos, tendo levado a um boicote internacional à soja produzida na região que seja proveniente de área de desmatamento. Como resposta a tal boicote, a Associação Brasileira da Indústria de Óleos Vegetais (ABIOVE) e a Associação Brasileira dos Exportadores de Cereais (ANEC) e suas respectivas associadas se comprometeram, em julho de 2006, a não comercializar soja proveniente de áreas que fossem desflorestadas, após aquela data, dentro do Bioma Amazônia, iniciativa esta que ficou conhecida como a moratória da soja.

A preocupação com os possíveis impactos ambientais decorrentes de atividades como as abordadas anteriormente gera, então, a posição antagônica à do “crescimento econômico”, a qual visa à preservação da Amazônia e pode ser representada pelo “paradigma da biodiversidade”. McGrath (1997) explica que para os adeptos desse paradigma a grande crise ambiental seria a elevada extinção de espécies e a solução seria a redução da taxa de destruição de seus habitats. Dentro desse contexto, as florestas tropicais seriam os ambientes mais críticos, por terem a maior concentração de espécies por unidade de área.

McGrath (1997), porém, contesta o paradigma da biodiversidade, dizendo que o grande problema do mesmo é que enfoca as espécies e não os processos. Por mais claras que sejam a importância da biodiversidade para o funcionamento dos ecossistemas, seu valor econômico potencial e o direito de viver de todas as espécies, o conceito é geral demais e por isso mesmo não define prioridades, o que o torna inviável. Terborgh (1999) também afirma que, apesar da necessidade de proteger a biodiversidade ser óbvia e básica, a definição de uma estratégia adequada é um desafio. Afinal, como proteger a biodiversidade se ela está em toda parte? Tal busca significaria conservar todo ambiente terrestre, algo impossível diante das demandas humanas.

Assim, McGrath (1997) defende que a preservação de espécies não deveria ser o fim em si, mas o meio para um objetivo maior que deve ser o funcionamento do ecossistema e/ou a sustentação econômica da população humana. Defende, então, que o adequado seria uma estratégia de “desenvolvimento sustentável”, que se preocupasse não em manter as espécies da Terra, mas os processos que sustentam a biosfera.

Alencar et al. (2004, p.19) também colocam que “está na hora de deixar para trás o debate antagônico entre desenvolvimento e preservação e adotar um novo modelo de desenvolvimento pelo qual as aspirações do povo brasileiro sejam atendidas, e o equilíbrio ecológico que sustenta toda a vida na região seja mantido”.

Nepstad et al. (2002) demonstram a mesma linha de pensamento. Os autores consideram que a pavimentação de rodovias nos próximos anos por um lado manteria o cenário de “business-as-usual” da expansão da fronteira amazônica e poderia provocar desflorestamento rápido, com graves conseqüências ambientais. Entretanto, por outro lado, o desenvolvimento econômico da região é vital, uma vez que mais de 17 milhões de pessoas na região têm renda inferior a U\$100/mês, fazendo que vários dos investimentos de infra-estrutura sejam inevitáveis. Assim, uma estratégia de conservação regional é urgentemente necessária, ressaltando que a conservação da floresta em larga escala é essencial para a manutenção das condições ecológicas.

Os autores defendem, então, que os componentes centrais de uma estratégia de governança seriam: *enforcement* da legislação existente e planejamento local do uso do solo. Especificamente sobre a BR-163, os mesmos consideram que a utilidade econômica e ecológica desse corredor dependerá do quanto o governo será capaz de prover infra-estrutura social, econômica e legal necessárias à população local. Nepstad et al. (2002) consideram, porém, que tendências entre agências do governo, iniciativa privada e sociedade civil forneciam evidências de um crescente desejo político de manejar os abundantes recursos naturais da Amazônia, protegendo-os de uma expansão da fronteira mais “agressiva”.

Soares Filho et al. (2006) apresentam simulação de oito cenários futuros para a região amazônica, os quais abrangeriam uma ampla gama de trajetórias futuras plausíveis para o desmatamento, desde o “business-as-usual” em um extremo até o cenário de “governança” em outro. O primeiro considera que: as tendências de desmatamento se mantenham, estradas com pavimentação agendada sejam mesmo pavimentadas, o cumprimento da legislação continue baixo e não sejam criadas novas áreas protegidas. Já a governança assume: a legislação ambiental brasileira seja implementada na Bacia Amazônica; ocorra a expansão da rede de áreas protegidas, nas quais a floresta seria realmente preservada em sua totalidade. Um cenário de governança seria plausível, na visão dos autores, principalmente em função de pressões externas.

Pelas simulações realizadas, a pavimentação da BR-163 resultaria em uma extensiva região de desmatamento, uma vez que a fronteira agrícola movendo para noroeste de São Félix do Xingu se junte com a expansão na direção leste da BR-163. As simulações realizadas concluem que a tendência atual levaria à eliminação de 40% da floresta amazônica em um prazo de 50 anos, com graves efeitos relativos à emissão de gás carbônico e extinção de espécies. O cenário de governança reduziria o número de bacias hidrográficas, eco-regiões e mamíferos ameaçados em cerca de dois terços, e evitaria a emissão de gás carbônico equivalente a dois anos de emissões induzidas antropicamente.

Soares Filho et al. (2006), colocam que a conservação de maior magnitude dificilmente seria atingida apenas pela implementação da legislação ambiental, mas se tornaria mais provável se o mercado internacional impuser padrões ambientais mais elevados para a carne, a soja e outras *commodities* do gênero.

Os autores consideram, porém, que, como os benefícios da conservação da Amazônia atingiriam toda humanidade, os países desenvolvidos devem estar dispostos a pagar para fazer que a governança da fronteira seja politicamente viável. Assim, além dos incentivos de mercado por meio de certificação para carne, soja e madeira, parte dos fundos necessários deveria provir da venda de créditos de carbono.

Assim, os recentes avanços no “*enforcement*” da legislação florestal e pelas práticas de planejamento regional em curso ao longo das maiores rodovias são dois dos esforços de conservação de larga-escala que poderiam ser alvo de investimentos. Soares Filho et al. (2006), reforçam ainda que uma estratégia de conservação, para evitar o colapso da floresta tropical regional, deve ter a preocupação de incluir terras fora das áreas protegidas.

McGrath (1997) defende que a conservação da biodiversidade seja incluída como um componente de uma estratégia mais ampla, a qual tenha como objetivo a conservação da biosfera e não das espécies *per se*, o que seria, provavelmente até mais eficaz para a própria conservação da biodiversidade. Essa estratégia seria ainda mais viável e realista quanto às possibilidades e demandas do curso atual de desenvolvimento, especialmente na Amazônia. McGrath (1997) ressalta que estamos lidando com um prolongado período de intensa mudança ambiental, diante do qual nossa capacidade de parar ou mesmo de atenuar o processo é muito limitado. Deveríamos, então, aceitar que a maioria dos ecossistemas serão

manejados e humanizados, e a preocupação não deve ser de tentar preservar os ecossistemas originais, mas assegurar que as transformações (inevitáveis) levem a ecossistemas produtivos e sustentáveis, pois o fundamental não é a presença ou ausência de espécies, mas o desempenho do ecossistema como um todo.

Citando novamente McGrath; Vera-Diaz (2006, p.153), especificamente acerca da soja, os autores afirmam que “a avaliação dos impactos ambientais da soja na Amazônia é complexa, pois a cultura instalou-se recentemente na região e os poucos estudos existentes estão apenas na fase de implantação”. De toda forma, ressaltam que “não é útil comparar os impactos ecológicos da implantação da soja com as características ecológicas da floresta natural intocada”. Ou seja, deve-se avaliar a soja em relação a outros sistemas de uso. Além disso, é difícil diferenciar entre o impacto específico da sojicultura e as mudanças provocadas pela alteração da cobertura vegetal.

Os autores buscam então avaliar tais impactos ressaltando, entretanto, um ponto em que se diferenciam dos preservacionistas: não é útil comparar os impactos das atividades (entre elas a sojicultura) com as características da floresta natural intocada, uma vez que a história indica que inevitavelmente boa parte da Amazônia será alterada nas próximas décadas. O indicado, então, é avaliar uma atividade como a soja em relação às alternativas de uso do solo, como a pecuária e a agricultura de queima e corte.

McGrath e Vera-Diaz (2006) ressaltam, porém, que avaliando os impactos da soja comparativamente a outros sistemas como pecuária e agricultura de corte e queima, três considerações devem ser feitas: a soja permite uma distinção entre área de floresta e área de cultivo, sendo, portanto, potencialmente compatível com a manutenção da floresta (diferentemente dos outros dois); não provoca incêndio acidental, como ocorre nos outros casos em virtude do uso de fogo para “limpar” pastos e roçados e faz uso mínimo de água dos rios locais, provocando menos destruição da mata ciliar.

Nepstad et al. (2001) colocam que os impactos ambientais das atividades humanas sobre a floresta variam bastante de acordo com o tipo de uso (fazendeiros, extração madeireira, seringueiros, etc). Segundo os autores, os fazendeiros (que desmatam para preparar a terra para pasto de gado ou para o cultivo) são os que causam maiores efeitos na hidrologia da floresta, estoque de carbono, diversidade de espécies da floresta.

Resumidamente, então, apesar dos possíveis impactos serem semelhantes aos das demais atividades, a soja teria a vantagem de ser uma atividade mais restrita a áreas específicas, de modo que o grande perigo do ponto de vista ambiental seria o de uma expansão desordenada da soja, na qual produtores empregassem práticas oportunistas e inadequadas, visando apenas a maximização do lucro, cultivando em áreas não indicadas, desrespeitando do Código Floresta e não adotando boas práticas de uso do solo. Os autores apontam que a forma de evitar tal cenário é a implementação de “uma ampla estratégia de ordenamento territorial e gestão ambiental”, evitando o oportunismo de curto prazo e incentivando sistemas que priorizem o médio e o longo prazo, fortalecendo mecanismos que ordenem a agroindústria na região.

Assim, uma análise das posições indica que o preservacionismo não parece realista e viável, pois um dos fatores que fazem o meio ambiente ser importante é a possibilidade de fornecer recursos úteis para humanidade, de modo que os ecossistemas serão (inevitavelmente) alterados a fim de atender tais demandas. Por outro lado, essa satisfação das necessidades humanas não pode ser buscada de modo desordenado, devendo ser racionalizada, a fim de que realmente proporcione os melhores efeitos, para a maior quantidade de pessoas e pelo maior período possível, o que indica a necessidade de um “freio” na visão do crescimento econômico acelerado (cuja tendência é ser benéfico para um grupo restrito e visar apenas à maximização dos lucros, mesmo que às custas do equilíbrio ecológico). Portanto, a busca de “alternativas intermediárias” aparece, realmente, como a posição mais adequada, tendo uma visão viável e realista, que percebe que os recursos naturais são úteis para o homem e devem ser usados, mas de tal maneira que os sistemas se mantenham produtivos e sustentáveis.

### 2.3.5 Agronegócio na Amazônia: Oportunidades de Conservação

Nepstad et al. (2006) consideram que a pecuária e o avanço da soja são os vetores principais do desmatamento na região e se aceleram principalmente em virtude da demanda internacional. A globalização parece, então, à primeira vista, um fator que representaria uma ameaça à conservação da Amazônia. Como colocam Nepstad et al. (2006), o aumento no desmatamento, entre 2002-2004, foi um sintoma da tendência de expansão agroindustrial do Brasil.

Entretanto, os mesmo autores consideram que as “teleconexões” que levaram à expansão da agroindústria também podem aumentar o potencial para conservação em larga-escala na região. Os autores apontam que “a economia da Amazônia é crescentemente susceptível ao mercado, em um processo pelo qual se acelera a taxa pela qual agricultura e pecuária estão substituindo ou empobrecendo a floresta nativa” (NEPSTAD et al., 2006, p.2). As atuais estratégias mitigadoras devem então ser revistas. Como já mencionado anteriormente, fatores como desvalorização da moeda e erradicação de doenças permitiram um aumento na exportação de carne brasileira e amazônica.

A soja, por sua vez, se expandiu Amazônia adentro no início dos anos 90, à medida que se desenvolveram novas variedades adaptáveis às condições climáticas regionais e que o preço mundial foi impulsionado. Demanda crescente, baixos preços de terra e infra-estrutura de transporte melhorada incentivaram as grandes empresas a investirem na região, levando a um aumento de 15% ao ano na produção de soja na região de floresta fechada da Amazônia.

Na visão dos autores, então, a oportunidade de conservação apresentada pelo crescimento da agroindústria brasileira se baseia na pressão geral exercida sobre os sojicultores e pecuaristas, para que esses reduzam os impactos (ambientais e sociais) negativos decorrentes de seus sistemas produtivos. A adoção de padrões ambientais e sociais como condição para empréstimos bancários e a preocupação expressa pelos países importadores de que a soja e a carne brasileira não provoquem desflorestamento, trabalho escravo e risco de doença são exemplos de “caminhos” pelos quais a globalização pode representar oportunidade de conservação.

Diante da realidade da região amazônica, o custo econômico relacionado ao cumprimento de legislações ambientais é um dos maiores obstáculos para que se

consiga atender os pré-requisitos exigidos por um número cada vez maior de mercados e instituições financeiras. Uma alternativa sugerida para compensar esses custos seria um sistema de certificação ambiental, o qual promoveria acesso a mais mercados e, talvez, preços maiores.

Ao mesmo tempo, o acesso a novos mercados, e o preço mais alto, proporcionados pela certificação, poderiam incentivar taxas de desmatamento ainda maiores, razões pelas quais a gestão do setor agroindustrial requer zoneamento de uso do solo para evitar uma expansão desenfreada.

Desta forma, os autores colocam que a redução dos custos sociais e ambientais resultantes da expansão da agroindústria na Amazônia, pode ser atingida por meio de um programa que: force os produtores a cumprirem a legislação, por meio de monitoramento rigoroso e punição; recompensa para o cumprimento por meio de certificação que facilite acesso a mercados e a crédito; e adoção de zoneamento que impeça a expansão desgovernada da agroindústria e da pecuária em direção a áreas inapropriadas.

Nepstad et al. (2006) concluem que se trata de “uma nova era para o desenvolvimento e conservação da Amazônia”, na qual as forças econômicas vetores do desmatamento cresceram poderosamente. Logo, nas regiões onde a pecuária e a agroindústria são altamente lucrativas, será muito difícil que se consiga conservação apenas por “comando e controle”. Porém, a restrição de mercados globais apenas àqueles produtores que implementem manejo ambiental em suas propriedades, com efetivo zoneamento do uso da terra, pode fazer que a “Conexão Hambúrguer” inverta seu papel original, tornando-se um mecanismo a favor da conservação da floresta amazônica.

### **3 O AVANÇO DO AGRONEGÓCIO NA AMAZÔNIA E SEUS IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE**

#### **3.1 IMPACTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS À AGROPECUÁRIA**

A ocorrência de impactos ambientais, como, por exemplo, os processos de erosão e/ou assoreamento, é um condicionante de grande importância para as atividades humanas, especificamente no que se refere ao uso do solo. Por outro lado, o próprio uso inadequado do meio físico muitas vezes desencadeia ou acelera aqueles impactos, na medida em que alteram o equilíbrio natural da área.

A seguir, busca-se expor os impactos ambientais que podem surgir relacionados à pecuária e à expansão da monocultura de soja em uma região de floresta, na Amazônia.

Um exemplo de grande impacto que pode ser provocado por esse tipo de atividade diz respeito à erosão que as mesmas podem vir a provocar. A água trabalha constantemente moldando a superfície terrestre, levando consigo sedimentos e material dissolvido que são carregados para os cursos d'água, podendo chegar até o mar. Assim, o próprio rio é um produto do terreno em que se encontra: o tipo de solo, o relevo e a vegetação locais irão ser determinantes para a forma, o tamanho e a vazão do rio. Há na natureza, portanto, um equilíbrio entre drenagem, tipo de solo, clima, vegetação, etc.

Quando a relação natural existente entre aqueles fatores é quebrada, por exemplo, devido à alteração na cobertura vegetal original (o que pode vir a ser o caso dessas monoculturas), as conseqüências são sentidas não apenas localmente, mas por toda bacia hidrográfica, bem como pelos seres vivos que nele habitam.

Outro tipo de impacto que alguns pesquisadores apontam diz respeito à questão social, uma vez que a entrada de grandes produtores (como no caso da soja) tenderia a “desestabilizar” a organização e a dinâmica social até então estabelecidas, alijando a participação dos pequenos produtores locais, que não teriam condições de se manter atuantes em uma nova realidade que requereria altos investimentos.

Fearnside (2001) expõe que a conversão de terras para o cultivo de soja tem como um primeiro e mais óbvio impacto a perda de ecossistemas naturais, convertidos para soja. O mesmo autor, em outro trabalho, argumenta que a vasta

extensão e a explosiva taxa de desmatamento aceleram a eliminação de ecossistemas naturais, fecham a porta para os mais promissores usos da região pelo homem e provocam impactos de escopo regional e, em alguns casos, global (FEARNSIDE, 1990).

Fearnside (1990) argumenta que o total desmatado ainda é relativamente pequeno se comparado à área da Amazônia Legal como um todo, o que muitas vezes faz que preocupações com o desmatamento sejam tomadas como "alarmistas". O autor considera, porém, que tal visão é equivocada, pois a explosão da taxa de desmatamento é muito mais importante que a área absoluta aberta até agora, concluindo que simples projeções tornam óbvio que ações governamentais rápidas e firmes são necessárias para combater as forças por trás daquela tendência de desmatamento. E enfatiza que "o desmatamento não é um problema que vai se resolver por si mesmo, sem decisões conscientes por parte dos líderes nacionais. As tendências são resultado de forças identificáveis, sujeitas ao controle do governo por várias formas" (FEARNSIDE, 1990, p.181).

Dentre as mudanças ambientais associadas ao plantio da soja costuma-se citar, então:

a) a contribuição ao desmatamento e seu impacto na floresta remanescente, pontos que suscitam polêmica, mas que segundo McGrath; Vera-Diaz (2006) sistemas intensivos (como a sojicultura) possibilitam a separação da floresta e campo de forma sistemática, permitindo a coexistência de áreas de floresta natural e áreas de cultivo de grãos;

b) as modificações no solo, principalmente pela retirada da cobertura vegetal e utilização de máquinas pesadas que acabam por compactá-lo, provocando intensificação do processo de erosão do mesmo, risco que segundo os autores é atenuado pela tendência de implantação da soja em áreas planas;

c) as alterações no sistema hidrológico, com mudanças na taxa de escoamento da chuva pelo solo, na variação anual da vazão dos rios, nas características biogeoquímicas da água, no volume de sedimentos nos cursos d'água e mesmo no clima regional;

d) os impactos dos agrotóxicos, em que a soja teria uma vantagem em relação a outras culturas da agroindústria, em função de sua menor dependência de insumos químicos, havendo, porém um dado preocupante que se refere à tendência

dos sojicultores de compensarem a falta de mão-de-obra aumentando o uso de agrotóxicos;

e) os efeitos na biodiversidade, afetada pela redução e/ou alteração do habitat, o que não deveria ter efeito direto significativo se o Código Florestal fosse cumprido.

Pode-se concluir então que, dentre os impactos ambientais relacionados ao à pecuária e ao avanço da monocultura soja, um dos principais será o desmatamento e suas conseqüências, motivo pelo qual o mesmo será analisado especificamente a seguir.

Hecht et al. (1988) colocam que a conversão de florestas tropicais é considerada um dos maiores problemas ambientais, com impactos no clima, erosão do solo, regimes hidrológicos, disponibilidade e qualidade das águas, etc.

Acerca dos impactos do desmatamento, Fearnside (1990) aponta ainda efeitos sobre os rios e o clima. No primeiro caso, o desmatamento promove aumento do runoff, resultado da combinação da compactação do solo (o que causa redução da infiltração da água de chuva) com a área de folhagem reduzida (o que causa decréscimo na evapotranspiração). Assim, à medida que o desmatamento da Amazônia avance, é de se esperar que os rios na região tenham fluxos reduzidos nos períodos de seca e maiores e mais irregulares nos períodos de cheia.

Em relação ao clima, Fearnside (1990) explica que a chuva na Amazônia está intimamente relacionada à presença de floresta, pois a evapotranspiração é o *input* ao estoque de vapor d'água na atmosfera sobre a Amazônia e regiões vizinhas. Assim o impacto do desmatamento sobre o ciclo hidrológico é uma preocupação séria em razão de potenciais efeitos negativos sobre a sobrevivência da floresta e a agricultura. Conclui alertando que o agravamento do período de seca/estiagem poderia ser desastroso, mesmo que a média de precipitação anual não fosse afetada.

### 3.2 MUDANÇA DA COBERTURA VEGETAL EM REGIÕES DE FLORESTAS TROPICAIS E SEUS EFEITOS SOBRE O CICLO HIDROLÓGICO

Para se discutir os efeitos que o desmatamento pode provocar sobre o ciclo hidrológico, faz-se necessário revisar alguns aspectos gerais sobre o ciclo hidrológico e as processos que o compõe.

### 3.2.1 Ciclo Hidrológico e Balanço Hídrico em uma Bacia Hidrográfica

O ciclo hidrológico é o “fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela radiação solar associada à gravidade e à rotação terrestre” (TUCCI, 2000, p.35). Entretanto destaca-se que o ciclo só é fechado em nível global, uma vez que o que é evaporado em certo local não necessariamente se precipitará no mesmo local, podendo se movimentar e vir a precipitar em outra área.

Desta forma, o ciclo hidrológico se constitui basicamente em um processo contínuo de transporte de massas d'água de mananciais (lagos, rios, oceanos) para a atmosfera e desta, através de precipitações, escoamento (superficial e subterrâneo) novamente para os mananciais. O ciclo hidrológico tem, nos fenômenos de evaporação e precipitação, os seus principais elementos responsáveis pela contínua circulação de água no globo (esquema 1).

De acordo com Tucci (2000), o fluxo sobre a superfície terrestre é positivo (precipitação menos evaporação), resultando nas vazões dos rios em direção aos oceanos. O fluxo vertical dos oceanos é negativo, com maior evaporação que precipitação. O volume evaporado adicional se desloca para os continentes através do sistema de circulação da atmosfera e precipita, fechando o ciclo.

Por se tratar de um ciclo, obviamente não se pode apontar um início ou um fim para o mesmo. Então, conforme Tucci (2000), pode-se começar a descrever o ciclo a partir do vapor d'água presente na atmosfera que, simplificada, condensam-se e levam à precipitação, principal forma de transferência de água da atmosfera para a superfície terrestre.

A água que atinge o solo tem diferentes destinos. Parte infiltra-se no interior do solo, cuja umidade é aproveitada pelos vegetais que a absorvem pelas raízes e a devolvem à atmosfera por transpiração. O que os vegetais não aproveitam percola para o lençol freático, contribuindo para o escoamento de base dos rios. A infiltração é assim importante, para regular a vazão dos rios, distribuindo-a ao longo de todo o ano, evitando, assim, os fluxos repentinos, que provocam inundações.

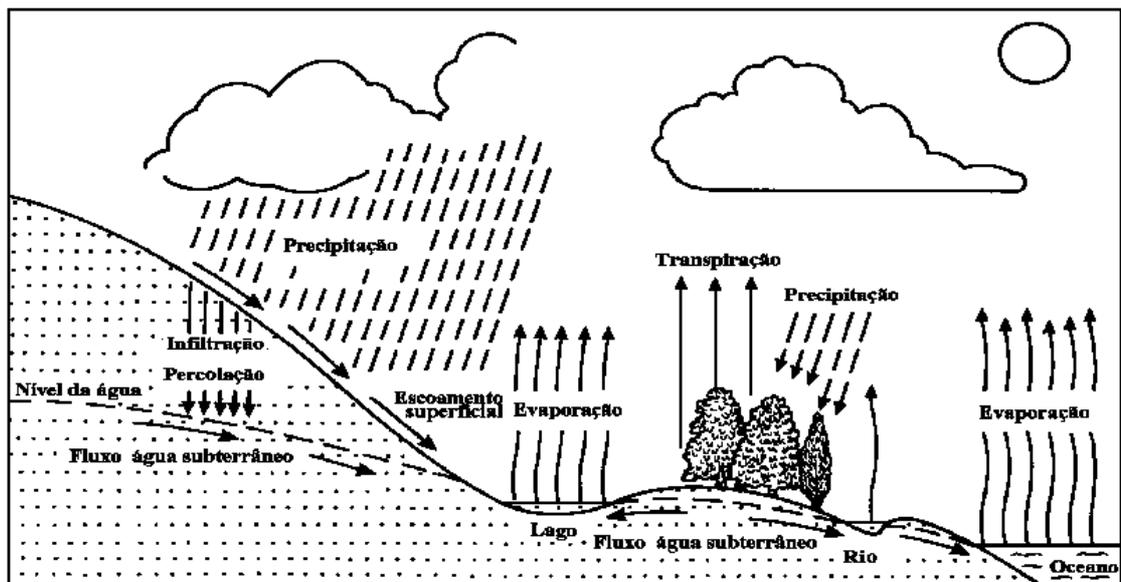
Uma segunda parte da água precipitada sobre a superfície terrestre promove o escoamento superficial em direção às áreas de altitudes mais baixas, alimentando diretamente os lagos, riachos, rios, mares e oceanos. Caindo sobre uma superfície

coberta com vegetação, parte da chuva fica retida nas folhas. A água interceptada evapora, voltando à atmosfera na forma de vapor.

Tucci (2000, p.37) conclui afirmando que “em qualquer tempo e local por onde circula a água na superfície terrestre, seja nos continentes ou oceanos, há evaporação para a atmosfera, fenômeno que fecha o ciclo hidrológico”.

Pode-se então identificar os seguintes processos componentes do ciclo:

- a) Precipitação: consiste no vapor de água condensado que cai sobre a superfície terrestre.
- b) Infiltração: fluxo de água da superfície para o interior do solo.
- c) Escoamento superficial: é o movimento das águas na superfície terrestre em razão da gravidade.
- d) Evaporação: transformação da água no seu estado líquido para o estado gasoso.
- e) Transpiração: é a forma como a água existente nos vegetais se transforma em vapor d'água.
- f) Evapotranspiração: é o processo conjunto pelo qual a água precipitada sobre a superfície volta à atmosfera através da transpiração dos vegetais ou pela evaporação direta (quando não absorvida).
- g) Condensação: é a transformação do vapor de água em água líquida, com a criação de nuvens e nevoeiro.



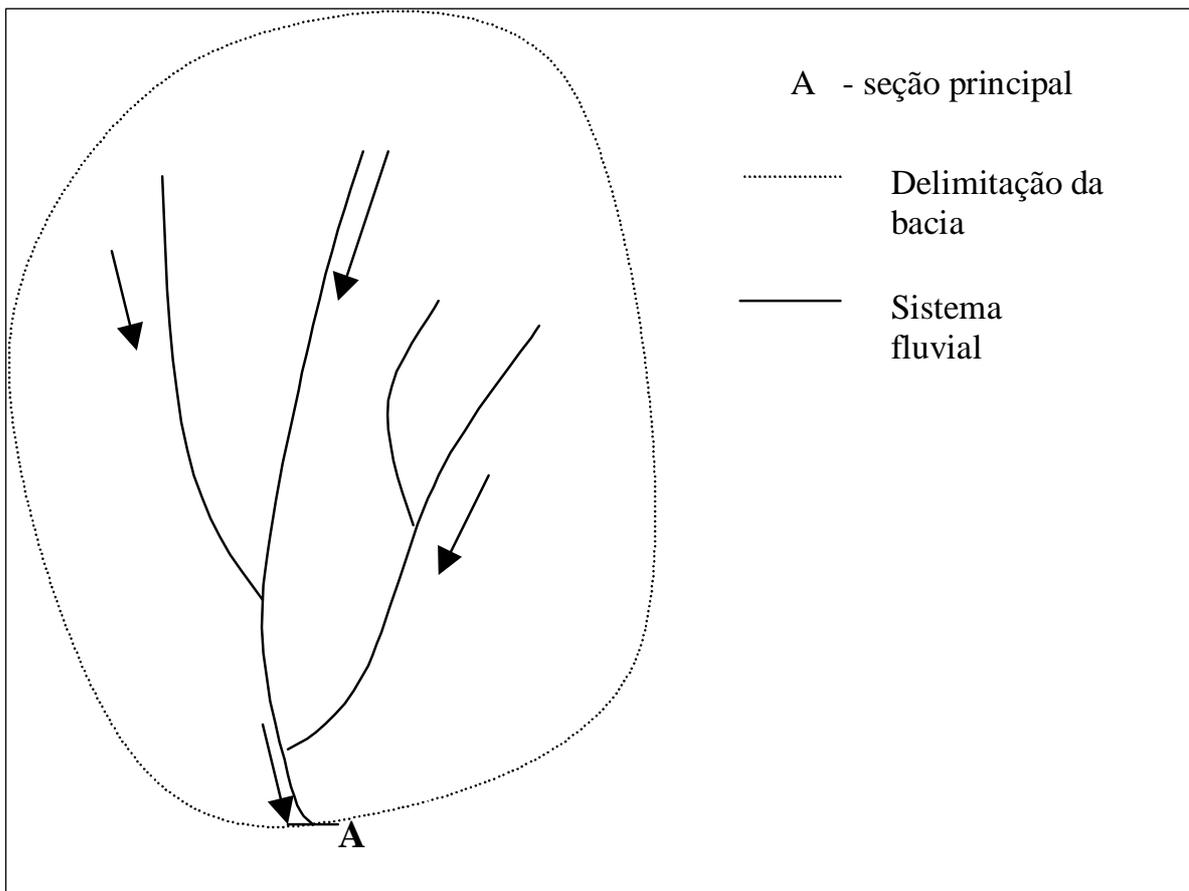
Esquema 1- Representação esquemática do ciclo hidrológico  
Fonte: Modificado de TUCCI (2003)

Conforme afirma Tucci (2000, p.40) “o ciclo hidrológico é normalmente estudado com maior interesse na fase terrestre, onde o elemento fundamental de análise é a bacia hidrográfica”, a qual é definida por ele como “uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório”.

Desta forma, é composta basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d’água que confluem até resultar um leito único no exutório.

Tucci (2000) explica que a bacia hidrográfica do escoamento subterrâneo pode ser diferente da superficial, entretanto a diferença entre elas diminui com o aumento da bacia ou a escala da informação.

O esquema 2 exemplifica uma bacia hidrográfica hipotética, na qual a drenagem converge para o exutório, representado pela seção transversal “A” do rio.



Esquema 2- Representativo da delimitação de uma bacia hidrográfica  
Fonte: Tucci (2003)

Na perspectiva de um estudo hidrológico, o conceito de bacia hidrográfica envolve explicitamente o conjunto de terras drenadas por um corpo d’água principal

e seus afluentes e representa a unidade mais apropriada para o estudo qualitativo e quantitativo do recurso água.

Em hidrologia, balanço hídrico é o resultado da quantidade de água que entra e sai de uma certa porção do solo em um determinado intervalo de tempo.

Devido ao fato de que a quantidade total de água disponível na Terra é finita e indestrutível, podemos encarar o ciclo hidrológico global como sendo um sistema fechado. Um balanço hídrico pode ser desenvolvido para explicar os componentes hidrológicos e expresso pela seguinte equação:

$$P - ET - R - I \pm \Delta A = 0$$

Sendo P a precipitação, I a infiltração, ET a evapotranspiração, R o escoamento superficial da água e  $\Delta A$  a variação da água armazenada no solo.

Para um período longo (acima de um ano) admite-se que a quantidade de água armazenada no solo não varia significativamente, ou seja,  $\Delta A$  será igual a zero, simplificando a expressão para a forma:

$$P - ET - R - I = 0$$

Por sua vez, para uma bacia de grande extensão, na qual a área da bacia superficial coincidirá com a drenagem subterrânea, admite-se que todo o escoamento subterrâneo convergirá para o mesmo ponto que as águas superficiais, ou seja, haverá um único exutório para a bacia, para o qual toda a drenagem (superficial e subterrânea) estará convergindo. Dessa forma, a parcela “infiltração”, para um período longo em uma bacia de grande escala, se subdividirá em parcela “evaporação” (incorporada à parcela ET) e escoamento subterrâneo (o qual converge para o exutório), de modo que equação acima passa a ser reescrita como:

$$P - ET - Q = 0$$

na qual “Q” representa a descarga que passa por aquela seção (exutório).

Desta forma, o entendimento das alterações ocorridas em um daqueles parâmetros estará associado ao entendimento (e ao mesmo tempo facilitará o

entendimento) das mudanças verificadas nos demais. Logo, convém destacar aqui as parcelas referentes às precipitações e evapotranspiração.

Conforme o mecanismo fundamental pelo qual se produz a ascensão do ar úmido, as precipitações podem ser classificadas em:

a) Convectivas: ocorre quando o ar úmido aquecido na vizinhança do solo fica menos denso sobe, diminui a temperatura, condensa e precipita. É típica de regiões equatoriais e se caracterizam, em geral, por serem de grande intensidade, pequena duração e restritas a áreas pequenas;

b) Orográficas: acontece quando ventos quentes e úmidos, geralmente provenientes do oceano para o continente, encontram barreiras físicas, elevando-se e, com isso, resfriando-se. Desta forma, condensam e precipitam sobre áreas montanhosas. Atua sobre bacias pequenas com intensidade variável.

c) Frontais: provêm da interação de massas de ar quente e frias, fazendo que o ar quente (menos denso) é impulsionado para cima, resultando no seu resfriamento e na condensação do vapor d'água, de modo a produzir chuva.

Por sua vez, a evaporação e a evapotranspiração ocorrem quando a água líquida é convertida para vapor de água e transferida, neste estado, para a atmosfera.

O processo ocorre naturalmente, se houver ingresso de energia no sistema, proveniente do sol, da atmosfera, ou de ambos e, será controlado pela taxa de energia, na forma de vapor de água que se propaga da superfície da Terra.

O sol emite radiações de onda curta, da qual parte é absorvida, refletida ou dispersa pela atmosfera, de modo que apenas parte atinge a superfície da Terra. Da parcela que atinge a superfície da Terra, parte é refletida (albedo) e parte é absorvida (TUCCI, 2000). Da parcela absorvida, uma parte retorna na forma de comprimento de onda longa (onda térmica).

Garcez; Alvarez (1999) explicam que apesar da radiação solar ser a fonte primária de energia do ciclo hidrológico, uma vez que o ar quente e seco absorve muito pouco as radiações de médio e pequeno comprimento de onda, o aquecimento da atmosfera acaba se dando, principalmente nas camadas inferiores, graças à “emissão secundária” da superfície terrestre, que absorve a energia de ondas curtas e emana energia de ondas longas (mais facilmente absorvidas pelo vapor d'água e pelo gás carbônico).

A evaporação é controlada pela diferença de tensão de vapor na atmosfera e depende da temperatura próxima da superfície, logo, será influenciada pelas quantidades de energia refletida (albedo) e absorvida pela superfície terrestre. A energia empregada neste processo de mudança de fase (de líquido para gasoso) é denominada calor latente de vaporização.

### **3.2.2 Cobertura Vegetal x Ciclo Hidrológico**

Bruijnzeel (1990, p.1) alerta que “em virtude do progressivo aumento da população mundial, há um conseqüente aumento na demanda de água e terra, geralmente à custa da vegetação natural remanescente”.

Estimativas acerca da área de florestas naturais nos trópicos úmidos e da taxa em que as mesmas estão desaparecendo obtidas por diferentes autores apresentam enorme variação, indo, por exemplo, de 9-15 milhões de ha/ano (SEILER; CRUTZEN, 1980 apud BRUIJNZEEL, 1990) a 24,5 milhões de ha/ano (MYERS, 1980, apud BRUIJNZEEL, 1990). Independentemente de tal discrepância, “há um sentimento geral de que o desaparecimento de florestas tropicais úmidas constitui um dos maiores problemas ambientais para a espécie humana” (BRUIJNZEEL, 1990, p.1).

De modo geral, a evapotranspiração (ET) anual para uma dada floresta tende a estar correlacionada com a pluviometria anual, como um resultado de maior interceptação da chuva nos anos chuvosos e de uma limitação na transpiração pelo déficit de umidade do solo nos anos secos (BRUIJNZEEL, 1990).

Bruijnzeel (1990) contesta o senso comum quanto ao papel das florestas, segundo o qual o complexo formado por solo da floresta, raízes e serrapilheira agiria como uma esponja (absorvendo/estocando água durante épocas chuvosas e liberando nos períodos secos). O autor argumenta que na realidade essa água é utilizada muito mais para consumo da própria floresta que para abastecer o fluxo do canal.

### **3.2.3 Mudança na Descarga do Canal**

Segundo Costa et al. (2003), modificações na descarga / vazão de longo-prazo de um rio podem ser causadas por diversos fatores: variabilidade climática

(decadal), mudanças no uso de terra e na cobertura vegetal rio acima, construção de grandes lagos artificiais, desvio de água para irrigação.

Bruijnzeel (1990) recomenda que o estudo de modificações no balanço hídrico seja feito por meio do método de “pares de bacias de captação”, que consiste em uma comparação hidrológica de bacias com características similares (tamanho, geologia, declividade, vegetação, etc).

Bruijnzeel (1990) faz uma revisão do estado de conhecimento da hidrologia de florestas tropicais, expondo que dezenas de pesquisas realizadas em pequenas bacias têm apontado que o aumento do desflorestamento causa aumento da descarga anual.

Entretanto, Bruijnzeel (1990) constata que quase todos os estudos apresentados na literatura foram para bacias de captação relativamente pequenas, em que a maior parte das condições experimentais pode ser bem controlada.

Os estudos dos efeitos de mudanças na cobertura vegetal em grandes bacias (>100 km<sup>2</sup>) são bem mais raros e, diferentemente do que ocorre para as bacias pequenas, em geral não têm conseguido encontrar relações estatisticamente significativas indicando as mesmas tendências.

Os efeitos hidrológicos de mudanças na cobertura vegetal de uma área são mais difíceis de discernir para o caso de bacias de grande escala, pois em geral possuem variedade de classes de uso da terra e vegetação em vários estágios de regeneração. Além disso, nessas bacias, importantes variações espaciais e temporais na pluviometria podem ocorrer ao longo de décadas.

Costa et al. (2003) explicam que em uma grande bacia, os dois principais vetores de modificações na descarga são variabilidade da precipitação e mudanças no uso da terra e na cobertura vegetal rio acima. Em muitas regiões tropicais, mudanças em grande escala na cobertura vegetal envolvem substituição da vegetação natural por pastagens e plantações.

Em sua revisão, Bruijnzeel (1990) cita alguns poucos estudos acerca dos efeitos de mudanças na cobertura de bacias de meso ou grande escala, os quais não chegaram a resultados estatisticamente consistentes.

De toda forma, “mudanças perceptíveis a descarga do canal devem ser esperadas em situações em que grandes áreas de floresta tenham sido substituídas por culturas / plantações anuais, ao invés de serem deixadas para regenerar” (BRUIJNZEEL, 1990, p.97).

Um dos poucos estudos que obtiveram resultados estatisticamente consistentes para bacia de grande escala é o de Costa et al. (2003), o qual estuda a relação entre mudanças de grande escala na cobertura vegetal com o efeito sobre a descarga de um rio. Para tanto, os autores realizaram a análise da série histórica de 50 anos de dados de descarga da do Rio Tocantins, bem como a precipitação sobre a área durante um período no qual mudanças substanciais de cobertura do terreno ocorreram na bacia. Comparando um período com pouca alteração de cobertura com outro com mudanças mais intensas, as análises indicaram que a precipitação sobre a área não é estatisticamente diferente entre os períodos, a descarga média anual é maior no segundo período e a descarga na estação de cheia/enchentes também é estatisticamente maior no segundo período.

Costa et al. (2003) explicam que a menor rugosidade da superfície, a menor “área de folhagem” (relação entre superfície com folha e superfície total) e a menor profundidade das raízes dos pastos comparadas à floresta contribuem para reduzir a evapotranspiração (ET) e aumentar a vazão (Q).

Ainda de acordo com os mesmos autores, uma primeira explicação para tal seria pela menor área de folhagem da pastagem não interceptar tanta precipitação quanto a floresta, permitindo que uma maior fração atinja o solo.

Além disso, campos de pastagem produzem menos “serrapilheira” que a vegetação original, o que reduz a capacidade de “retenção” da superfície, aumentando a proporção de chuva que escoar como fluxo superficial (*run-off*).

Em resumo: é de se esperar que a substituição de vegetação natural tropical cause redução na ET e um aumento associado na descarga média anual.

### **3.2.4 Mudança no Regime do Canal**

Bruijnzeel (1990) destaca que, tão importante quanto à análise de mudanças na descarga total, é a análise de mudanças no regime, ou seja, na distribuição sazonal desse fluxo.

Certo aumento no volume da enxurrada e na magnitude dos picos do fluxo não podem ser evitados após a conversão da floresta, mas os efeitos podem ser mantidos em níveis toleráveis se forem adotados cuidados durante as atividades madeireiras e de desmatamento. Porém, acentuados aumentos (no volume de

enxurrada e magnitude de picos) podem ser trazidos por práticas inadequadas, tais como queimada e sobrepastoreio.

Usualmente, o desmatamento de florestas nos planaltos é apontado como a principal causa de enchentes de grandes rios. Porém, os estágios de cheia desses rios representam os fluxos de centenas de bacias menores, de modo que a enxurrada gerada por chuva intensa em uma área desmatada pode ser diluída por fluxos menores de outras áreas que estejam recebendo menos chuva naquele período (BRUIJNZEEL, 1990).

Qian (1983) e Dyhr-Nielsen (1986 apud BRUIJNZELL, 1990) realizaram pesquisas em bacias de meso-escala (respectivamente em Taiwan e Norte da Tailândia) que haviam passado por extenso desmatamento e não conseguiram detectar tendência sistemática na magnitude das enchentes, concluindo que fatores climáticos dominavam/preponderavam qualquer efeito de mudança no uso da terra.

No que se refere à descarga nos períodos de seca, deve-se ter em mente que áreas nas quais a descarga disponível para irrigação ou armazenamento em tais períodos já seja crítica, qualquer redução decorrente de mudanças na cobertura vegetal assumirá uma importância ainda maior.

Relatos de significativas reduções no fluxo em estações secas geralmente as atribuem ao desflorestamento (HARDJONO, 1980 apud BRUIJNZEEL, 1990; MYERS, 1986), o que a princípio parece contradizer a evidência já colocada de que ocorre aumento na descarga após remoção da vegetação.

Tal conflito é resolvido se tomarmos em consideração a seguinte explicação: “se oportunidades de infiltração após a remoção da floresta decresceram a ponto de que o aumento na quantidade de água deixando a área como enxurrada excede o ganho no fluxo de base associado com ET reduzida, então o resultado é um menor fluxo na estação seca” (BRUIJNZEEL, 1990, p.111).

Por outro lado, se as características de infiltração da superfície forem mantidas na maior parte da área, o efeito de ET reduzida após desflorestamento irá se apresentar como aumento no fluxo de base.

Em outras palavras, “se a mudança na infiltração associada ao uso da terra supera o efeito da evaporação reduzida, então uma mudança no regime de fluxo do rio deve ser esperada, com aumento dos picos durante a estação chuvosa e diminuição do fluxo na estação seca”.

### 3.2.5 Efeitos do desmatamento de Larga-escala sobre a Precipitação e a Vazão

Diversos estudos apontam, porém, que o desmatamento em uma maior escala pode ter efeitos diferentes dos citados até aqui. Observações de campo (GASH; NOBRE, 2007) e simulações numéricas (NOBRE; SELLERS; SHUKLA, 1991; COSTA et al., FOLEY, 2000; SAMPAIO et al., 2007; COE; COSTA; SOARES FILHO, B.S., 2009) revelam que o desmatamento da Amazônia em grande escala poderia provocar alterações no clima regional. Dentre essas mudanças, destaca-se aqui, em razão do enfoque dessa pesquisa, a tendência de redução da precipitação.

Costa e Foley (2000) colocam que numerosos estudos têm usado modelos gerais de circulação atmosférica para examinar os possíveis efeitos do desmatamento da Amazônia sobre o clima global e regional, com todas as simulações mostrando um decréscimo significativo na evapotranspiração e a maior parte deles indicando um decréscimo significativo da precipitação sobre a bacia Amazônica.

Coe; Costa; Soares Filho (2009) relatam que observações em micro ( $<1\text{km}^2$ ), meso ( $100\text{s km}^2$ ) e grande escala ( $1000\text{s km}^2$ ) indicam, conforme visto, que o desmatamento reduz a evapotranspiração e aumenta o fluxo do canal, em razão do índice de área de folhagem decrescido, profundidade e densidade das raízes menores e compactação do solo aumentada. Porém, uma vez que o desmatamento na bacia Amazônica ocorra em uma escala muito grande ( $>100.000\text{km}^2$ ), interações atmosféricas podem reduzir a precipitação regional significativamente.

Coe; Costa; Soares Filho (2009) explicam então que aqueles dois processos conduzem a influências que competem entre si no que se refere à vazão do canal, com a evapotranspiração local decrescida sendo consistente com um aumento na descarga, enquanto a precipitação regional reduzida é consistente com uma diminuição no fluxo do canal. A combinação destes processos, então, cria mudanças complexas no fluxo do canal, o qual varia espacialmente em função de condições locais e não locais.

Em seu trabalho, tais autores apresentam e avaliam os resultados de dois conjuntos de simulações numéricas; um com um modelo de superfície executado com o clima prescrito e outro com um modelo de circulação geral da atmosfera terrestre acoplado ao modelo de superfície, ambos já amplamente calibrados e validados para o Rio Amazonas.

Foram executadas então simulações dos seguintes cenários de desmatamento: histórico, moderno, ano 2050 com governança rigorosa do desmatamento e no ano 2050 com um cenário business-as-usual de desflorestamento.

Os resultados ilustram a influência do histórico e do potencial de desmatamento futuro sobre a evapotranspiração local e descarga do sistema do rio Amazonas, com e sem feedbacks atmosféricos e esclarecem alguns pontos importantes sobre o impacto do desmatamento na Amazônia. Na ausência de uma mudança de escala continental de precipitação, o desmatamento em larga escala pode ter um impacto significativo nos sistemas de grandes rios e parecem já tê-lo feito nos rios Tocantins e Araguaia, onde a descarga aumentou 25%, com poucas mudanças na precipitação. No entanto, com o extenso desmatamento (por exemplo, > 30% da bacia amazônica) feedbacks atmosféricos, provocados por diferenças na estrutura física das culturas e pastagens substitutas da vegetação natural, provocam mudanças no balanço hídrico da mesma ordem de grandeza que as mudanças devido a processos locais de superfície da terra, mas de sinal contrário. Além disso, as mudanças no balanço hídrico causadas por *feedbacks* atmosféricos não estão limitados àquelas bacias onde o desmatamento ocorre, mas se espalham de forma desigual em toda a Amazônia por meio da circulação atmosférica.

Como resultado, as mudanças de descarga e dos ambientes aquáticos em razão do desmatamento futuro da Amazônia provavelmente serão significativas e se darão como uma função complexa de quanto a vegetação foi removida de uma bacia hidrográfica específica e quanto foi removido de toda a Bacia Amazônica.

Nobre; Sellers; Shukla (1991) realizaram simulações de cenários com floresta e desmatado, utilizando um modelo numérico acoplado da atmosfera e da biosfera para avaliar os efeitos do desmatamento da Amazônia sobre o clima regional e global. O experimento de controle no estudo foi conduzido usando como condição de contorno a região Amazônica coberta com floresta tropical e o resultado mostrou que tal cenário era razoavelmente bem simulado pelo modelo.

Assim, os autores encontraram que, quando a floresta amazônica era substituída no modelo por pastagem, ocorria um decréscimo de cerca de 30% na evapotranspiração anual, de 25% na precipitação e de 20% no *runoff* na região.

Ainda de acordo com tais simulações, as mudanças seriam maiores para a estação seca, na porção sul da Amazônia.

Nobre; Sellers; Shukla (1991) explicam, de modo mais detalhado, que a absorção de radiação solar é reduzida na situação desmatada em razão do maior albedo da superfície, de modo que a energia radioativa efetiva disponível na superfície para ser dividida entre fluxos de calor latente e de calor sensível se torna bem menor no caso desmatado.

Adicionalmente, o menor índice de área de folhagem e a menor capacidade de estocagem de umidade do solo na situação desmatada têm como efeito a redução da taxa média de transpiração. Ainda, no caso de desmatamento, ocorre menos interceptação da precipitação e, daí, menor “re-evaporação”, uma vez que a rugosidade da superfície é menor. A redução na transpiração e as perdas na interceptação na situação desmatada implicam que, comparado à condição de floresta, uma maior proporção da energia radioativa efetiva se converte em calor sensível.

Nobre; Sellers; Shukla (1991) explicam ainda que seria muito provável que o runoff superficial aumentasse para uma área específica na qual floresta primária seja substituída por uma cobertura vegetal de pequeno porte. Também seria muito provável que o “runoff superficial da bacia Amazônica aumentaria após desmatamento em escala muito grande se alguém pudesse afirmar com confiança que a precipitação permanecesse sem alteração ou aumentasse” (NOBRE; SELLERS; SHUKLA, 1991, p. 972). Entretanto, os mesmos esclarecem que resultados de simulações sugerem que a redução nas taxas de precipitação da Bacia Amazônica seriam maiores que a redução na evapotranspiração, o que implicaria o *runoff* deveria de fato decrescer na escala da bacia.

Na mesma linha, Costa e Foley (2000) expõem que há expectativa de que a bacia Amazônica irá experimentar pelo menos duas mudanças ambientais principais nas próximas décadas e séculos: áreas cada vez maiores de floresta sendo convertidas para pastagem e agricultura e a continuação do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

Dessa forma, em seu estudo, os autores usam um modelo de circulação geral atmosférica e um simulador integrado de biosfera para determinar os efeitos combinados do desmatamento de larga-escala com as concentrações maiores de CO<sub>2</sub> sobre o clima Amazônico.

Quanto ao desmatamento, foram realizadas simulações em duas situações distintas: um cenário com floresta e outro no qual aquela fosse substituída por pastagem. Os resultados do experimento considerado “controle” (i.e. cenário com floresta e nível de CO<sub>2</sub> nos padrões atuais) são comparados com outros resultados relatados na literatura (obtidos por meio de dados de campo ou por simulações) concluindo que, de modo geral, os resultados encontrados são satisfatórios/razoáveis.

Especificamente sobre o efeito do desmatamento, as simulações realizadas indicaram que o desmatamento provocaria uma redução da precipitação sobre a bacia da ordem de 0,73mm/dia.

Em relação à evapotranspiração, Costa e Foley (2000) também corroboram com as explicações já mencionadas, de que o desmatamento provoca um decréscimo significativo na mesma, por meio de mudanças no albedo (menos energia absorvida), rugosidade reduzida, raízes menos profundas e menor área de folhagem.

Na mesma linha de estudo, Costa et al. (2007) expõem que em micro e meso escala o desmatamento geralmente resulta em ET reduzida e runoff e vazão aumentada. Em larga escala, porém, interações atmosféricas podem reduzir significativamente a precipitação regionalmente, e, se tal efeito for superior às mudanças locais na ET, pode resultar em redução na descarga e runoff.

Com o objetivo de avaliar se as conversões de floresta para pastagem ou para monocultura de soja teriam o mesmo impacto sobre o clima, os pesquisadores aplicaram dados de reflectividade de cada uma daquelas atividades em um modelo climático, e simularam os efeitos decorrentes da substituição de floresta pelas mesmas. Apesar de encontrarem que ambas as atividades provocariam redução de pluviometria na região, os resultados indicaram que no caso da substituição por soja os efeitos seriam bem mais significativos, com redução de chuvas de 15,7%, enquanto na substituição por pastagens, a queda de precipitação seria de 3,9%.

Costa et al. (2007) também atribuem esta diferença ao maior albedo da plantação de soja, que absorve menos radiação solar do que o pasto ou a floresta, diminuindo a disponibilidade de energia radioativa efetiva. Dessa forma, há uma diminuição das precipitações, pois as chuvas na região dependem principalmente da evapotranspiração, que é função da parcela de calor latente disponível.

Sampaio et al. (2007) corroboram, afirmando que o desmatamento em larga escala na Amazônia poderia alterar o clima regional significativamente. Tal efeito ocorreria porque a substituição de florestas por pastagens e plantações, as quais têm menor albedo e menor demanda de água, levaria a um decréscimo na radiação efetiva na superfície e menor convergência de umidade sobre a bacia.

Tais conclusões decorrem de trabalho em que Sampaio et al. (2007) usaram um modelo global de circulação atmosférica para avaliar os efeitos que o desmatamento da Amazônia teria sobre o clima regional, utilizando mapas de cobertura do terreno simulados para um cenário de *"business as usual"* de desmatamento futuro, no qual a floresta seria gradualmente substituída por pastagem ou por agricultura. Em cada caso, foram simulados cenários com percentuais de área desmatada de 20%, 40%, 50%, 60%, 80% e 100%. Os cenários com desmatamento inferiores a 40% são de Soares Filho et al. (2003), enquanto os demais (desmatamento maiores que 40%) foram obtido com a mesma metodologia, apenas avançando-se mais a simulação de desmatamento sob condição de *business as usual*.

O trabalho foca somente na porção oeste da Amazônia em razão da previsibilidade do clima pelo modelo usado sem maior para aquela região. Assim, especificamente para a região oeste da Amazônia (onde se espera mudanças mais intensas) os resultados mostram aumento na temperatura e redução na evapotranspiração e na precipitação, especialmente na estação seca. Destacam, porém, que a redução na precipitação na área é mais evidente quando o desmatamento excede 40% da extensão original da floresta.

Na realidade, pequena escala, descontinuidade e padrão heterogêneo de desmatamento podem a princípio governar circulações em meso-escala, o que poderia até mesmo provocar uma elevação na precipitação sobre áreas desmatadas. Entretanto, à medida que o desmatamento afete áreas maiores, com coberturas de solo mais homogêneas, processos terreno-atmosfera de larga escala se tornam dominantes (SAMPAIO et al., 2007).

Sampaio et al. (2007) explicam que o mecanismo subjacente à mudança na precipitação está ligado à redução da evapotranspiração associada com o aumento do albedo, o decréscimo no índice de área de folhagem, na profundidade das raízes e a redução na rugosidade do terreno, fatores que levam a um decréscimo no fluxo de calor latente da superfície. Assim, pela redução da evapotranspiração, a

eliminação da floresta diminui a quantidade de água “bombeada” para a atmosfera, dessa forma contribuindo para redução na precipitação.

Concluem, ainda, que a redução na precipitação pode criar condições favoráveis para alteração da estrutura da floresta, levando a um processo de savanização.

De modo geral, portanto, os estudos concluem que o desmatamento em larga-escala pode, de fato, provocar efeitos sobre o clima, mais especificamente sobre a precipitação, em virtude do surgimento de interações atmosféricas. Os autores explicam essa redução em razão do maior albedo, menor profundidade das raízes, menor rugosidade e menor índice de área de folhagem, fatores que levam à diminuição do calor latente, causando redução significativa na evapotranspiração e, daí, decréscimo no fornecimento de água para a atmosfera (NOBRE; SELLERS; SHUKLA, 1991; COSTA; FOLEY, 2000; SAMPAIO et al., 2007).

Deve-se enfatizar, porém, que tais conclusões (conforme descrito acima) advêm fundamentalmente de simulações de cenários futuros, utilizando modelos de circulação atmosférica nos quais condições de mudança de cobertura vegetal hipotéticas são arbitradas, controladas e alteradas pelos autores, ou seja, tais resultados são tidos como “possibilidades/ameaças para o futuro” e não como “realidades do presente”.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 DELIMITAÇÃO DO CAMPO DE PESQUISA E ANÁLISE

A definição acerca dos métodos a serem utilizados para desenvolvimento da pesquisa apresentada nesta proposta de trabalho torna interessante que se tenha bem definido:

- a) o que se pretende analisar;
- b) em qual período de tempo ;
- c) qual ênfase dada à pesquisa;
- d) quais as fontes de informação;
- e) qual o tratamento a que os dados serão submetidos e
- f) que tipo de resultados são esperados.

Geograficamente, o presente estudo delimitou como espaço empírico da pesquisa duas bacias hidrográficas, a primeira delas situada na microrregião de Santarém e a segunda na microrregião de Paragominas. Tal escolha se deu porque estas duas regiões vêm passando por processo de mudança da cobertura vegetal, encontrando-se, porém, em níveis distintos quanto ao avanço do desmatamento. Esta diferença permitirá a comparação e associar os efeitos sobre a hidrologia que podem vir a ocorrer em decorrência do desmatamento de florestas tropicais com a situação de devastação mais ou menos extensa e intensa.

Nesse contexto, a pesquisa abordará o problema por meio de uma análise de dados históricos da região, que permitirão verificar as mudanças ocorridas ao longo dos anos, com ênfase para a relação impactos hidrológicos x desmatamento.

A presente pesquisa pretende, então, colaborar no avanço do conhecimento acerca dos efeitos hidrológicos em bacias de grande escala (da ordem de milhares de km<sup>2</sup>), buscando atingir resultados estatisticamente significativos que confirmem (ou não) as tendências já comprovadas para as pequenas bacias e os resultados obtidos por modelos de previsão de cenários futuros e desta forma, contribuir para o conhecimento sobre como e quanto o nível de desmatamento influencia o ciclo hidrológico.

## 4.2 CARACTERIZAÇÕES GERAIS DAS ÁREAS DE ESTUDO

### 4.2.1 Introdução

Para as análises do presente trabalho, foram definidas como áreas de estudo, geograficamente, duas sub-bacias hidrográficas: a primeira delas, denominada Bacia do Rio Curuá-Una, localizada na micro-região de Santarém; e a segunda, Bacia do Rio Uraim, situada na micro-região de Paragominas. Conforme já mencionado, tais áreas foram selecionadas por exemplificarem situações distintas no que se refere ao nível de desmatamento da floresta amazônica.

Tais situações podem ser mais bem visualizadas por meio de alguns dados: os municípios da micro-região de Santarém, de modo geral, e mais especificamente aqueles mais próximos à Bacia do Rio Curuá-Una (quais sejam, Santarém, Belterra, Placas e Uruará) têm uma área total de aproximadamente 45.000 km<sup>2</sup>, da qual o total desmatado atinge atualmente cerca de 9.600 km<sup>2</sup> (INPE, 2010), ou seja, cerca de 20% da área. Ainda de acordo com os dados do INPE (2010), pode-se observar que de modo geral, a velocidade do avanço do desmatamento nesses municípios fez que o total desmatado passasse de cerca de 15% no ano 2000 para 25% em 2008. (Gráfico 3 e 4).

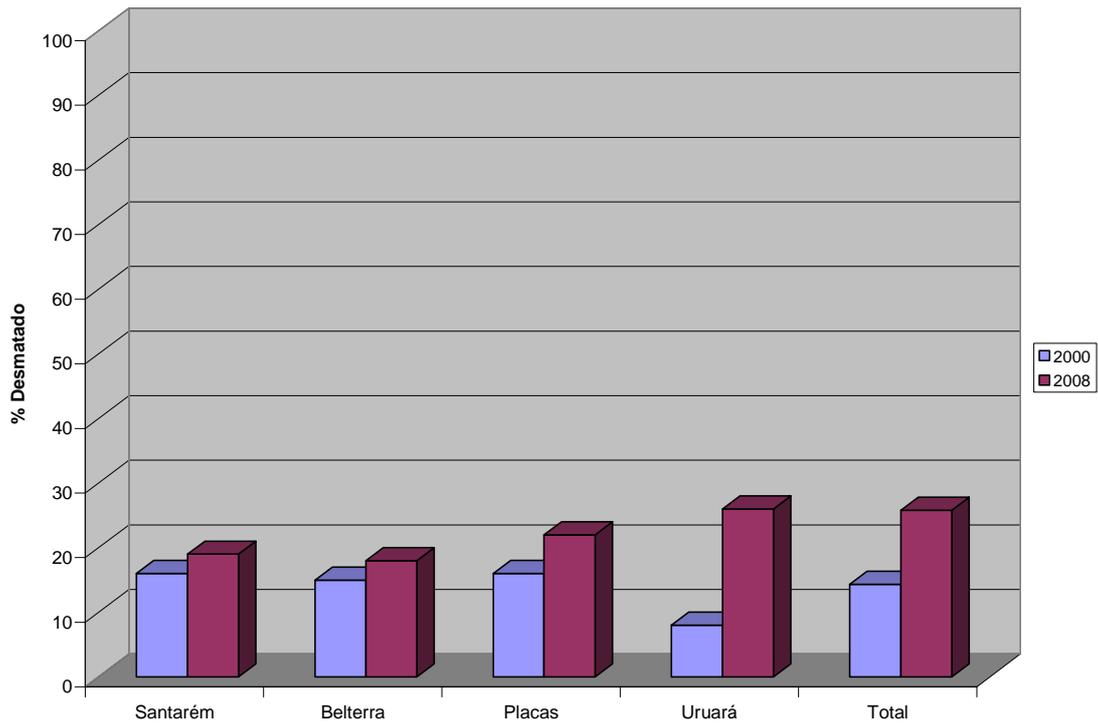


Gráfico 3 - Percentuais desmatados dos municípios da região da Bacia do Curuá-Una nos anos 2000 e 2008

Fonte: INPE (2010)

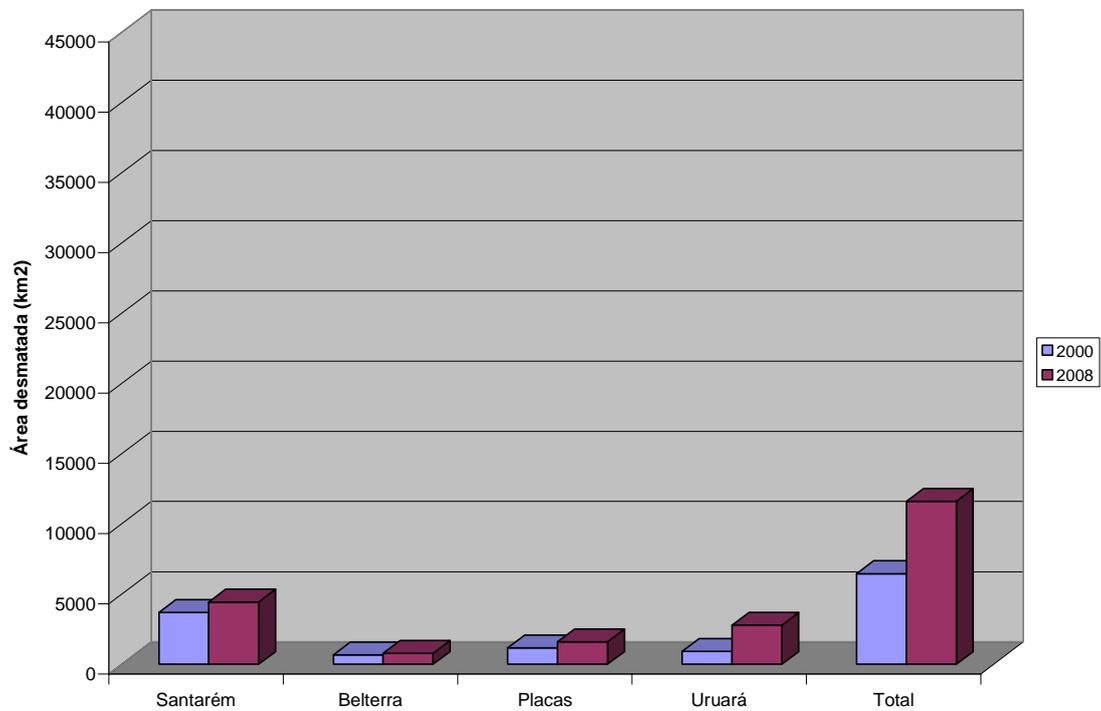


Gráfico 4- Áreas desmatadas (km<sup>2</sup>) dos municípios da região da Bacia do Curuá-Una nos anos 2000 e 2008

Fonte: INPE (2010)

Por sua vez, a bacia do Rio Uraim localiza-se em área com nível de devastação bem mais significativo. Somando-se a área do município de Paragominas (dentro do qual está compreendida praticamente a totalidade da bacia) com as áreas dos municípios do entorno (i.e. Ulianópolis, Dom Eliseu, Nova Esperança do Piriá, Goianésia e Ipixuna do Pará) obtém-se um total próximo de 45.000 km<sup>2</sup>, dos quais cerca de 23.000km<sup>2</sup> já foram desmatados, ou seja, acima de 50% da área (INPE, 2010).

Destaca-se ainda que o avanço ocorreu de forma acentuada na última década, com aumentos significativos em um curto intervalo de anos para vários daqueles municípios. Por exemplo, os avanços nos percentuais de área desmatada nos anos de 2000 e 2008 foram: de 15% para 45% em Paragominas; de 40% para 50% em Goianésia do Pará; de 43% para 65% em Ulianópolis; de 45% para 61% em Dom Eliseu; de 33% para 48% em Ipixuna do Pará; e ainda mais absurdos de 6% para 56% em Nova Esperança do Piriá (INPE, 2010) (Gráfico 5 e 6).

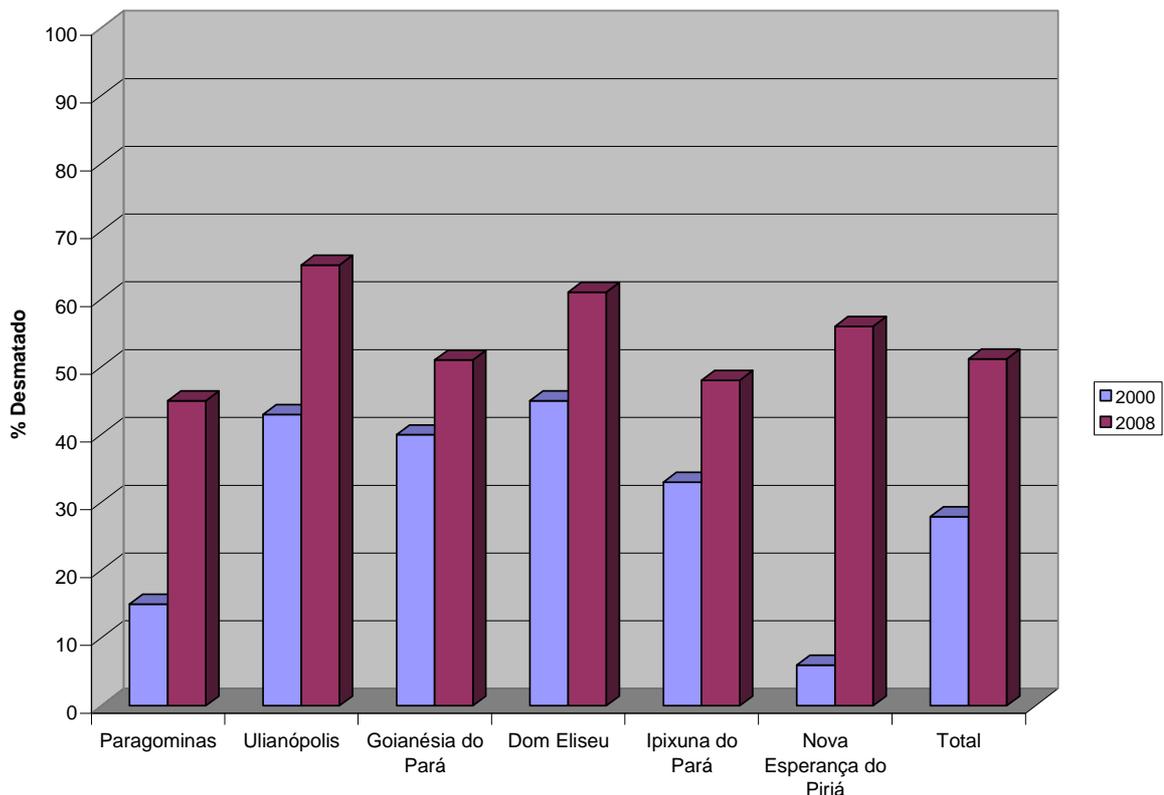


Gráfico 5- Percentuais desmatados dos municípios da região da Bacia do Uraim nos anos 2000 e 2008  
Fonte: INPE (2010)

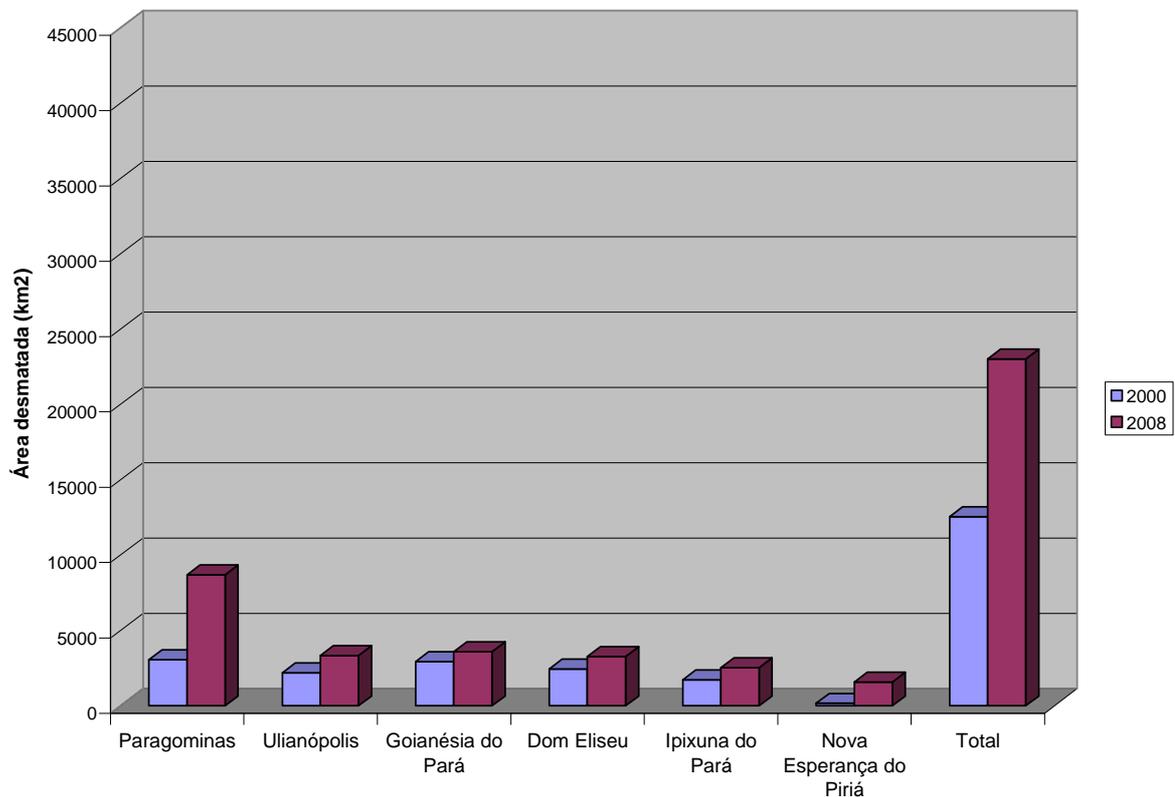


Gráfico 6 - Áreas desmatadas (km<sup>2</sup>) dos municípios da região da Bacia do Uraim nos anos 2000 e 2008  
Fonte: INPE (2010)

#### 4.2.2 Bacia do Curua-Una

##### a) Localização e Histórico Econômico da Área:

A bacia do Curua-Una se insere na microrregião Santarém, que por sua vez fica localizada na região Oeste do Pará (Figuras 1 e 2).

A ocupação da região oeste paraense se iniciou no século XVII, a partir da movimentação de diferentes grupos, como expedições militares portuguesas, missões religiosas, sertanistas em busca de “drogas do sertão” e tropes de resgate em busca de mão-de-obra indígena. Dessas movimentações surgiram povoados, dentre os quais Santarém.

A economia do município sempre se caracterizou por ciclos que vivenciou. O primeiro deles foi o das “drogas do sertão”, fortemente relacionado às missões jesuíticas.

O segundo ciclo foi o do cacau, no século XVIII, com o produto se tornando o principal produto de exportação. Nesta época, se desenvolveram plantações de arroz, café, milho, feijão, mandioca, algodão e tabaco.

No século XIX, a economia caracterizou-se pelo desenvolvimento da agricultura e comércio, destacando-se então a borracha, produto de maior aceitação no mercado mundial, naquele que foi o terceiro ciclo econômico, o Ciclo da Borracha, impulsionado pela descoberta do processo de vulcanização, que transformou a borracha em um bem de grande valor para a indústria automobilística. Neste período, as extrações de latex no Alto Tapajós proporcionaram a urbanização da cidade e o crescimento da economia regional. Foi neste período também que surgiu Belterra, a partir do grandioso projeto de Henry Ford para a região. Entretanto, com a entrada da borracha asiática nos mercados asiático e europeu, as exportações de borracha brasileira entraram em forte declínio, causando uma crise econômica e social sem precedentes na região, com sérios impactos negativos no comércio, agricultura, emprego, etc.

Após o declínio da borracha, já no século XX, Santarém passou por diversos ciclos. O quarto ciclo econômico foi o da juta, com as receitas do município se incrementando em função da instalação de pequenas indústrias, fábricas e estabelecimentos comerciais. Belterra, por sua vez, passou década “esquecida”.

Na década de 70, a Pimenta do Reino, desenvolvida pelos colonos japoneses, levou ao quinto ciclo econômico. No mesmo período, investimentos do Governo Federal, que objetivavam estabelecer uma “colonização” da Amazônia trazendo trabalhadores de outras regiões do Brasil (especialmente Nordeste), pretendiam reduzir a pressão social nas áreas de origem daquelas populações, ao mesmo tempo que garantiriam a ocupação/soberania brasileira para a região amazônica. O modelo primário-exportador, porém, não gerou agregados econômicos capazes de promover o desenvolvimento regional.

Na década de 80 se deu o sétimo ciclo econômico, relacionado ao extrativismo mineral, denominado Ciclo do Ouro. Este trouxe mudanças sócio-econômicas significativas, uma vez que as atividades auríferas demandavam bens de consumo e serviços do mercado santareno. Foi, então, um período de crescimento urbano, das atividades agropecuárias, comerciais, industriais e de serviços. Novamente, o declínio deste ciclo provocou crise econômica.

Atualmente, a economia da micro-região de Santarém tem como principal setor a agropecuária, com investimentos maciços na agricultura mecanizada, principalmente de produções voltadas para o mercado externo, dentre as quais destaca-se a soja.

Desta forma, uma observação do uso do solo atual da área estudada aponta que boa parte daquela ainda se encontra com floresta preservada, especialmente nas suas porções sul / sudeste (a oeste da BR-163) (EMBRAPA, 2007).

Outra área bastante significativa é composta por floresta impactada, especialmente na porção central da região em questão (entre a rodovias BR-163 e o limite leste do município de Santarém).

Em menor proporção, verifica-se na porção nordeste da região, entre os rios Arapiuns e o Amazonas, área em que o uso da terra é destinado à pastagem, agricultura e capoeira, sendo que nas margens do Amazonas e na confluência do Amazonas com o Tapajós verifica-se ocupação destinada à agricultura e pastagem (sem capoeira).

Em uma área compreendida (aproximadamente) dentro de um polígono imaginário ligando Belterra, Santarém e o trecho do rio Curua-Una à montante da barragem, o uso de solo predominante está voltado à agricultura.

Além desses usos, mais extensos e significativos, observam-se “manchas” mais esparsas relacionadas a diversas outras formas de uso, tais como áreas urbanizadas, áreas de uso exclusiva para pastagem e áreas destinadas à pastagem e capoeira.

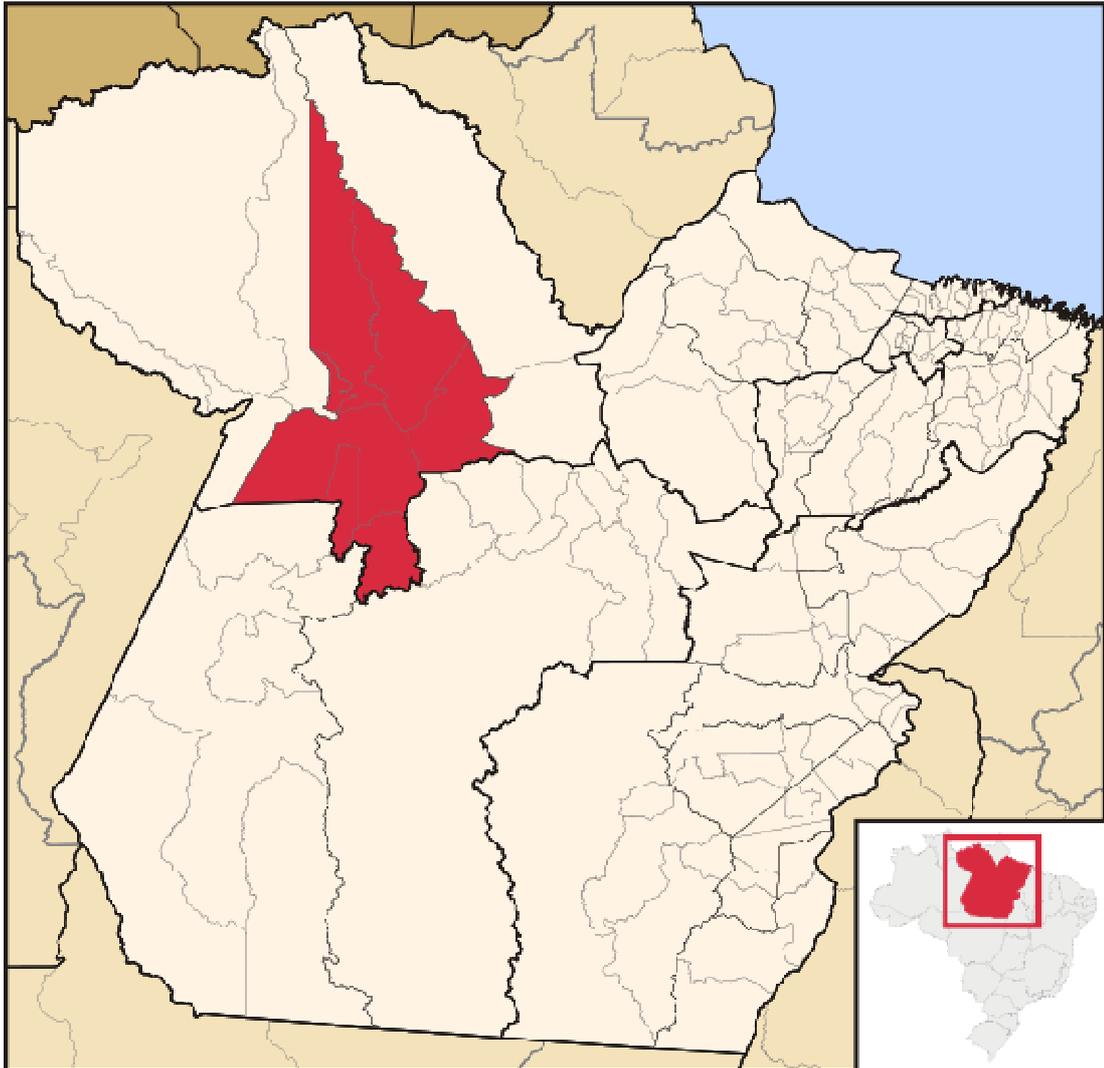


Figura 1- Localização da microrregião Santarém em relação ao Estado do Pará  
Fonte: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a4/Para\\_Micro\\_Santarem.](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a4/Para_Micro_Santarem.)

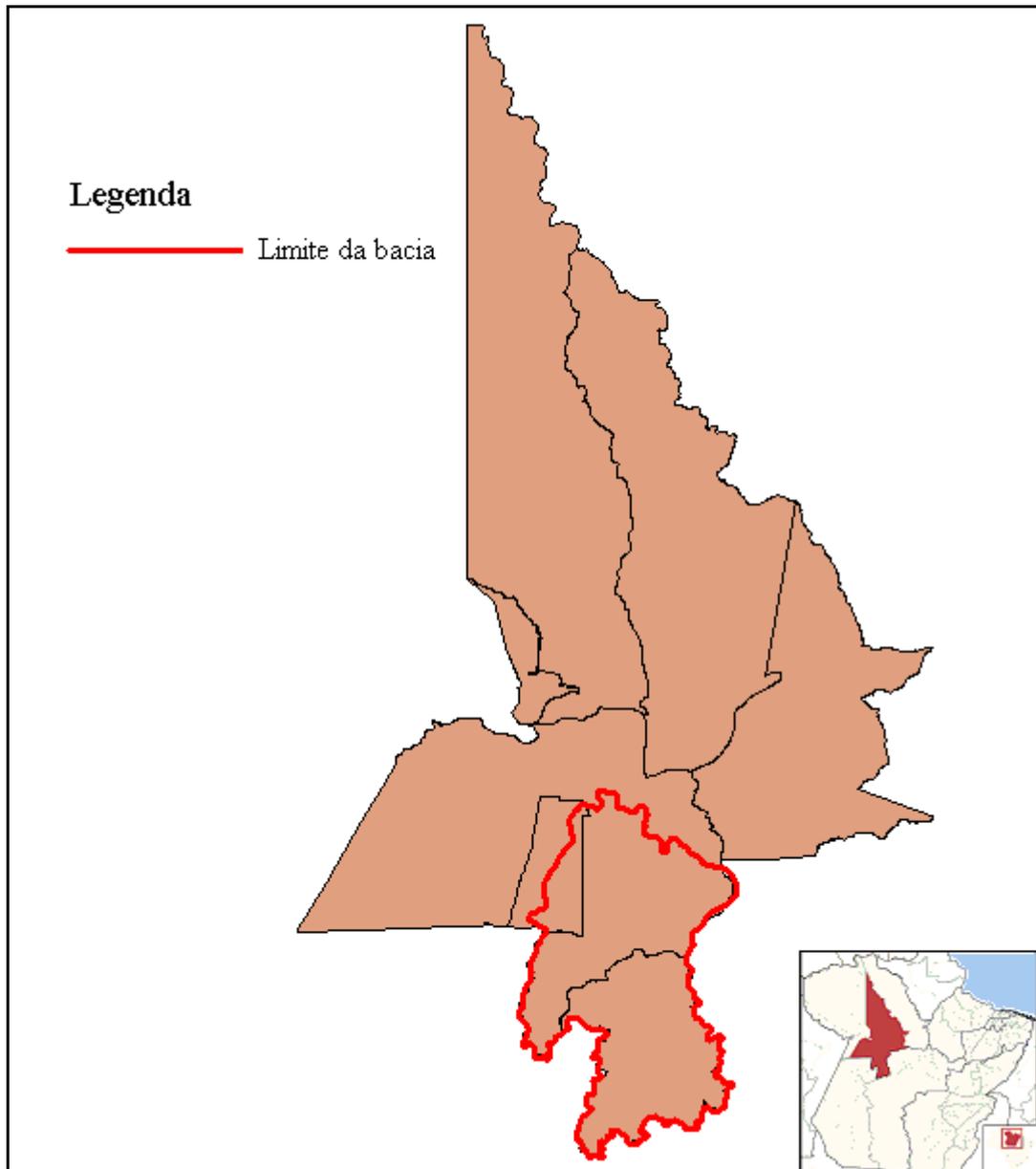


Figura 2- Detalhe da localização da Bacia do Curua-Una em relação à microrregião Santarém

Fonte: Adaptado de ANEEL (2009)

#### b) Clima:

De acordo com EMBRAPA (2007), o clima da região oeste do estado do Pará, onde se situa a área de estudo, é quente e úmido, típico das Florestas Tropicais. Devido à proximidade da linha do Equador não apresenta grandes mudanças de temperatura, com médias anuais de 25° a 28°. A umidade relativa do ar varia entre 80% a 90%.

A precipitação pluviométrica anual é alta, entre 1800mm a 2800mm, com um período de chuvas mais abundantes (por volta de janeiro a maio) e outro bem seco (por volta de agosto a outubro).

#### c) Vegetação:

A área estudada apresenta, segundo EMBRAPA (2007) diversos tipos de vegetação, as quais são apresentadas no mapa 03. Dentre estas tipologias, pode-se citar:

c.1) Floresta Ombrófila Densa: típica da região Amazônica, também conhecida como Floresta Tropical Chuvosa, é a mais representativa na região em questão. Caracteriza-se por árvores grandes, mata densa, com elevadas temperaturas e alta precipitação bem distribuída ao longo do ano (até 2 meses secos).

Em menor proporção, encontram-se também:

c.2) Floresta Ombrófila Aberta: ocorre em clima com período entre 2 e 4 meses secos. Na região estudada ocorrem: i) a floresta aberta com cipoal, rala, com árvores normalmente de menor altura e envolvidas por cipós, concentrando-se na parte centro-sul do município de Santarém, ao longo da BR-163; ii) a floresta aberta com palmeiras, apresentando palmeiras e árvores latifoliadas, bem espaçadas, de altura irregular (entre 10 e 25 metros), presente no nordeste e em pequena porção centro-sul de Santarém.

c.3) Cerrado: caracterizado por gramíneas e arbustos, com árvores muito esparsas. Na região em pauta, compreende uma área muito pequena, próxima à desembocadura dos rios Tapajós e Arapiuns.

c.4) Várzea: áreas submetidas a inundações temporárias do Rio Amazonas e afluentes, tem vegetação de gramíneas, desenvolvidas sobre Solos Aluviais e Gleis Pouco Húmicos, em geral de alta fertilidade. Na área em questão, ocorrem principalmente na forma de ilhas no extremo norte da região.

#### d) Hidrografia:

Os dois maiores rios a drenarem a área selecionada são o Amazonas e o Tapajós, mas além destes, a rede hidrográfica inclui diversos outros rios

importantes, destacando-se o Arapiuns e o Curuá-Una. O mapa 05 apresenta a hidrografia da área.

Nas áreas de domínio das depressões da Amazônia Meridional, a característica da rede de drenagem é de se apresentar bem encaixada, com trechos bem encachoeirados, dificuldade de navegação e poucas áreas de espraiamento. Por sua vez, no domínio dos planaltos (de ocorrência bem mais ampla) os rios apresentam maior navegabilidade e espraiamento.

Na área definida para o trabalho, destacam-se então:

d.1) Bacia do Rio Amazonas: de grande extensão, tem grande importância também por suas características que incluem alta navegabilidade, riqueza de pescados e formação de terras várzea (as quais apresentam elevada fertilidade natural devido à deposição de sedimentos e nutrientes);

d.2) Bacia do Tapajós: tem como rio principal o Tapajós, que corta a área estudada em sua porção central, no sentido Sul para Norte, ao longo de cerca de 130km, até desaguar no Amazonas, em frente à sede do município de Santarém. Em grande parte da bacia predomina a Floresta Densa, dentro da qual está inserida a Floresta Nacional do Tapajós.

d.3) Bacia do Arapiuns: com cerca de 7064km<sup>2</sup>, localiza-se no oeste da região, entre as bacias do Tapajós e do Amazonas. O seu principal rio, o Arapiuns que dá nome à bacia, tem águas límpidas, pobres em fitoplâncton e, por conseguinte, em vida aquática;

d.4) Bacia do Curuá-Una: com área aproximada de 4055km<sup>2</sup>, tem no rio homônimo, afluente do Amazonas, seu principal curso d'água. Se somarmos ainda as bacias do Moju e do Mojuí, tributárias da bacia do Curuá-Una, a área total passa a ser de cerca de 9985km<sup>2</sup>, com toda essa extensa malha hídrica convergindo para o rio central, o Curuá-Una.

e) Avanço do Desmatamento na Bacia do Curua-Una:

A contabilização das áreas identificadas como desmatadas pelo INPE (2010) apenas para a bacia em estudo indicam um total desmatado atual de cerca de 3968km<sup>2</sup>, o que corresponde a aproximadamente 24% da área total da bacia, de aproximadamente 16.000km<sup>2</sup>.

INPE (2010) disponibiliza mapas (em formato shape) com o levantamento das áreas desmatadas até o ano de 1997 e o avanço ano a ano (a partir de 2000),

informação que possibilitou a geração de figuras indicativas da situação atual da cobertura vegetal e da situação em 1997 (figuras 3 e 4).

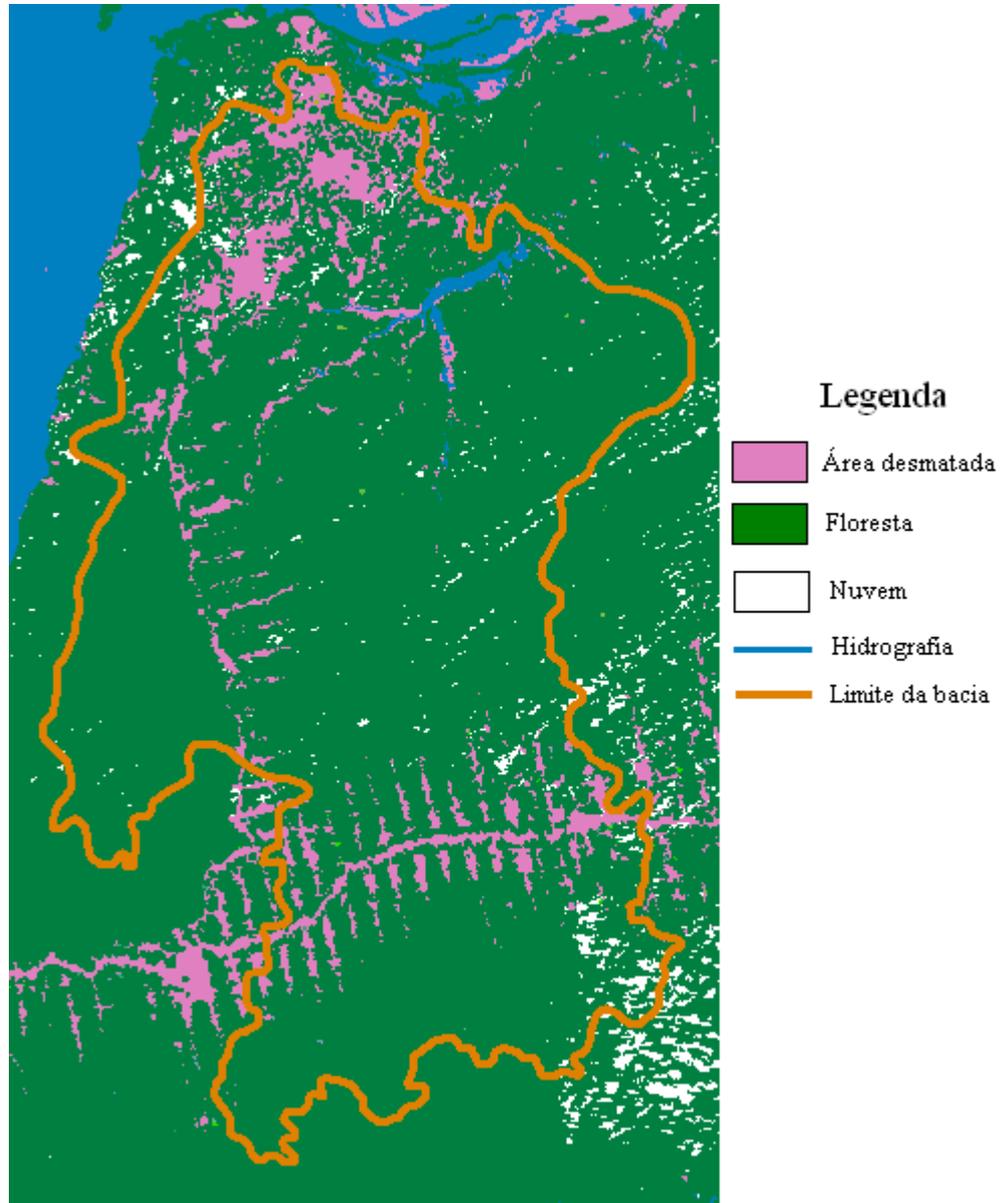


Figura 3-Situação da cobertura vegetal da Bacia do Rio Curua-Una em 1997  
Fonte: Elaborado a partir de INPE (2010).

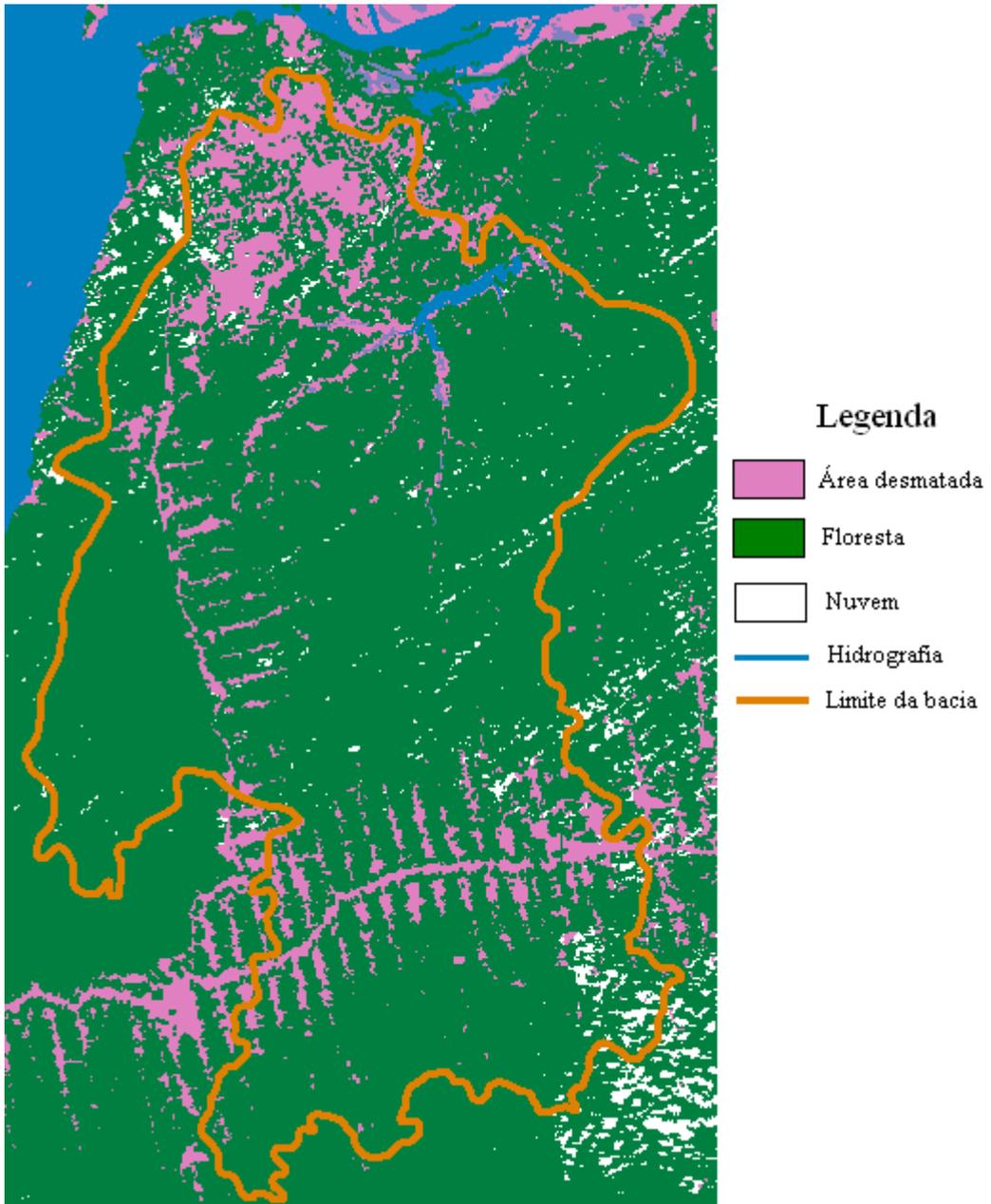


Figura 4- Situação da cobertura vegetal da Bacia do Curua-Una em 2008  
Fonte: Elaborado a partir de INPE (2010).

### 4.2.3 Bacia do Rio Uraim

#### a) Localização e Histórico de Ocupação:

A Bacia do Uraim encontra-se praticamente totalmente inserida no município de Paragominas, o qual faz parte da microrregião de mesmo nome, por sua vez localizada na meso-região Sudeste Paraense (Figuras 5 e 6).

O processo de ocupação da área que posteriormente viria a se tornar o município de Paragominas está relacionado ao povoamento do Estado do Pará, na década de 50, a partir da abertura de Rodovias e Projetos de Colonização. Os pioneiros na região foram camponeses, que efetivaram sua ocupação antes da construção da rodovia Belém – Brasília. Ressalta-se, entretanto, que antes mesmo da chegada dos camponeses, especuladores de Goiás já haviam penetrado na floresta ao longo do rio Capim (com autorização do Governo do Estado), com o objetivo de efetuar levantamentos e titular terras para compradores de Uberaba e Itumbiara, em Minas Gerais.

Posteriormente, a proximidade da rodovia BR-010 (Belém-Brasília), provocou uma grande procura pelas terras entre proprietários de Minas Gerais e Espírito Santo, além de companhias de especulação de terras de São Paulo, ao mesmo tempo em que camponeses penetravam na região, com o objetivo de enfrentar a competição com os "grileiros", que emitiam títulos falsos e os asseguravam, através do uso da força.

Dessa forma, houve uma rápida concentração de propriedades, em um clima de violência, e as tentativas de colonização fracassaram. Porém, muitos colonizadores (a maioria composta por imigrantes) se fixaram na área, de onde nasceu um povoado, o qual foi se estruturando.

Em 1965 o Município obteve autonomia, com a Lei nº 3.235, de 4 de janeiro, formado com área desmembrada de parte do município de São Domingos do Capim e parte do distrito de Camiranga, que pertencia ao município de Viseu.

Por outro lado, em 10 de maio de 1988 Paragominas, por meio da Lei nº 5.450, teve sua área desmembrada para criação do município de Dom Eliseu, antigo povoado chamado Felinto Muller.

No ano de 1991, o município de Paragominas teve novamente seu território desmembrado, desta feita para a criação do município de Ulianópolis, através da Lei nº 5.697.

Quanto à história econômica do município, Nascimento Júnior (2008) descreve que Paragominas teve nas “zonas de invernadas” seu primeiro segmento econômico de expressão. Tal fase foi caracterizada pelas grandes fazendas de criação de gado, abertas a partir do corte e queima da biomassa florestal e a formação de pastagens de capim colonião. Ao mesmo tempo, a agricultura familiar se estabeleceu, podendo-se mencionar como exemplo a Colônia Uraim, cujos cultivos mais importantes eram os de arroz, malva e mandioca.

No início da década de 80 foi implantado em Paragominas o maior pólo madeireiro da América Latina, com a atividade madeireira atingindo seu pico máximo no ano de 1989. Apesar de esse segmento ser, então, a atividade econômica mais importante, a pecuária continuou se expandindo, dentro da dinâmica tradicional, de ocupação das áreas desmatadas, até chegar ao ponto de substituir a indústria madeireira em importância explorativa. Já na última década, grandes áreas de pastagens já degradadas, estão sendo substituídas por plantios tecnificados de grãos como a soja, milho e arroz.

A partir do início dos anos 90, a busca por alternativas de transição daquela economia extrativista para uma economia agro-industrial fundamentada em sistemas de criação e de cultivos comerciais tecnificados levou a um crescimento considerável na área cultivada com milho, arroz e soja e à melhoria significativa no padrão zootécnico dos rebanhos; início de implantação de um pólo agro-industrial e de áreas reflorestamento; ampliação e organização de colônias, através de associações de produtores rurais; e modernização da agricultura familiar.

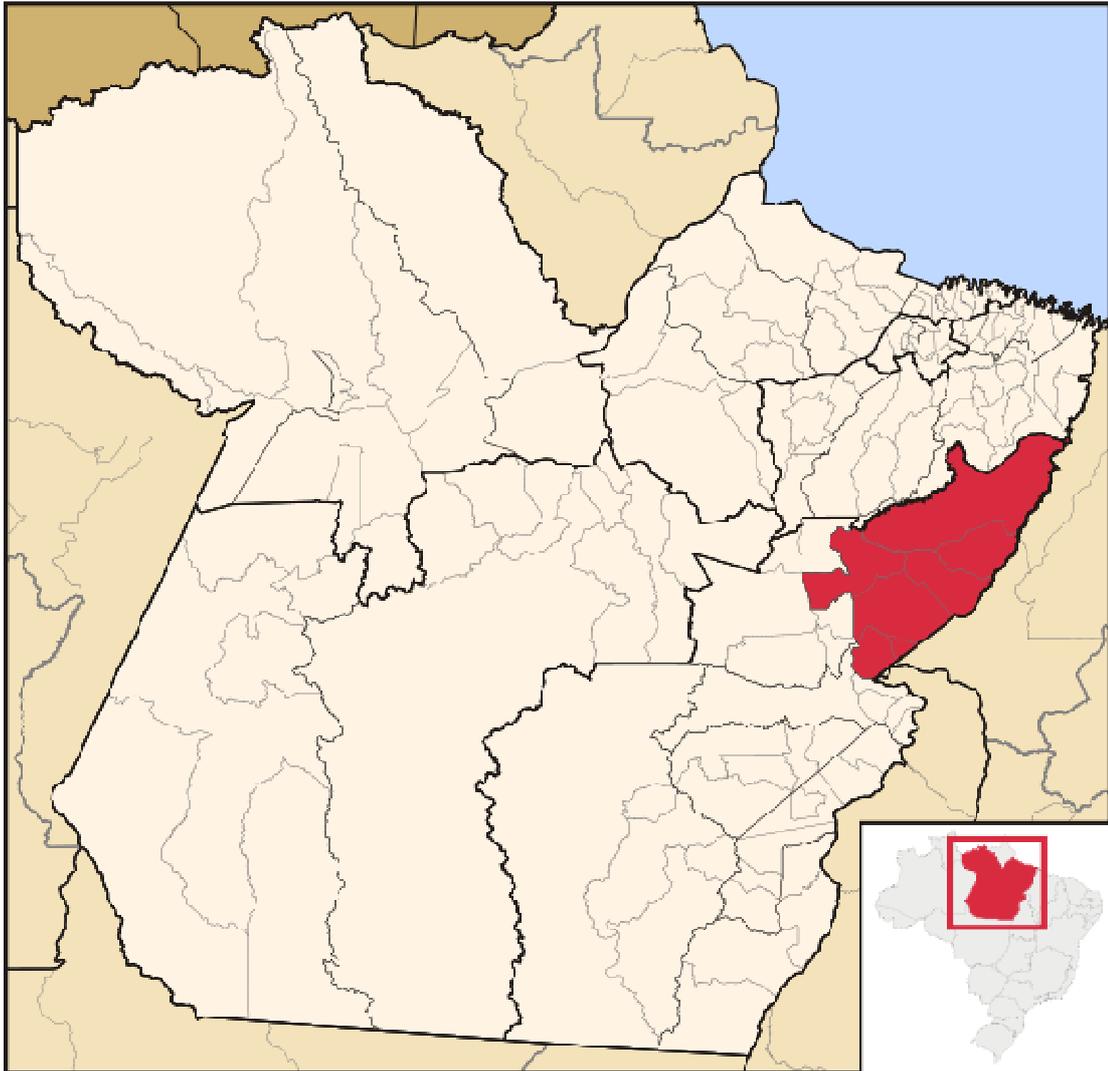


Figura 5 - Localização da microrregião Paragominas em relação ao Estado do Pará  
Fonte: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d1/Para\\_Micro\\_Paragominas](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d1/Para_Micro_Paragominas).

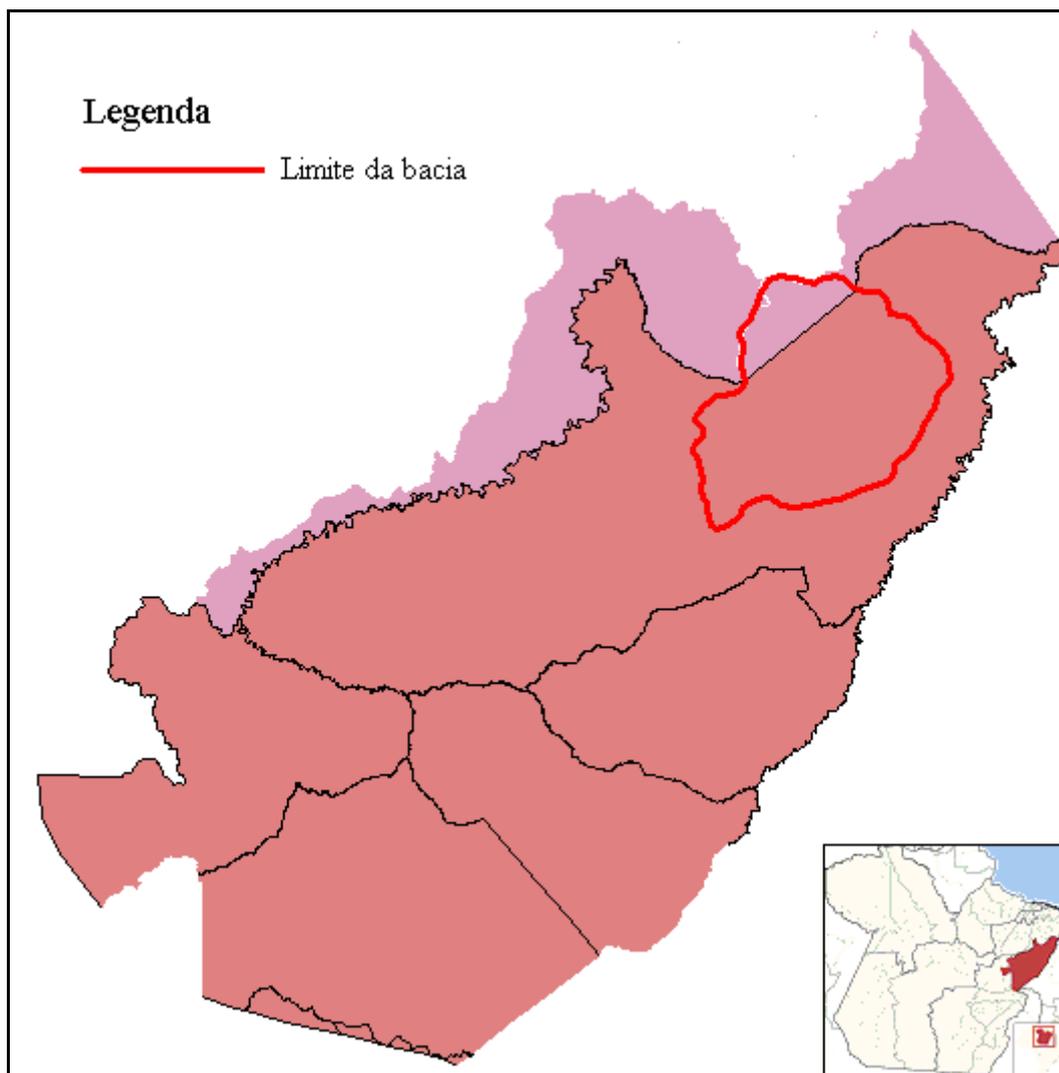


Figura 6- Detalhe da localização da Bacia do Uraim em relação à microrregião Paragominas  
Fonte: Adaptado de ANEEL (2009)

## b) Clima

O clima do município de Paragominas é do tipo mesotérmico e úmido. A temperatura média anual é elevada, em torno de 25° C. O período mais quente, com médias mensais em torno de 25,5° C, coincide com os meses de primavera no hemisfério Sul, e as temperaturas mínimas diárias de 20° C, ocorrem nos meses de inverno no referido hemisfério (junho a agosto). Seu regime pluviométrico fica, geralmente, entre 2.250 mm e 2.500 mm anuais. As chuvas, apesar de regulares, não se distribuem, igualmente, durante o ano, havendo maior concentração de janeiro a junho, implicando grandes excedentes hídricos e, conseqüentemente, grandes escoamentos superficiais e cheias dos rios (PARAGOMINAS, 2010).

### c) Vegetação

A vegetação originária do Município era constituída por Floresta Densa da sub-região dos Altos Platôs do Pará-Maranhão, pela Floresta Densa de Planície Aluvial e dos Ferraços. Entretanto, os constantes desmatamentos, provocados pelo avanço da agropecuária na região, reduziram drasticamente as grandes áreas cobertas pela floresta original, havendo predomínio, atualmente, de extensas áreas de Mata Secundária (Capoeira nos seus diversos estágios de desenvolvimento) (PARAGOMINAS, 2010).

Em relação à cobertura vegetal Nascimento Júnior (2008) expõe que quase dois terços da área de Paragominas (cerca de 1,2 milhões de hectares) foram alterados pela extração de madeira ou por atividades agropecuárias. O restante ainda é coberto por floresta perenifólia úmida, cuja copa atinge alturas entre 25 a 40 m de altura e biomassa acima do solo em torno de 300 toneladas/ ha. Ainda segundo Nascimento Júnior (2008) a área alterada é coberta quase totalmente por pastagens em diversos estágios de degradação, havendo, entretanto, uma tendência de recuperação de pastagens com uso de tecnologias, como mecanização e uso de fertilizantes. Além desse aspecto, o mesmo observa ainda que parte das pastagens degradadas vem sendo gradativamente substituída por uma agricultura mecanizada, principalmente para produção de milho, soja e arroz em mais larga escala.

### d) Hidrografia

De acordo com a Prefeitura Municipal de Paragominas (2010) existem vários rios importantes no Município. Na porção Sudeste-Nordeste está o rio Gurupi, que separa o Pará do Maranhão. Na sua margem esquerda, aparecem vários afluentes, que se localizam no Município, tais como o Gurupzinho, o Uraim, o Coaraci-Paraná, o Croantá e o Piriá. Em direção oposta, no sentido Oeste, está o rio Surubiju, que limita o município com Rondon do Pará e recebe uma série de igarapés na sua margem direita, que pertencem a Paragominas. O rio Surubiju é, no Município, o afluente mais importante do rio Capim.

O rio Capim é outro curso d'água de maior importância do Município e serve de limite entre Paragominas e São Domingos do Capim. Inicialmente possui a

direção Oeste-Leste, depois, a direção Norte, até chegar ao paralelo de 30, onde recebe o rio Candiru-Açu, seu último afluente da margem direita dentro do Município, serra do Tambaú de limite natural com São Domingos do Capim.

#### e) Avanço do Desmatamento na Bacia do Uraim

Especificamente para a área contida dentro da bacia em estudo, a totalização do desmatamento atualmente alcança 2936,7km<sup>2</sup> (INPE, 2010) o que corresponde a um nível de desmatamento de 65% dos 4.500km<sup>2</sup> totais da mesma.

Novamente, utilizando-se os levantamentos disponibilizados por INPE (2010), foram geradas figuras das situações da cobertura vegetal da bacia em 1997 e em 2008 (figuras 7 e 8).

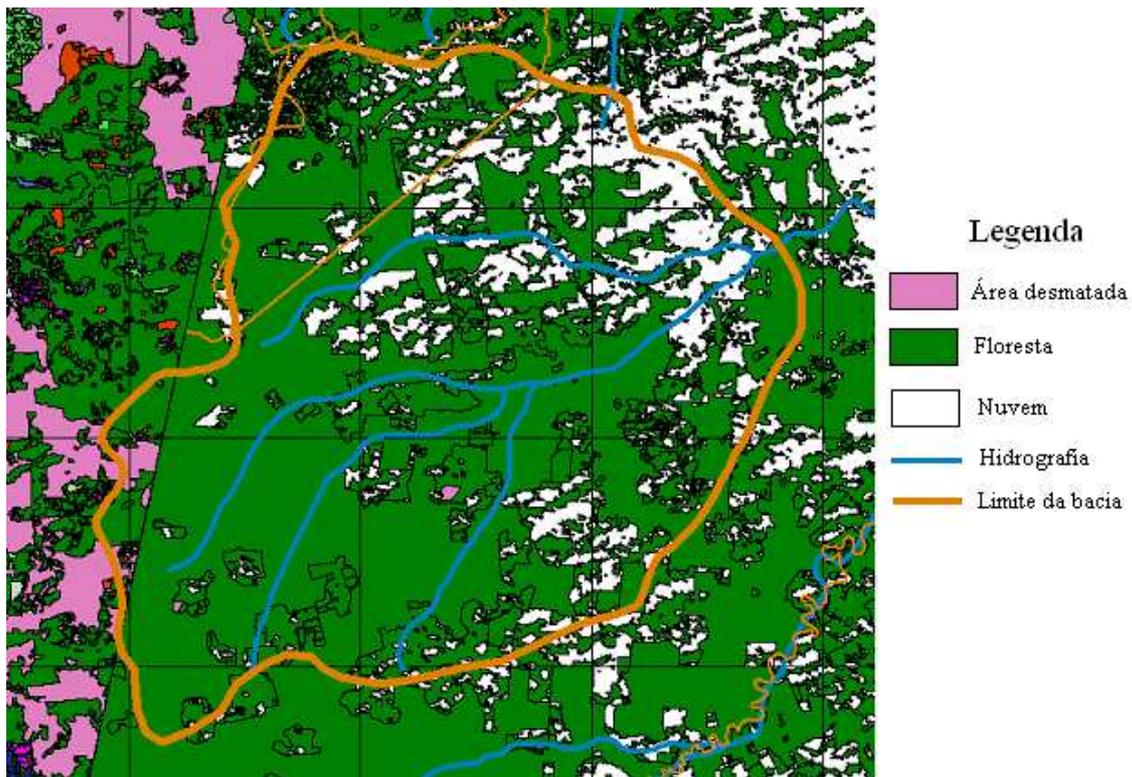


Figura 7- Situação da cobertura vegetal da Bacia do Uraim em 1997  
Fonte: Elaborado a partir de INPE (2010).

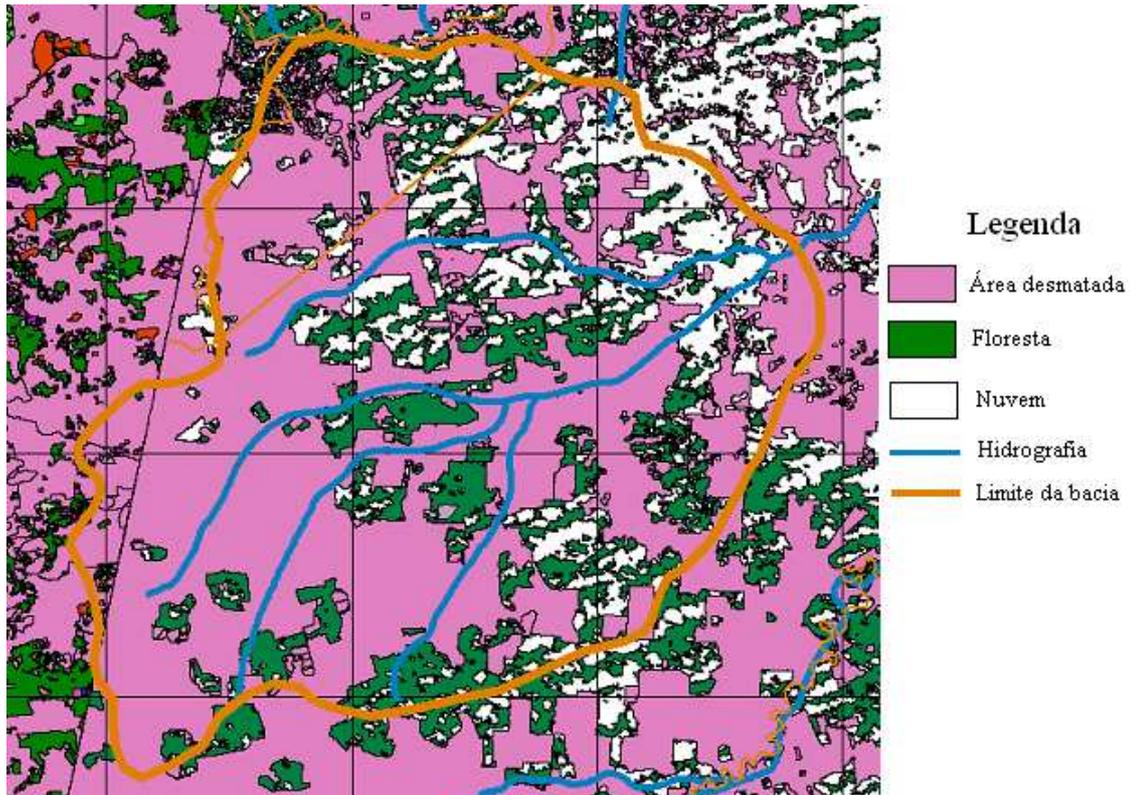


Figura 8- Situação da cobertura vegetal da Bacia do Uraim em 2008  
 Fonte: Elaborado a partir de INPE (2010).

#### 4.3 DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Para avaliar os efeitos de mudanças de cobertura vegetal em grandes áreas, a metodologia de pares de bacia não é indicada, mas sim o estudo da mesma bacia em diferentes períodos de tempo, que devem ser longos suficientes para incluir uma amostra representativa do clima e apresentar mudança de cobertura considerável entre eles.

Assim, utiliza-se aqui a série histórica de registros diários de vazão para uma estação, agrupados em dados mensais. Tal estação é considerada, portanto, o exutório da bacia, a qual fica delimitada à sua montante.

A primeira estação utilizada, para estudo da bacia do Curua-Una, foi a da Usina Hidrelétrica de Curua-Una, a qual possui a série histórica de vazões médias mensais de 1973 até 2008, obtidas com base em registros diários de vazões. Tal estação tem como características gerais: latitude 2°47'22"S; longitude 54°17'30" W; área de drenagem 13.750km<sup>2</sup>. Os dados foram obtidos por meio de contatos diretos com o setor responsável da Usina, o que possibilitou acesso aos dados primários de tais registros históricos.

A fim de representar a maior diferenciação possível das condições de cobertura vegetal, dentro da disponibilidade dos dados existentes (ou seja, períodos com disponibilidade de dados tanto de vazão quanto de chuva), o estudo da área de Curua-Una foi realizado utilizando-se dois períodos: o primeiro, com os dados referentes aos anos mais antigos, de 1978 a 1985, tomado como representativo da condição com pouca mudança na cobertura vegetal; e o segundo, referente aos anos mais recentes possíveis, de 2003 a 2008, representando a situação com mudanças mais significativas na cobertura vegetal do terreno.

A partir dos dados pluviométricos disponíveis para a área, determinou-se uma “distribuição espacial média” da precipitação na bacia de captação, aqui estabelecida como à montante da UHE Curua-Una, para todos os meses dos dois períodos em estudo.

Para determinar a precipitação média na área, foram selecionadas as estações pluviométricas com registros de série histórica que atendesse os dois períodos em questão. Infelizmente, devido às condições naturais da região, com extensas áreas de difícil acesso (em razão de florestas fechadas, topografia, infraestrutura de transporte, etc), a densidade de estações na área em estudo, bem como na região amazônica de forma geral, é baixa, tendo sido identificadas (dentro do critério supra-citado) apenas as estações Sítio São Pedro, Fazenda Marcondes e a própria UHE Curua-Una. Os dados pluviométricos das duas primeiras estações foram obtidos na Agência Nacional de Energia Elétrica (2009), enquanto os da UHE foram obtidos, mais uma vez, por meio do acesso aos registros de dados primários na própria estação.

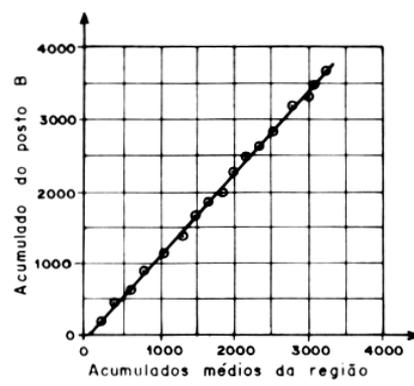
Em um primeiro passo para se determinar a pluviometria média na bacia, foi procedido então o preenchimento de falhas das séries históricas daquelas estações, realizada por proporção. De acordo com esse método, selecionam-se dados de 3 postos próximos daquele em que ocorreu a falha, com características climáticas semelhantes e que possuam no mínimo 10 anos de dados. Dessa forma, a falha na série é estimada por uma proporção que leva em consideração a precipitação média anual do posto em que ocorre a falha, as precipitações médias anuais dos postos vizinhos e as precipitações observadas nos postos vizinhos no instante em que o posto em questão falhou (TUCCI, 2000; PINTO et al., 1976). Assim, por exemplo, para um posto Y que apresente falha, a mesma será preenchida com base na seguinte equação:

$$y = \frac{1}{3} \cdot \left[ \frac{x_1}{x_{m1}} + \frac{x_2}{x_{m2}} + \frac{x_3}{x_{m3}} \right] \cdot y_m$$

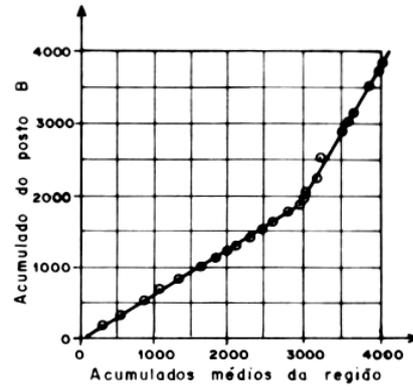
Onde  $y$  é a precipitação do posto  $Y$  no momento em que ocorreu a falha (logo, a ser estimada);  $x_1$ ,  $x_2$ , e  $x_3$  são as precipitações correspondentes ao momento em que houve a falha que se deseja preencher, observadas em três estações vizinhas;  $y_m$  a precipitação média do posto  $Y$ ;  $x_{m1}$ ,  $x_{m2}$  e  $x_{m3}$  as precipitações médias nas três estações vizinhas.

Em seguida, foi realizada uma análise de consistência dos dados utilizados, pelo método da dupla massa (gráficos 8 a 10). Nesse método, calcula-se a média aritmética dos totais precipitados em cada ano em todos os pontos e acumula-se essa média. Os valores acumulados da média dos pontos são plotados em gráfico contra os totais acumulados de cada um deles.

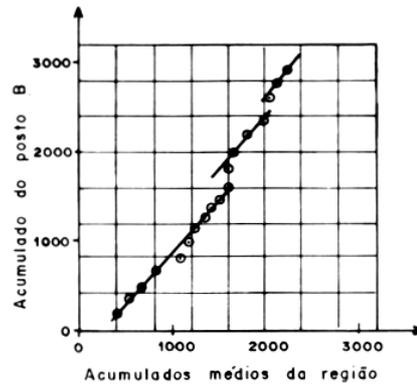
Conforme explica Tucci (2003), ao plotar as precipitações acumuladas do posto (ordenada) versus a média dos valores acumulados da região (abscissa) a ocorrência de mudança de tendência indica inconsistência (Gráfico 7).



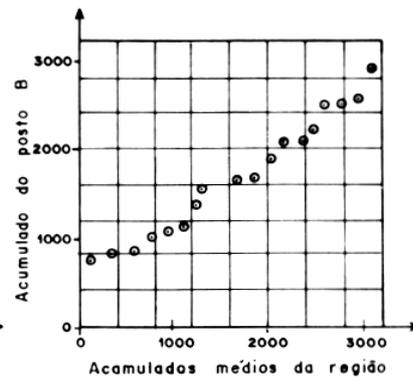
a) sem inconsistências



b) com mudança de tendência



c) erros de transcrição



d) diferentes regimes

Gráfico 7- Exemplos de análise de consistência pelo método de dupla massa  
 Fonte: TUCCI (2000)

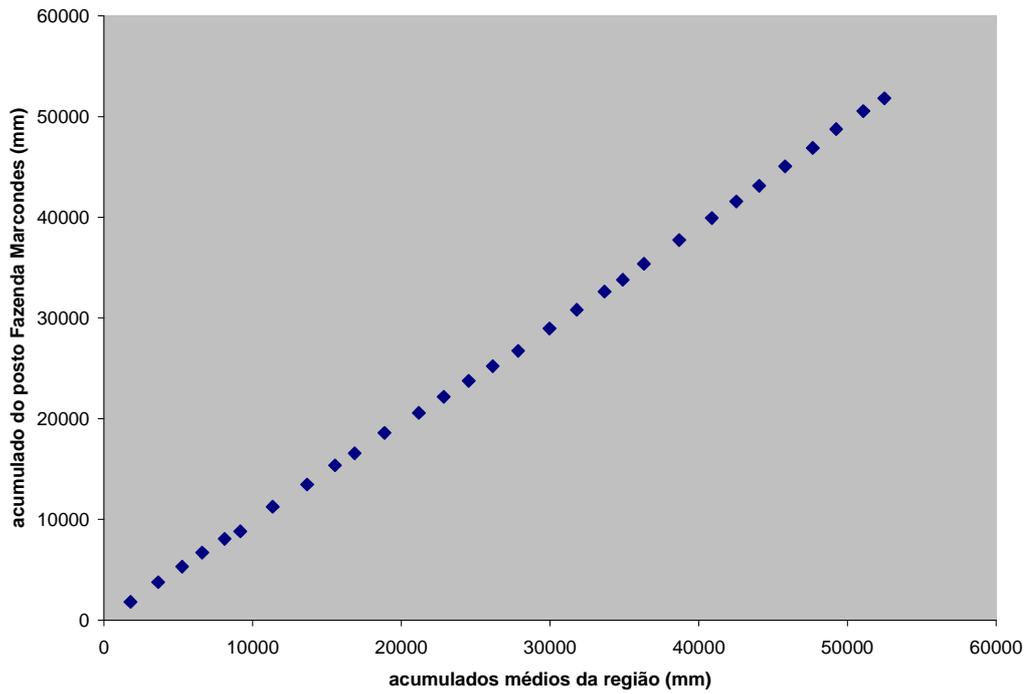


Gráfico 8 - Dupla-massa para consistência de dados do posto Fazenda Marcondes  
Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

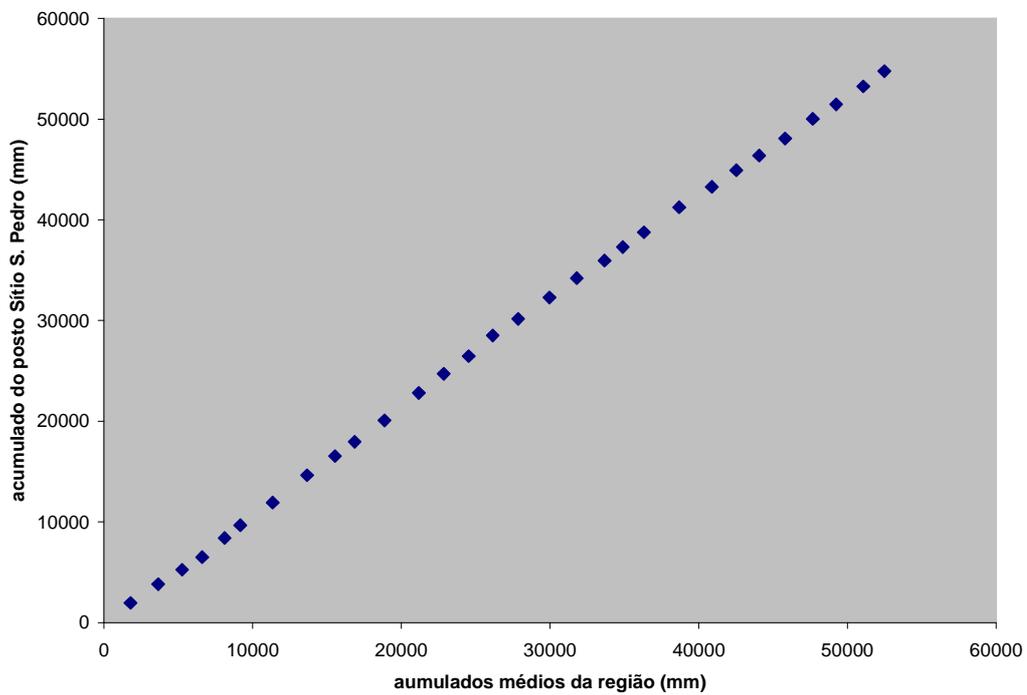


Gráfico 9 - Gráfico de dupla-massa para consistência de dados do posto Sítio São Pedro  
Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

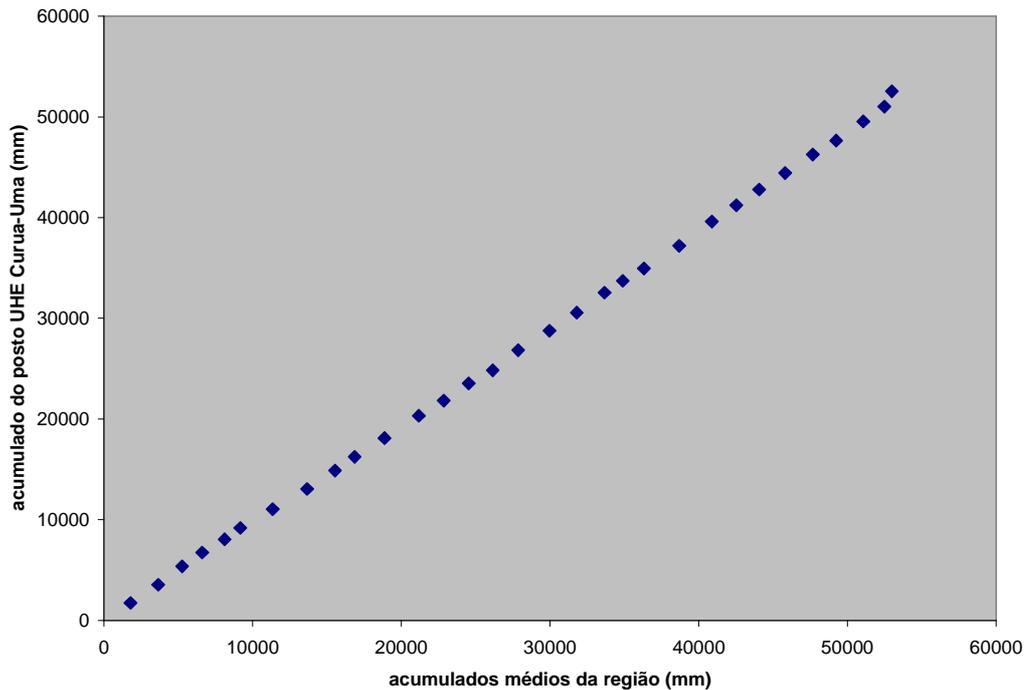


Gráfico 10 - Dupla-massa para consistência de dados do posto UHE Curua-Una  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

Logo, os resultados obtidos são altamente satisfatórios para todas as estações. Os resultados acima apresentados indicam que os valores de precipitação registrados para as três estações são consistentes. Sendo assim, utilizando-se suas séries históricas, a precipitação média na bacia estudada foi determinada pelo método dos polígonos de Thiessen. Considera a não-uniformidade da distribuição espacial dos postos.

Esta técnica permite determinar, através da construção de polígonos, que qualquer ponto dentro daquela área está mais próximo de uma certa estação pluviométrica que de qualquer outra da área. Para tanto, dois postos adjacentes são ligados por um segmento de reta, e a seguir traça-se a a mediatriz deste segmento de reta, a qual divide, portanto, para um lado e para outro, as regiões de “domínio” de cada posto. Repetindo-se o procedimento para todos os postos da área, surgem os polígonos, que definem as áreas de influência de cada estação (TUCCI, 2000; GARCEZ ; ALVAREZ, 1999) (Figura 9).

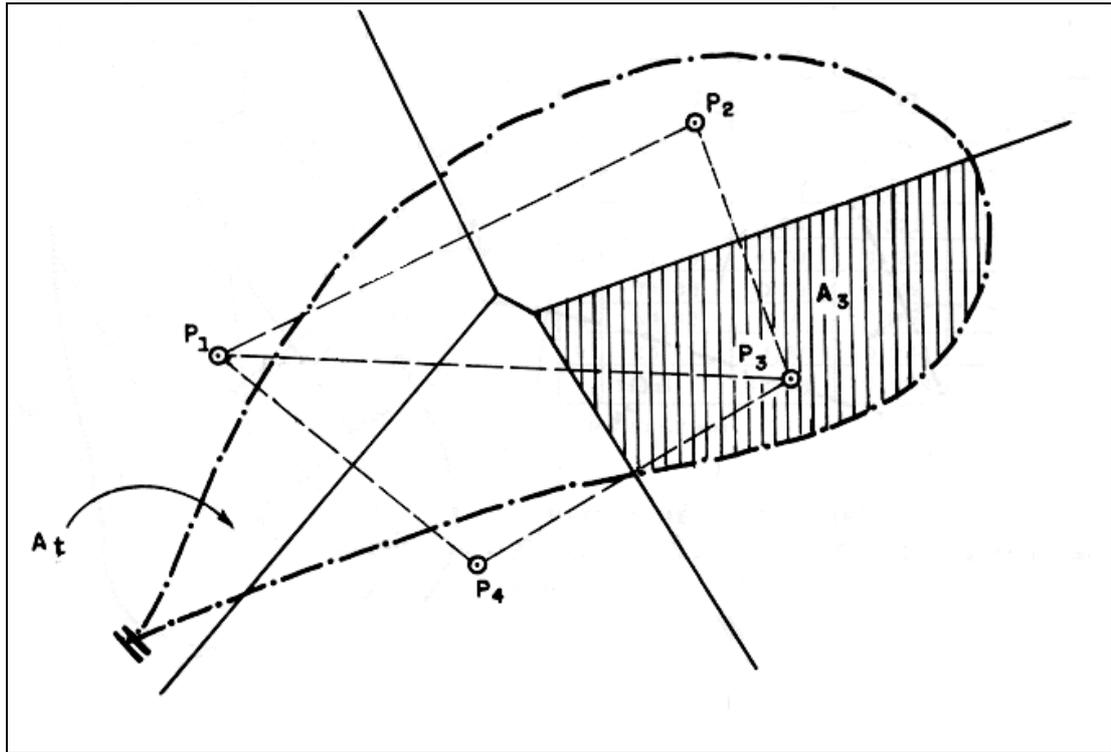


Figura 9 - Exemplo de procedimento de determinação da pluvimetria média de uma bacia pelo método dos polígonos de Thiessen  
Fonte: TUCCI (2003)

A precipitação média da bacia é obtida pela média ponderada que considera a precipitação de cada posto e sua respectiva área de influência, ou seja:

$$P_m = \frac{\sum A_i P_i}{\sum A_i}$$

Onde:  $P_m$  é a precipitação média da bacia;  $A_i$  é área de influência de cada posto;  $P_i$  é a precipitação de cada posto.

Ainda para avaliar a qualidade dos dados, foram feitos outros dois testes: primeiro, calculou-se a média anual de ET, subtraindo a descarga média (Q) do período de 50 anos pela pluvimetria média do mesmo período. O resultado,  $ET = 3,5$  é consistente com outras estimativas para a região, tais como Costa; Foley, 2000 e Sampaio et al, 2007.

Um outro teste realizado foi a verificação da relação entre evapotranspiração (ET) média anual e precipitação média anual (P) para a área em estudo, obtendo-se o resultado apresentado no gráfico 11.

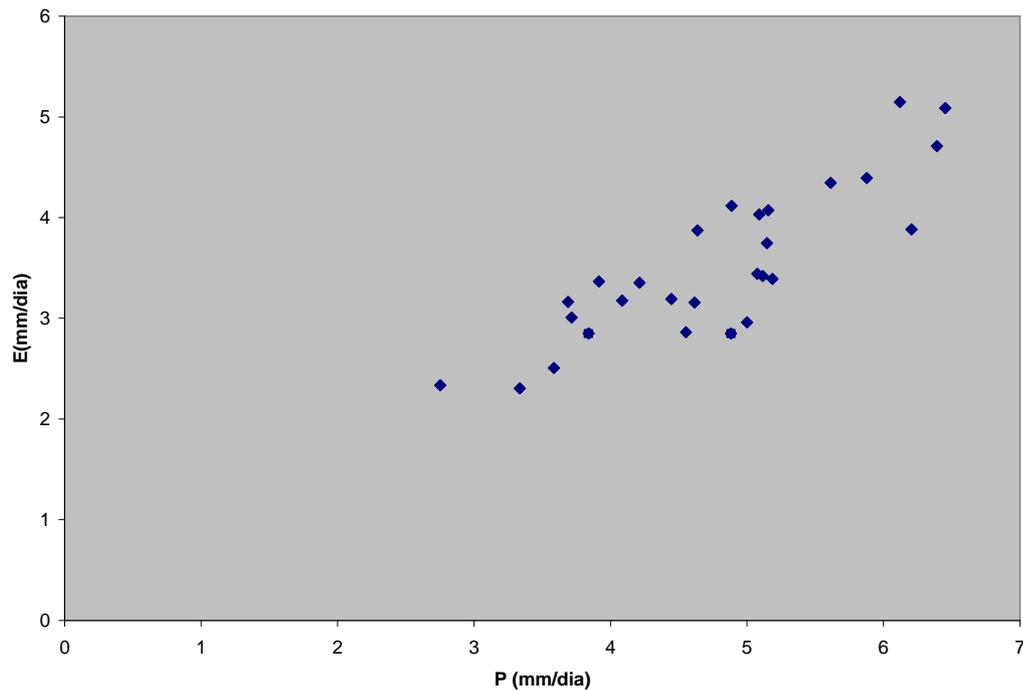


Gráfico 11 - Relação precipitação média anual x evapotranspiração média anual para a série histórica (1978 a 2008) da Bacia do Curua-Uma  
Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

A relação linear está em consonância com o apontado por Bruijnzeel (1990), segundo o qual a evapotranspiração (ET) anual para uma dada floresta tende a estar correlacionada com a pluviometria anual.

Logo, estes dois testes simples indicam que o banco de dados de pluviometria utilizado tem qualidade aceitável e pode ser utilizado na pesquisa.

De modo semelhante ao procedido para a bacia do Curua-Uma, foram realizadas análises para a bacia do Uraim, no município de Paragominas.

Para tais estudos, foram utilizadas as séries históricas de vazão (dados de vazão da estação Cafezal) e de precipitação pluviométrica média para a bacia (obtida pelo método de Thiessen, com base nas séries históricas das estações Paragominas e Cafezal). Nesse caso, todos os dados hidrológicos (i.e. precipitação e vazão) foram obtidos na Agencia Nacional de Energia Elétrica (2009). A estação Cafezal tem como características gerais: latitude 02°46'18"S; longitude 46°48'10" W; área de drenagem de aproximadamente 4.600km<sup>2</sup>.

Em relação aos períodos, a disponibilidade de dados abrangendo tanto a vazão quanto a precipitação na área vai de 1985 a 2007. Desta forma, foram utilizados os anos de 1985 a 1989 como representativos do período de maior

preservação da cobertura vegetal na área e de 2003 a 2007, correspondendo à situação de maior desmatamento, seguindo a mesma lógica de se utilizar os anos mais antigos possíveis para avaliar a situação menos desmatada, e os mais recentes possíveis para analisar a situação mais devastada.

Para avaliar a qualidade dos dados pluviométricos, foi realizada a análise de consistência pelo método da dupla massa, obtendo-se resultados altamente satisfatórios (Gráfico 12 e 13)

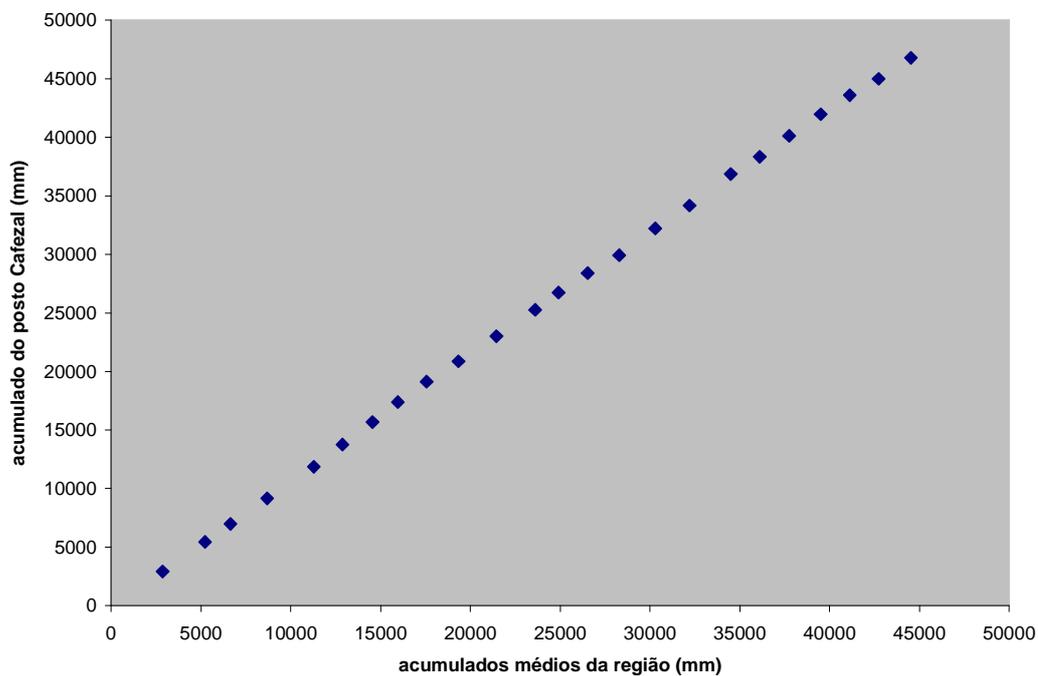


Gráfico 12 - Dupla-massa para consistência de dados do posto Cafezal  
Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

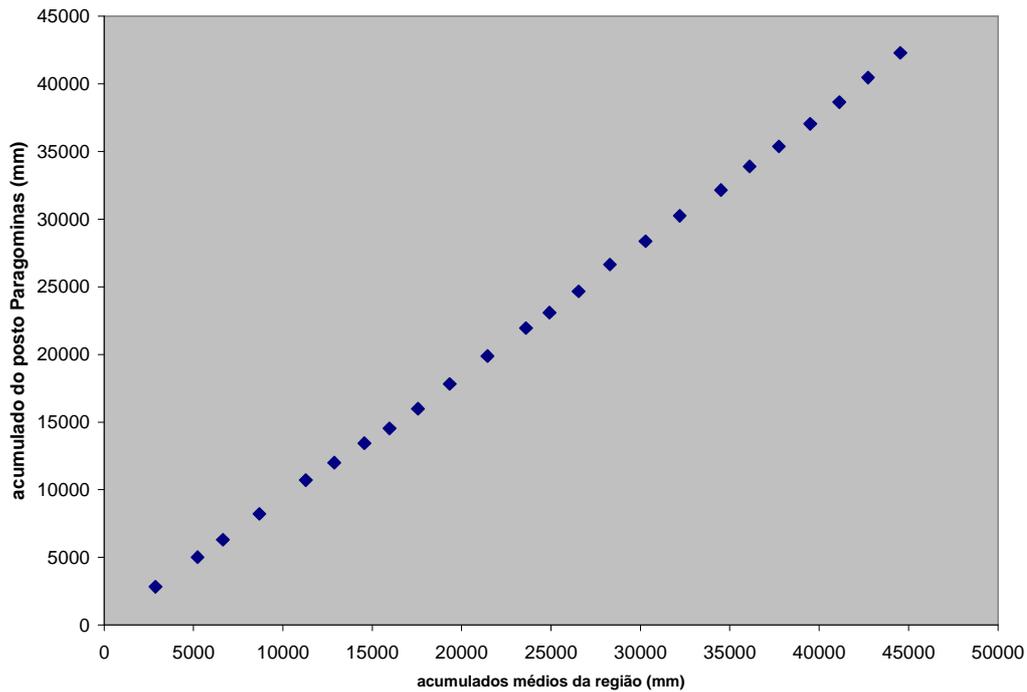


Gráfico 13 - Dupla-massa para consistência de dados do posto Paragominas  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

Assim como aconteceu para a bacia do Curua-Una, também nesse caso os resultados encontrados indicam que os valores de precipitação registrados para as estações são consistentes. Sendo assim, utilizando-se suas séries históricas, a precipitação média na bacia estudada foi determinada pelo método dos polígonos de Thiessen.

Também para a bacia do Uraim foi determinada a ET média anual de longo-prazo, obtendo-se valor de 3,7, o qual é coerente com outras estimativas para a região como as de Costa e Foley, 2000 e Sampaio et al, 2007.

Da mesma forma como fora feito para a bacia do Curua-Una, para a bacia do Uraim também foi plotado o gráfico com pares ET x P, obtendo-se o resultado indicado no gráfico 14, cuja linearidade está em acordo com o esperado.

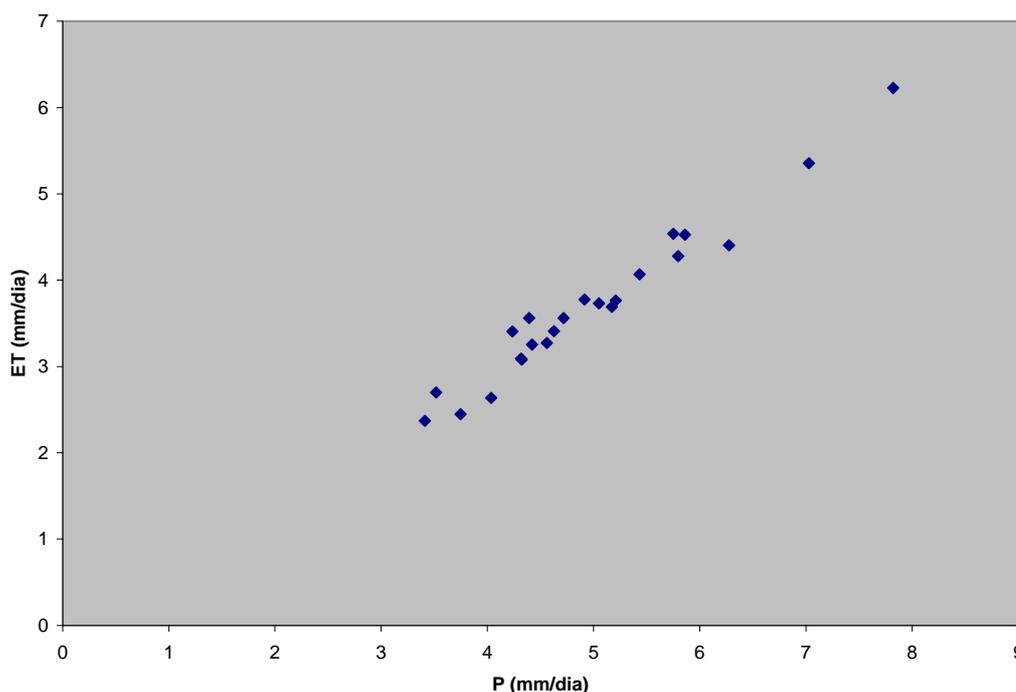


Gráfico 14 - Relação precipitação média anual x evapotranspiração média anual para série histórica (1985 a 2007) da Bacia do Uraim  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

A partir das séries históricas de vazão para cada rio e de precipitação pluviométrica média para cada bacia (obtida pelo método de Thiessen, com base nas séries históricas das estações das respectivas bacias), foram determinadas as médias de longo-prazo dos principais componentes hidrológico, i.e, P, Q e ET. Em um segundo passo, além das médias anuais foram analisados as mudanças hidrológicas ocorridas nos períodos chuvoso e seco (no que se refere à precipitação) e nos períodos de cheia e estiagem (no que se refere à descarga da bacia).

A fim de analisar a significância das diferenças entre as médias encontradas entre os dois períodos, foram realizados os testes estatísticos clássicos *t-teste*. Tal teste é utilizado para análise de situações em que o tamanho da amostra é pequeno ( $n < 30$ ), enquanto o *z-teste* é utilizado quando a amostra é grande ( $n > 30$ ). Ambos os testes têm como objetivo testar a igualdade entre duas médias. A concepção básica dos testes é colocar à prova a “hipótese nula”, a qual, em geral, indica a igualdade a ser contestada. Ou seja, a verificação de que há diferença entre as médias significa rejeitar a hipótese nula.

A probabilidade de que se tenha cometido um erro e rejeitado a hipótese nula quando, na realidade, a mesma seja verdadeira é denominada nível de significância do teste. Na maioria dos softwares, a significância estatística é expressa pelo nível

descritivo (p-value). Os níveis de significância mais utilizados são 5%, 0.1%, 1% e 10%. Ou seja, indicariam que haveria apenas 5%, 0,1%, 1% ou 10%, respectivamente, de se ter cometido um erro e a hipótese nula rejeitada fosse, de fato, verdadeira.

No contexto dessa pesquisa, então, tais testes permitem analisar, para cada parâmetro de interesse (precipitação média anual, vazão média anual, etc) se há diferença entre as médias dos dois períodos (considerados como representativos de situação mais preservada e mais desmatada) e confirmar se tais diferenças são estatisticamente significativas (ou seja, o nível de significância inferior, por exemplo, a 5%) e não resultantes de alterações sazonais ou decadais.

## 5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 5.1 EFEITO DA MUDANÇA DE COBERTURA VEGETAL SOBRE A HIDROLOGIA DA BACIA DO RIO CURUA-UNA

A partir das séries históricas de vazão para a UHE Curua-Una e de precipitação pluviométrica média para a bacia (obtida pelo método de Thiessem, com base nas séries históricas das estações Sítio São Pedro, UHE Curua-Una e Fazenda Marcondes), foram determinadas as médias de longo-prazo dos principais componentes hidrológico, i.e, P, Q e ET.

Tais médias foram calculadas para os dois períodos anteriormente indicados: 1978 a 1985 e 2003 a 2008, definidos como representativos de condições distintas de cobertura vegetal (respectivamente “com pouca alteração” para o primeiro período e “com mudanças significativas” para o segundo).

Por se tratar de uma bacia de grande extensão, admite-se que toda descarga, seja superficial ou subsuperficial, passará pelo exutório da bacia, ou seja, pela UHE de Curua-Una. Além disso, trabalhando-se com período longo (vários anos), pode-se considerar que não há variação no armazenamento do sistema. Desta forma, a ET de longo-prazo foi calculada pela diferença entre precipitação e descarga.

A tabela 2 esume as médias de longo-prazo dos principais componentes hidrológicos superficiais obtidas para os dois períodos.

Tabela 2- Médias de longo-prazo de P, Q, ET e C para a Bacia do Curua-Una

Período	P (mm/dia)	Q(mm/dia)	ET	
			(mm/dia)	C (Q/P)
1978-1994	4,673855	0,917869	3,755986	0,196384
2003-2008	4,703697	1,424693	3,279004	0,302888

Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

A comparação entre os dois períodos indica um acréscimo de aproximadamente 0,03mm/dia na precipitação, o que corresponde a uma variação de apenas 0,6%. Por sua vez, a descarga tem um aumento de 0,506 mm/dia, correspondente a um aumento de 55% naquele componente hidrológico. A combinação daqueles dois componentes leva a um resultado apontando diminuição de 0,477 na evapotranspiração, ou seja, 12% de redução. Finalmente, tais

mudanças conduzem a um aumento no coeficiente de *run-off*, que passa de 0,196 para 0,302.

A fim de analisar as diferenças entre as médias encontradas entre os dois períodos, foram realizados testes os estatísticos clássicos *t-teste*, o qual é utilizado para análise de situações em que o tamanho da amostra é pequeno ( $n < 30$ )..

As tabelas 03, 04 e 05 mostram os resultado de tais testes para a comparação das médias de precipitação, descarga e médias anuais do coeficiente de *run-off*.

Tabela 3- T-teste para as médias de pluviometria da Bacia do Curua-Una dos períodos 1(1978-1985) e 2 (2003-2008)

**PLUVIOMETRIA (mm/dia)**

	<i>Período</i>	<i>Período</i>
	<i>1</i>	<i>2</i>
Média	4,673855	4,703697
Variância	1,384392	0,23572
Observações	8	6
Variância agrupada	0,905779	
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	12	
Stat t	-0,05806	
P(T<=t) uni-caudal	0,477328	
t crítico uni-caudal	1,782288	
P(T<=t) bi-caudal	0,954656	
t crítico bi-caudal	2,178813	

Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

Tabela 4 - T-teste para as médias de vazão da Bacia do Curua-Una dos períodos 1(1978-1985) e 2 (2003-2008)

**VAZÃO (mm/dia)**

	<i>Período</i>	<i>Período</i>
	<i>1</i>	<i>2</i>
Média	0,917869	1,424693
Variância	0,154938	0,262262
Observações	8	6
Variância agrupada	0,199656	
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	12	
Stat t	-2,10026	
P(T<=t) uni-caudal	0,028759	
t crítico uni-caudal	1,782288	
P(T<=t) bi-caudal	0,057519	
t crítico bi-caudal	2,178813	

Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

Tabela 5- T-teste para as médias de Coeficiente de *Runoff* da Bacia do Curua-Una dos períodos 1(1978-1985) e 2 (2003-2008)

**C (Coeficiente de Runoff)**

	<i>Período</i>	<i>Período</i>
	<i>1</i>	<i>2</i>
Média	0,190793	0,300776
Variância	0,002017	0,008829
Observações	8	6
Variância agrupada	0,004856	
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	12	
Stat t	-2,92255	
P(T<=t) uni-caudal	0,00639	
t crítico uni-caudal	1,782288	
P(T<=t) bi-caudal	0,01278	
t crítico bi-caudal	2,178813	

Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

Tais testes indicaram que:

- 1) As médias de precipitação não são diferentes no nível de significância 0,05;
- 2) A média da descarga do segundo período (1978-1985) é maior que a do primeiro período (2003-2008) no nível de significância 0,028;
- 3) O coeficiente de runoff médio do segundo período é maior que o do primeiro no nível de significância 0,006.

Com base nas análises apresentadas (vide tópico 3.2), seria de se esperar que as mudanças na cobertura vegetal provocariam efeitos hidrológicos especialmente evidentes na estação chuvosa, como resultado de uma descarga substancialmente mais elevada.

Com o intuito de verificar tal premissa, foram realizados testes estatísticos comparando as diferenças entre os dois períodos para as médias das precipitações na estação chuvosa e das vazões nas estações de cheia (tabelas 5 e 6).

Para melhor visualização das características hidrológicas de pluviometria e vazão para cada um dos dois períodos, foram plotadas curvas de cada um deles, conforme os gráficos 15 e 16.

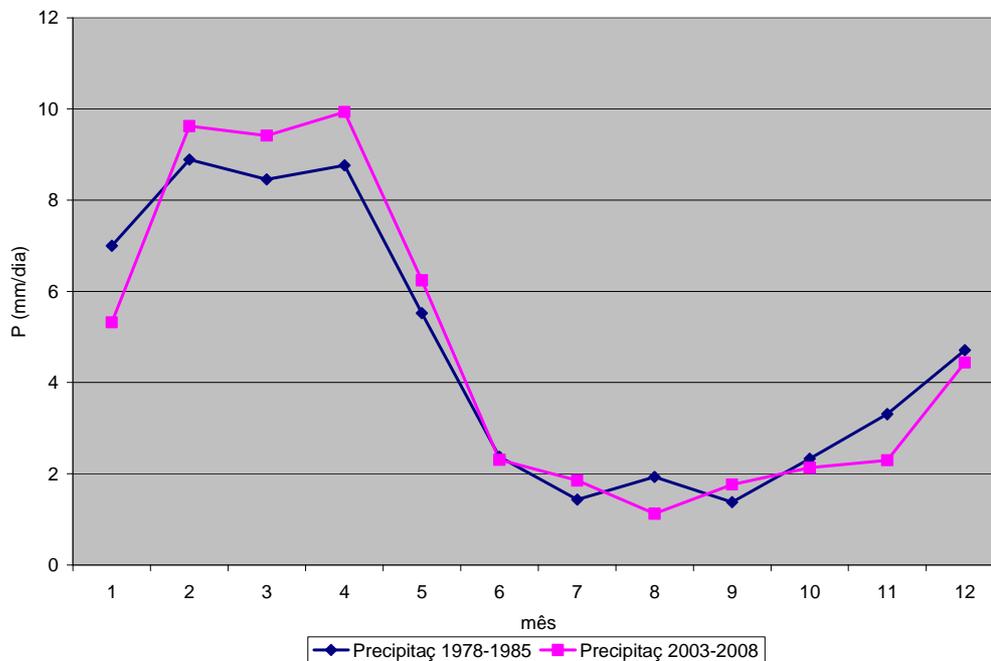


Gráfico15 - Curvas de precipitação média mensal na bacia do Curua-Una para os períodos de 1978-1985 e 2003-2008  
Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

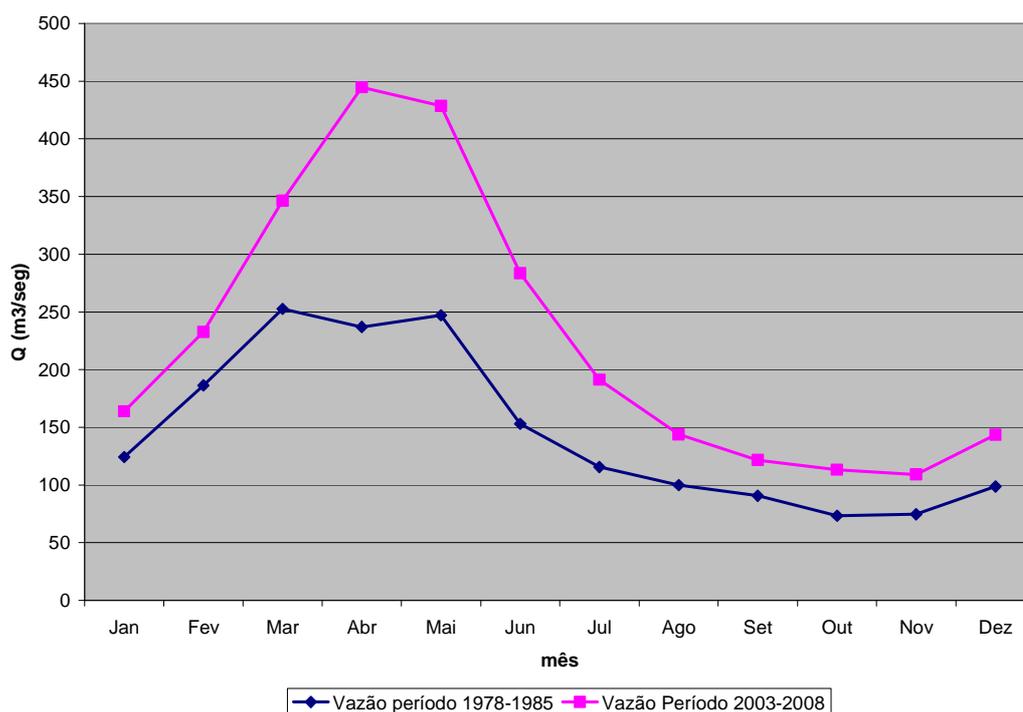


Gráfico 16 - Curvas de descarga média mensal na bacia do Curua-Una para os períodos de 1978-1985 e 2003-2008

Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

A partir da delimitação de tais estações, foram realizados também testes estatísticos para análises da diferenças das mesmas entre os dois períodos de tempo (1978-1985 e 2003-2008), cujos resultados são apresentados nas tabelas 6 e 7.

Tabela 6-T-teste para as precipitações das estações chuvosas (fev-mar-abr) da Bacia do Curua-Una dos períodos 1(1978-1985) e 2 (2003-2008)

**Precipitação (mm/dia)**

	Período 1	Período 2
Média	8,704019	9,658089
Variância	6,214604	0,895985
Observações	8	6
Variância agrupada	3,998513	
Hipótese da diferença de média	0	
GI	12	
Stat t	-0,88346	
P(T<=t) uni-caudal	0,197171	
T crítico uni-caudal	1,782288	
P(T<=t) bi-caudal	0,394342	
T crítico bi-caudal	2,178813	

Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

Tabela 7-T-teste para as vazões das estações de cheia (mar-abr-maio) da Bacia do Curua-Una dos períodos 1(1978-1985) e 2 (2003-2008)

**Vazão (mm/dia)**

	<i>Período</i>	
	<i>1</i>	<i>2</i>
Média	1,543161	2,554628
Variância	0,536828	1,212082
Observações		8      6
Variância agrupada	0,818184	
Hipótese da diferença de média		0
Gl		12
Stat t	-2,07054	
P(T<=t) uni-caudal	0,030315	
t crítico uni-caudal	1,782288	
P(T<=t) bi-caudal	0,060631	
t crítico bi-caudal	2,178813	

Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

Os resultados dessas análises indicam que a pluviometria média nos meses chuvosos aumenta de 8,704 mm/dia no primeiro período para 9,658 mm/dia por dia no segundo período, representando um crescimento de cerca de 11%. Ressalta-se, porém, que tal diferença não se mostra estatisticamente significativa.

Por sua vez, entende-se que a resposta às precipitações no período chuvoso se verifica pela vazão nos meses de cheia. Assim, fazendo-se tal comparação, verifica-se que a descarga passou de 1,543 mm/dia no período de 1978-1985 para 2,554 mm/dia no período de 2003-2008, representando um aumento de cerca de 1,01 mm/dia, ou 65%. Novamente, deve-se enfatizar a confiabilidade estatística do resultado, segundo a qual o aumento na vazão se comprova por um nível de significância < 0,05.

Os mesmos testes foram realizados para as estações de seca, ou seja, os meses de menor pluviometria e os de menor descarga (tabelas 8 e 9).

A precipitação média no primeiro período era de 1,57 mm/dia, mantendo-se no mesmo valor. Por sua vez, a vazão nos meses de seca passa de 0,499 mm/dia (79,45m<sup>3</sup>/seg) para 0,72mm/dia (114,66 m<sup>3</sup>/seg), ou seja, um aumento de 0,22mm/dia ou 44% (P<0,05).

Tabela 8-T-teste para as precipitações das estações secas (jul-ago-set) da Bacia do Curua-Una dos períodos 1(1978-1985) e 2 (2003-2008)

**PLUVIOMETRIA (mm/dia)**

	<i>Período</i>	<i>Período</i>
	<i>1</i>	<i>2</i>
Média	1,579248	1,578223
Variância	0,570035	0,054201
Observações	8	6
Variância agrupada	0,355105	
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	12	
Stat t	0,003185	
P(T<=t) uni-caudal	0,498755	
t crítico uni-caudal	1,782288	
P(T<=t) bi-caudal	0,997511	
t crítico bi-caudal	2,178813	

Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

Tabela 9-T-teste para as vazões das estações secas (set-out-nov) da Bacia do Curua-Una dos períodos 1(1978-1985) e 2 (2003-2008)

**Vazão (mm/dia)**

	<i>Período</i>	<i>Período</i>
	<i>1</i>	<i>2</i>
Média	0,499289	0,720526
Variância	0,031455	0,03913
Observações	8	6
Variância agrupada	0,034653	
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	12	
Stat t	-2,20062	
P(T<=t) uni-caudal	0,024042	
t crítico uni-caudal	1,782288	
P(T<=t) bi-caudal	0,048083	
t crítico bi-caudal	2,178813	

Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

## 5.2 EFEITO DA MUDANÇA DE COBERTURA VEGETAL SOBRE A HIDROLOGIA DA BACIA DO RIO URAIM (PARAGOMINAS)

Pela extensão da bacia, também podem ser admitidas as mesmas premissas adotadas para a bacia do Curua-Una, quais sejam: i) toda descarga, seja superficial ou subsuperficial, passará pelo exutório da bacia, ou seja, pela estação Cafezal e ii) pode-se considerar que não há variação no armazenamento do sistema, uma vez que os períodos considerados são longos (vários anos).

Desta forma, a ET de longo-prazo foi calculada pela diferença entre precipitação e descarga. A tabela 10 apresenta os resultados das médias de P, Q e ET para cada período.

Tabela 10- Médias de longo-prazo de P, Q, ET e C para a Bacia do Uraim

Período	P (mm/dia)	Q(mm/dia)	ET	
			(mm/dia)	C (Q/P)
1985-1989	6,080073	1,560411	4,500686	0,256643
2003-2007	4,52582	1,210691	3,318246	0,267507

Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

Os testes estatísticos *t-teste* foram novamente realizados para analisar as diferenças entre as médias encontradas entre os dois períodos, com os resultados sendo apresentados nas tabelas 11 a 13.

Tabela 11- teste para as médias de pluviometria da Bacia do Uraim dos períodos 1(1985-1989) e 2 (2003-2007)

### **Pluviometria (mm/dia)**

	<i>Período 1</i>	<i>Período 2</i>
Média	6,080073	4,52582
Variância	2,440833	0,022851
Observações	5	5
Variância agrupada	1,231842	
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	8	
Stat t	2,214187	
P(T<=t) uni-caudal	0,028851	
t crítico uni-caudal	1,859548	
P(T<=t) bi-caudal	0,057703	
t crítico bi-caudal	2,306004	

Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

Tabela 12- T-teste para as médias de vazão da Bacia do Uraim dos períodos 1(1985-1989) e 2 (2003-2007)

**Vazão (mm/dia)**

	<i>Período</i>	<i>Período</i>
	<i>1</i>	<i>2</i>
Média	1,560411	1,210691
Variância	0,05416	0,002708
Observações	5	5
Variância agrupada	0,028434	
Hipótese da diferença de média	0	
GI	8	
Stat t	3,279228	
P(T<=t) uni-caudal	0,0056	
t crítico uni-caudal	1,859548	
P(T<=t) bi-caudal	0,011201	
t crítico bi-caudal	2,306004	

Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

Tabela 13- T-teste para as médias de Coeficiente de *Runoff* da Bacia do Uraim dos períodos 1(1985-1989) e 2 (2003-2007)

**C (Coeficiente de Runoff)**

	<i>Período</i>	<i>Período</i>
	<i>1</i>	<i>2</i>
Média	0,266604	0,267818
Variância	0,003053	0,000255
Observações	5	5
Variância agrupada	0,001654	
Hipótese da diferença de média	0	
GI	8	
Stat t	-0,04716	
P(T<=t) uni-caudal	0,48177	
t crítico uni-caudal	1,859548	
P(T<=t) bi-caudal	0,96354	

Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

Tais testes indicaram que:

a) A média de precipitação do segundo período é 1,554 mm/dia menor que a do primeiro, o que corresponde a uma redução de aproximadamente 25%, com nível de significância 0,03 ;

b) Há uma redução na descarga, que passa de 1,56mm/dia no primeiro período para 1,21 mm/dia no segundo, o que representa uma diminuição de cerca de 22% ( $P=0,005$ );

c) A diferença entre os coeficientes de runoff é negligenciável, não sendo estatisticamente significativa.

De modo geral, podem-se resumir tais resultados da seguinte forma: ocorre uma redução na precipitação média da área, acarretando uma diminuição na vazão da bacia, sendo ambas estatisticamente significativas.

A fim de verificar de que forma as mudanças na cobertura vegetal da área afetaram a sazonalidade das características hidrológicas da bacia, foram realizados testes comparando as médias das precipitações nos trimestres chuvoso e seco e das vazões nos trimestres de cheia e de estiagem. Para melhor visualização destes trimestres, foram plotadas as curvas de precipitação média mensal e vazão média mensal de cada período (Gráfico 17 e 18).

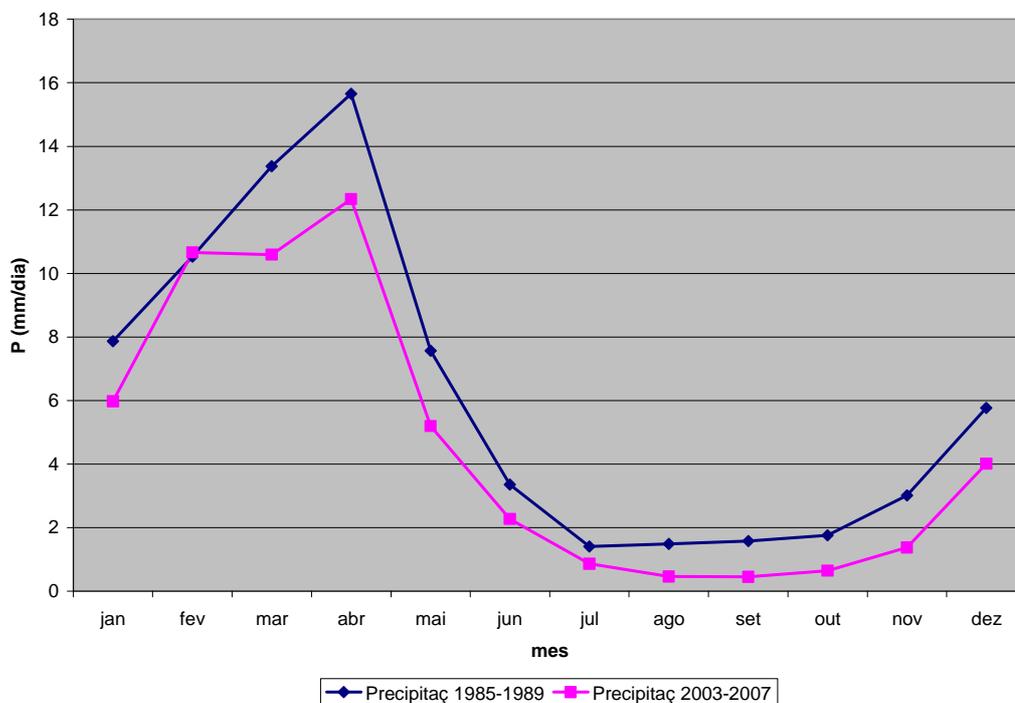


Gráfico 17- Curvas de precipitação média mensal na bacia do Uraim para os períodos de 1985-1989 e 2003-2008

Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

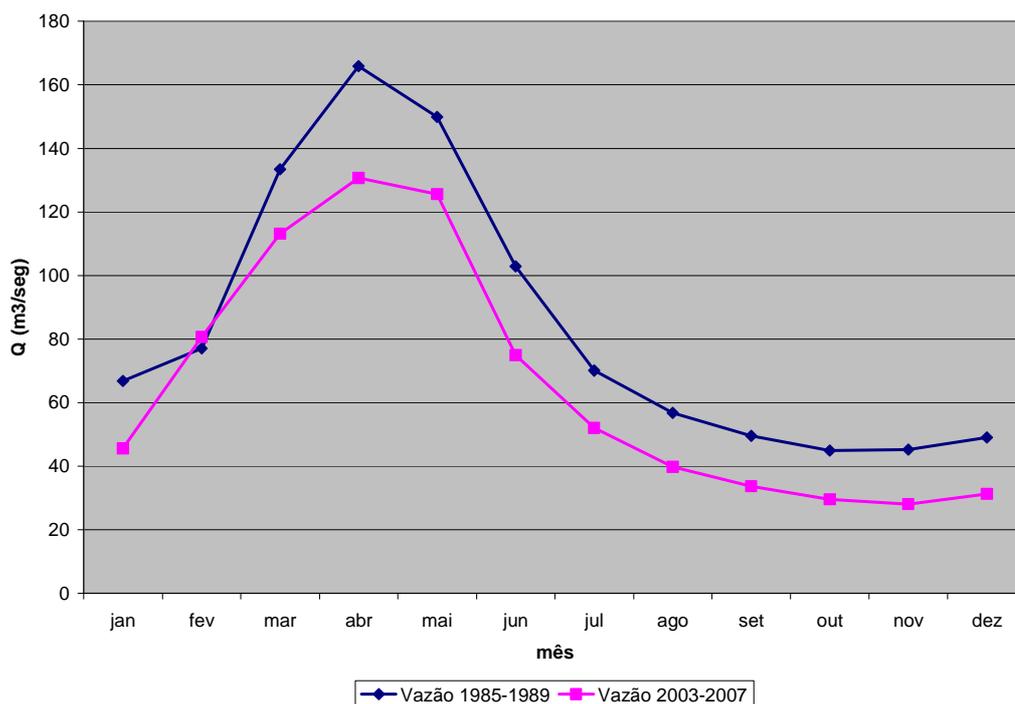


Gráfico18 - Curvas de descarga média mensal na bacia do Uraim para os períodos de 1985-1989 e 2003-2008

Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

Quanto ao regime de chuvas, uma primeira e importante constatação é que o período menos chuvoso se altera, passando de julho-agosto-setembro nos anos de 1985-1989 para agosto-setembro-outubro nos anos de 2003-2007. O trimestre mais chuvoso, porém, não sofre alteração, mantendo-se nos meses de fevereiro-março-abril em ambos os períodos.

No que diz respeito à descarga da bacia, não ocorre alteração de sazonalidade, com meses de estiagem em outubro-novembro-dezembro e cheia em março-abril-maio em ambos os períodos (admitidos como “pré” e “pós” desmatamento).

Definidas tais estações, procedeu-se a etapa de testes estatísticos para analisar as diferenças percebidas entre os dois períodos de tempo (1978-1985 e 2003-2008) (tabelas 14 a 17).

Tabela 14-T-teste para as precipitações das estações chuvosas (fev-mar-abr) da Bacia do Uraim dos períodos 1(1985-1989) e 2 (2003-2007)

**Pluviometria (mm/dia)**

	<i>Período 1</i>	<i>Período 2</i>
Média	13,09919	11,08052
Variância	6,249315	1,247215
Observações	5	5
Variância agrupada	3,748265	
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	8	
Stat t	1,648616	
P(T<=t) uni-caudal	0,068919	
t crítico uni-caudal	1,859548	
P(T<=t) bi-caudal	0,137838	
t crítico bi-caudal	2,306004	

Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

Tabela 15-T-teste para as vazões das estações de cheia (mar-abr-maio) da Bacia do Uraim dos períodos 1(1985-1989) e 2 (2003-2007)

**VAZÃO (mm/dia)**

	<i>Período 1</i>	<i>Período 2</i>
Média	2,771713	2,279478
Variância	0,114009	0,019973
Observações	5	5
Variância agrupada	0,066991	
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	8	
Stat t	3,00701	
P(T<=t) uni-caudal	0,008445	
t crítico uni-caudal	1,859548	
P(T<=t) bi-caudal	0,01689	
t crítico bi-caudal	2,306004	

Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

Os resultados destes testes indicam que a precipitação nos meses mais chuvosos diminui 2,01mm/dia do primeiro para o segundo período

(aproximadamente 15%), porém tal resultado não atende um nível de significância elevado. Entretanto, a vazão no período de cheia passa de 2,77 mm/dia para 2,279 mm/dia, uma redução de 17%, com um nível de significância bastante alto, com  $P < 0,01$ .

Tabela 16-T-teste para as precipitações das estações secas (jul-ago-set) da Bacia do Uraim dos períodos 1(1985-1989) e 2 (2003-2007)  
**PRECIPITAÇÃO (mm/dia)**

	<i>Período 1</i>	<i>Período 2</i>
Média	1,523481	0,532028
Variância	0,741379	0,013794
Observações	5	5
Variância agrupada	0,377586	
Hipótese da diferença de média	0	
GI	8	
Stat t	2,55114	
P(T<=t) uni-caudal	0,017057	
t crítico uni-caudal	1,859548	
P(T<=t) bi-caudal	0,034114	
t crítico bi-caudal	2,306004	

Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

Tabela 17-T-teste para as vazões das estações secas (set-out-nov) da Bacia do Uraim dos períodos 1(1985-1989) e 2 (2003-2007)  
**Vazão (mm/dia)**

	<i>Período 1</i>	<i>Período 2</i>
Média	0,858597	0,548289
Variância	0,024364	0,00121
Observações	5	5
Variância agrupada	0,012787	
Hipótese da diferença de média	0	
GI	8	
Stat t	4,338936	
P(T<=t) uni-caudal	0,001241	
t crítico uni-caudal	1,859548	
P(T<=t) bi-caudal	0,002482	
t crítico bi-caudal	2,306004	

Fonte: Elaborado pelo autor (2009)

Os resultados indicam uma redução da precipitação nos meses mais secos entre os dois períodos, passando de 1,52mm/dia na situação de vegetação mais preservada para 0,53mm/dia na condição mais devastada. Trata-se, portanto, de uma redução de 65% na precipitação nos meses menos chuvosos, em um nível de significância elevado ( $P=0,01$ ).

Finalmente, a vazão nos meses de estiagem também sofre diminuição, passando de 0,858mm/dia no primeiro período para 0,548mm/dia no segundo período, uma redução de 36% estatisticamente significativa ( $P=0,001$ ).

## 6 CONCLUSÕES

### 6.1 QUANTO AO EFEITO DA MUDANÇA DE COBERTURA VEGETAL SOBRE A HIDROLOGIA DA BACIA DO RIO CURUA-UNA

Para a bacia do Curua-Una, do ponto de vista hidrológico, o resultado mais relevante é o aumento na descarga do rio. A tendência natural seria que um aumento em P provocasse elevação semelhante em Q. Dessa forma, o acentuado aumento em Q, a despeito da precipitação praticamente não variar, provocando como resultado diminuição de ET, indica que houve mudança em outro mecanismo que controla ET; possivelmente a cobertura vegetal. Apenas para enfatizar tal constatação com números, a ordem de grandeza do aumento (o qual não se mostrou estatisticamente significativo) verificado em P não justificaria nem 1/15 (ou cerca de 6%) do aumento em Q.

Então, o fato de que, a despeito da pequena alteração na precipitação média, ocorrem aumento na vazão (Q), queda na evapotranspiração (ET) e aumento no coeficiente de run-off (C), são todos resultados em acordo com o esperado para áreas que sofrem mudança de cobertura vegetal.

Confirma-se, estatisticamente, que apesar da precipitação não mudar significativamente entre os períodos, a descarga da bacia do Curua-una e o coeficiente de runoff aumentou do período mais antigo para o mais recente.

Quanto ao regime de chuvas identificam-se, então, duas estações bem distintas, quais sejam: a estação chuvosa, com picos nos meses de fevereiro-março-abril e a estação seca, que apesar de menos evidente, apresenta meses mais secos em julho-agosto-setembro.

Por sua vez, no que diz respeito à vazão do canal, o período de cheia ocorre nos meses de março-abril-maio, e o período de seca em setembro-outubro-novembro.

Em ambos os casos, verifica-se um “atraso” entre o regime de chuvas e sua resposta na vazão do canal (no caso, um mês entre o período chuvoso e o de cheia, dois meses entre o seco e o de baixa vazão), o que é compatível com o tamanho da bacia.

Tais análises indicaram que para o período chuvoso ocorre um aumento na precipitação, porém o mesmo não é comprovado estatisticamente por nível de

significância elevado. Por sua vez, a vazão do canal também apresentou aumento, este sim, com nível de significância estatística alta o que pode ser interpretado como indicativo de que tal fato se deva a uma redução da infiltração após o desmatamento.

Já para as características dos meses secos (em termos de chuva e de vazão) foi constatada que não ocorre mudança significativa na pluviometria, havendo aumento estatisticamente significativo na descarga do canal, o que indica que a redução na infiltração não deve ter sido muito alta, pois nesse caso deveria acarretar em redução da descarga do canal.

## 6.2 QUANTO AO EFEITO DA MUDANÇA DE COBERTURA VEGETAL SOBRE A HIDROLOGIA DA BACIA DO RIO URAIM

Por sua vez, a bacia do Uraim apresenta taxa de desmatamento na ordem de 65% de sua área, estando inclusa em uma grande área com característica semelhante no que diz respeito a taxa elevada de desmatamento, uma vez que a área total dos municípios vizinhos alcança cerca de 45.000 km<sup>2</sup>, dos quais cerca de 24.000 km<sup>2</sup> já se apresentam devastados. Desta forma, a hipótese testada foi de que o impacto do desmatamento sobre a hidrologia da região teria efeitos diferentes daqueles verificados para a primeira bacia.

Diferentemente do verificado para a bacia de Curua-Una, a bacia do Uraim aponta uma redução dos parâmetros hidrológicos, com exceção do coeficiente de *runoff*.

De modo geral, podem-se resumir tais resultados da seguinte forma: ocorre uma redução na precipitação média anual da área, acarretando uma diminuição na vazão média anual da bacia, sendo ambas estatisticamente significativas.

Quanto ao regime de chuvas, uma primeira e importante constatação é que o período menos chuvoso se altera, passando de julho-agosto-setembro nos anos de 1985-1989 para agosto-setembro-outubro nos anos de 2003-2007. O trimestre mais chuvoso, porém, não sofre alteração, mantendo-se nos meses de fevereiro-março-abril em ambos os períodos.

No que diz respeito à descarga da bacia, não ocorre alteração de sazonalidade, com meses de estiagem em outubro-novembro-dezembro e cheia em

março-abril-maio em ambos os períodos (admitidos como “pré” e “pós” desmatamento).

Os resultados destes testes indicam que há uma redução na precipitação nos meses mais chuvosos, porém tal resultado não atende um nível de significância elevado. Entretanto, a vazão no período de cheia apresenta uma redução de aproximadamente 17%, com um nível de significância bastante alto, com  $P < 0,01$ .

Já para os meses mais secos, os resultados indicam uma redução da precipitação da ordem de 65%, em um nível de significância elevado ( $P = 0,01$ ).

Finalmente, a vazão nos meses de estiagem também sofre diminuição no segundo período, com uma redução de 36% estatisticamente significativa ( $P = 0,001$ ).

O aspecto mais relevante dos resultados obtidos para esta segunda bacia se refere à verificação de que, de fato, níveis de desmatamento mais elevados podem provocar alterações (estatisticamente significativas) na precipitação de uma bacia.

Tal constatação se mostra especialmente relevante por apresentar a evidência com dados reais de campo de que tal fenômeno já está ocorrendo, uma vez que em sua maioria (senão na totalidade) os estudos que o previam apontavam para tal possibilidade apenas por meio de simulações para previsões de cenários futuros, ou seja, os resultados aqui apresentados apontam para um quadro mais alarmante, em que tal fenômeno passa de mera possibilidade em um quadro de desmatamento futuro para realidade de um quadro de desmatamento atual.

### 6.3 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

A partir dos resultados obtidos nesse trabalho, e em função especialmente da relevância dos resultados encontrados para a Bacia do Uraim, uma primeira e principal sugestão para futuras pesquisas seria a investigação quanto à possibilidade de que os mesmos efeitos ali detectados também estejam ocorrendo, localmente, em outras áreas da Amazônia que apresentem característica semelhante quanto à evolução do desmatamento, ou seja, taxa percentual e extensão elevadas.

Especificamente, um primeiro foco nesse sentido poderia ser, exatamente, a micro-região de Paragominas, selecionando-se uma bacia mais extensa e, dessa forma, verificando se o efeito verificado na bacia ora estudada apresenta, na

realidade, uma área de influência maior e também se faz sentir em uma área mais abrangente.

Outra sugestão seria que trabalhos não voltados para comparação de duas bacias com níveis de desmatamento diferentes (como era o caso desse estudo), mas ao estudo de uma bacia específica incluam análise da evolução temporal do desmatamento por meio do tratamento de imagens de satélite, a fim de facilitar a determinação dos períodos a serem considerados representativos da condição “mais desmatada” e “mais preservada”.

Por fim, seria também interessante que dados de temperatura e umidade das áreas estudadas fossem analisados, especialmente em situações em que ocorra efeito semelhante ao encontrado para a Bacia do Uraim.

## REFERÊNCIAS

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <<http://hidroweb.aneel.gov.br>>. Acesso em: 27 dez. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS (ABIOVE): <<http://www.abiove.com.br/>> . Acesso em 4 fev. 2010.

ALBAGLI, S. **Amazônia**: fronteira geopolítica da biodiversidade: Brasília, DF: IBAMA, 1998. p.199-221.

ALENCAR, A., et al. **Desmatamento na Amazônia**: indo além de uma emergência crônica. Belém: IPAM, 2004.

ALIER, J.M.; JUSMET, J.R. **Economía ecológica y política ambiental**. 2.ed. Mexico: Fondo de cultura económica, 2001.

BARBIERI, J.C. **Desenvolvimento e meio ambiente**: as estratégias de mudanças da Agenda 21. Petrópolis: Vozes, 1997.

BICKEL, U. **Brasil**: expansão da soja, conflitos sócio-ecológicos e segurança alimentar. 2004. 169 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical,) – Faculdade de Agronomia, Universidade de Bonn, Alemanha, 2004.

BRUIJNZEEL, L. A.. **Hydrology of moist tropical forest and effects of conversion**: a state of knowledge review. Paris: UNESCO, 1990. 226 p.

CARVALHO, R. A Amazônia rumo ao “ciclo da soja”. **Amazônia Papers**, v.1, n. 2, 1999.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**. 2. ed. Rio de Janeiro: FGV, 1991.

COE, M.T., COSTA, M.H., SOARES FILHO, B.S. The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River – Land surface processes and atmospheric feedbacks. **Journal of Hydrology**, v. 369, p.165–174, maio, 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 3 fev. 2005.

COSTA, F.A. **Formação agropecuária da Amazônia**: os desafios do desenvolvimento sustentável. Belém: NAEA, 2000.

\_\_\_\_\_. **Teorias do desenvolvimento e estratégias do desenvolvimento sustentável.** Belém: NAEA, 2006.

COSTA, M.H., FOLEY, J.A. Combined effects of deforestation and doubled atmospheric CO2 concentrations on the climate of Amazonia. **Journal of Climate**, v.13, p.18-34, 2000.

COSTA, M.H., BOTTA, A., CARDILLE, J.A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, v. 283, p. 206-217, 2003.

COSTA, M. H., et al. Climate change in Amazonia caused by soybean cropland expansion, as compared to caused by pastureland expansion. **Geophysical Research Letters**, v.34, n.7, p 1-4, 2007.

CRONON, William. **Pricing the future: Grain.** In: GREAT, West. Chicago and the great west. Chicago: Norton; Company, 1991. p. 97-147.

DYHR-NIELSEN, M. Hydrological effect of deforestation in the Chao Phraya basin in Thailand. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL FOREST HYDROLOGY AND APPLICATION. **Paper.....**, Thailand, jun. 1986. 12 p.

EMBRAPA. **Zoneamento ecológico-econômico da área de influência da BR-163,** 2007. Disponível em: <http://zeebr163.cpatu.embrapa.br . Acesso em: 14 jan.2010.

\_\_\_\_\_. Disponível em: <www.embrapa.gov.br.>. Acesso em: 7 ago. 2005.

FEARNSIDE, P. Environmental destruction in the Amazon. In: GOODMAN, N.D.; HALL, J. A (edt.) **The Future of Amazonia: destruction or sustainable development?.** London: MacMillan, 1990. p. 179-225

\_\_\_\_\_. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. **Environmental Conservation**, v.28, n. 1, p.23-38, 2001.

\_\_\_\_\_. Conservation Policy in Brazilian Amazônia: understanding the dilemmas. **World Development**. v. 31, n. 5, p757-779, 2003.

FENZL, N. Estudo de Parâmetros capazes de dimensionar a sustentabilidade de um processo de desenvolvimento. In: XIMENES, Tereza. **Perspectivas do Desenvolvimento Sustentável: uma contribuição para a Amazônia** 21. Belém: NAEA 1997.

GARCEZ, Lucas .Nogueira; ALVAREZ, Guillermo Acosta. **Hidrologia.** 2. ed. São Paulo: E. Blücher, 1999.

GASH, J.H.C., NOBRE, C.A. Climatic effects of Amazonian deforestation: some results from ABRACOS, **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n.5, p. 823 - 830, 1997.

GREENPEACE. **Eating up the Amazon**. Relatório do Greenpeace, 2006.

\_\_\_\_\_. Disponível em: <http://www.greenpeace.org>. Acesso em: 3 ago. 2005.

GRUPO DE TRABALHO AMAZÔNICO. Disponível em: <http://www.gta.org.br/>. Acesso em: 3 ago. 2005.

HARDJONO, H. W. Influence of a permanent vegetation cover on streamflow. **Surakarta**, Indonesia, p. 3-5, jun. 1980.

HECHT, S.; NORGAARD, R; POSSIO, G. The economics of cattle ranching in eastern. **Amazonia**: Interciencia, v.13, n. 5, p.233-40, 1988.

HOMMA, A.K.O. ; CARVALHO, R.A.C. A expansão do monocultivo da soja na Amazônia: início de um novo ciclo e as conseqüências ambientais. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA. 2, 1997 São Paulo, 2. **Anais...** São Paulo, 1997.

IBGE. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 5 nov.2009.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (BRASIL). Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/>. Acesso em 14 de jan. 2009.

\_\_\_\_\_. Disponível em: <http://www.inpe.br>. Acesso em: 3 fev. 2010.

JOHN, Liana. **Desmatamento na Amazônia atinge 25.500 km<sup>2</sup> em 2002**: índice anual é o segundo maior da história do monitoramento por satélite, realizado nos últimos 15 anos. Disponível em: <http://www.uni-tuebingen.de/egwinfo/susam/download/desmatamento.pdf>. Acesso em: 15 out. 2009.

KAIMOWITZ, D., MERTENS, B., Wunder, S., PACHECO, P. 2004. **A Conexão hambúrguer alimenta a destruição da Amazônia**: desmatamento e pecuária na Amazônia. Disponível em: [http://www.cifor.cgiar.org/publications/pdf\\_files/media/Amazon-Portugese](http://www.cifor.cgiar.org/publications/pdf_files/media/Amazon-Portugese). Acesso em: 12 fev. 2009.

MAIMON, D. **Passaporte verde**: gestão ambiental e competitividade. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1996.

MARGULIS, S. **Causas do desmatamento da Amazônia brasileira**. Brasília, DF. **Banco Mundial**, 2003.

MCGRATH, D. Biosfera ou biodiversidade: uma avaliação crítica do paradigma da biodiversidade. In: Ximenes, Tereza (Org.) **Perspectivas do desenvolvimento sustentável**: uma contribuição para a Amazônia. Belém: NAEA, 1997.p. 33-69.

\_\_\_\_\_.; VERA-DIAZ, Maria del Carmem. Soja na Amazônia: impactos ambientais e estratégias de mitigação. **Ciência & Ambiente**, n. 32, p. 151-165, 2006.

MICRO-PARAGOMINAS. Disponível em : <[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d1/Para\\_Micro\\_Paragominas.svg/619px-Para\\_Micro\\_Paragominas.svg.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d1/Para_Micro_Paragominas.svg/619px-Para_Micro_Paragominas.svg.png)>. Acesso em: 23 abr. 2009

MICRO- SANTAREM. Disponível em :[http://upload.wikimedia.org/Wikipédia/commons/thumb/a/a4/Para\\_Micro\\_Santarem.svg/619px-Para\\_Micro\\_Santarem.svg.png](http://upload.wikimedia.org/Wikipédia/commons/thumb/a/a4/Para_Micro_Santarem.svg/619px-Para_Micro_Santarem.svg.png). Acesso em: 20 mar. 2009.

MYERS, N. Conversion of Tropical Moist Forests. **Academy of Science**, Washington, DC, 1980. 205 p.

\_\_\_\_\_. The Hamburger Connection: how central America's Forests Became. **Ambio**, v. 10, n.1, p.3-8, 1981.

MYERS, N. Environmental repercussions of deforestation in the Himalayas. **Journal of World Forest Resource Management 2** p. 63-72, 1986.

MORTON, D. et al. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. **PNAS**, v. 103, n. 39, p. 14637-14641, 2006. Disponível: <<http://www.pnas.org/content/103/39/14637.full>>. Acesso em: 10 jan. 2009.

NASCIMENTO JÚNIOR, J.D.B. **Zoneamentos agroecológicos e seus reflexos no desenvolvimento da produção agrícola familiar municipal no Estado do Pará**: a questão da segurança alimentar da população local. Belém, 207 f Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Núcleo de Altos Estudos Amazônicos Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

NEPSTAD, D., et al. Frontier Governance in Amazônia. **Science**, v. 295, p, 629-630, jan. 2002.

NEPSTAD, D. C.; STICKLER, C.; ALMEIDA, O. T. Globalization on the Amazon soy and beef industries: opportunities for conservation. **Conservation Biology**, v. 20, p. 1595-1603

NEPSTAD, D. et al. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon Forests. **Forest Ecology & Management**, v.154, p.395-407, 2001.

NOBRE, C.A., SELLERS, P.J., SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. **Journal of Climate**, v.4, p.957–988. , 1991.

PARÁ. Disponível em: < <http://www.cdpara.pa.gov.br/economia/agropec/soja.html>>. Acesso em: 3 jul. 2005.

PARAGOMINAS. Prefeitura Municipal de. Disponível em: <http://www.paragominas.pa.gov.br/>. Acesso em: 22 abr. 2010.

PINTO, N.L.S . et al. **Hidrologia básica**. São Paulo: E.Blücher, 1976.

QIAN, W.C..Effects of deforestation on flood characteristics with particular reference to Hainan island, **Sciences Publication**, n.140, p 249-258.,1983.

RIBEIRO, Adagenor Lobato. **Modelo de indicadores para mensuração do Desenvolvimento Sustentável na Amazônia**. Belém, 280 f. Tese (Doutorado.em Desenvolvimento Sustentável) - Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.

RUDEL, T.K. et al. Forest Transitions: towards a global understanding of Land. **Global Environmental Change**, n. 15, p. 23-31, 2005.

SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI**: desenvolvimento e meio ambiente. São Paulo: Nobel, 1993.

SAMPAIO, G. et al. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. **Geophysical Research Letters** n.34, 2007.

SEILER, W.; CRUTZEN, P.J. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. **Climatic Change**, n. 2, p. 207-247, 1980.

SOARES FILHO, B. S.; et al. Modeling conservation in the Amazon basin. **Nature, London**, v. 440, p. 520-523, 2006.

TERBORGH, John. Protecting Biodiversity. **Requiem for Nature**. Washington, D.C., 1999.

TUCCI, C. **Hidrologia**: ciência e aplicação. .2.ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: ABRH, 2000.

\_\_\_\_\_. **Hidrologia I**. Notas de aula. Instituto de Pesquisas Hidráulidas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. Disponível em: <

<http://www.iph.ufrgs.br/posgrad/disciplinas/hip01/hip01.htm>)>. Acesso em: 13 jan. 2009.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME: **Global Environment Outlook**, 2000. Disponível em: < <http://www.grida.no/geo2000/ov-e.pdf>.> Acesso em: dez. 2009.

US DEPARTMENT OF AGRICULTURE, **The Amazon: Brazil's Final Soybean Frontier**, 13.01.2004. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/pecad/highlights/2004/01/Amazon/Amazonsoybeans.htm>>. Acesso em: 21 mar. 2009.

# **ANEXOS**

## Anexo A- Série Histórica da Pluviometria da Estação Cafezal (em mm)

CAFEZAL												
	jan	fev	mar	Abr	Mai	jun	jul	ago	set	out	nov	Dez
1985	510	498,7	426,8	403,3	332,1	115,7	91,5	50,8	80,1	32,4	142,3	237,5
1986	304,2	372,7	414,8	445,4	230,6	182,8	52,3	83,5	81,7	23	128,4	205,2
1987	246,9	188,6	298,7	417,9	124,9	99,4	37,7	43,4	28,3	19,7	5,2	25,2
1988	381,8	280,7	288,1	521,6	238,8	120,5	10	16,6	25,6	100,2	80	107,3
1989	205,5	297,3	383,2	572,7	293,4	95,4	91,7	125,9	121,8	118,8	128,1	271,3
1990	216,1	297	311,2	321,9	131,3	106,1	151,2	84,3	95	20,9	45,3	115,7
1991	436,5	172,5	233,3	367,9	353	68,7	26,3	14,7	1,6	86,4	17,2	135,3
1992	184	363,8	311,3	225,4	112,6	79,3	87,3	67,5	88,7	28,9	85,1	79,7
1993	148,9	262,3	499,9	295,4	149,2	24,3	22,2	26,4	12,1	54,9	92,7	156
1994	262,2	228,1	266,1	286,4	239,8	183,4	39,7	34,9	31,9	45,4	3,1	109,3
1995	244,5	320,2	293,5	372,1	331	81,1	34,6	27,5	36,3	149	115,2	145,6
1996	333,9	339,2	394	525	265,5	52,4	94,9	73,4	64,1	8,3	36	66
1997	196	164,3	480,8	188,1	176,8	11,2	9,5	37,4	3,8	18,6	49,5	137,3
1998	285,9	169,5	366,3	298,6	98,8	144,3	11,7	71,3	38,3	8,2	31,6	140,5
1999	102,1	244,6	285,8	310,7	199,9	76,5	42,5	1,6	35,8	9,6	1	219,6
2000	212,6	396,3	333,4	248,6	296,2	128,2	134,2	53,8	159,2	52,3	13,6	265,3
2001	187,1	291,2	351,2	490,4	192	195,9	103,2	0,3	21,1	32,4	2,1	72,2
2002	568,6	539,2	435,8	439,6	224,6	107,3	71,5	40,7	51	13,4	35,9	162,1
2003	174	161,5	386	324,6	155,3	99,1	57,6	12,8	35,5	8,2	33,5	25,9
2004	259,4	358,9	266,3	319	231,7	98,9	72,9	41,6	33,2	31,5	17,9	64,1
2005	78,6	405,2	321,5	315,8	245,1	73,1	40,6	1	0,6	21	51,3	284,5
2006	341	228,4	249,4	420,1	223,9	63,6	6,9	18,1	16,4	7,5	29,4	29,2
2007	71,8	219,3	234,7	356,2	151,3	92,9	33,7	10	0	79,0381	28,12415	115,8
2008	171,5	163,3	428,3	481,4	264,1	56,5	11,33519	18,6	27,6	42,4	25,69247	114,3999

Fonte: Agencia Nacional de Energia Elétrica (2009)

## Anexo B - Série Histórica da Pluviometria da Estação Paragominas (em mm)

PARAGOMINAS												
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1985	316,6	556,8	503,4	447,5	288,1	100,8	34,2	45,2	17,3	146,5	158,8	210,2
1986	206,5	320,5	532,5	459,9	150,9	139,4	46	27,9	66,1	32,4	76	131,2
1987	183,3	169,9	367,2	282,1	103	73,3	11,9	21,9	16,2	13,9	33,3	19,8
1988	164,8	174,6	357,6	562,7	199,7	32,9	20,3	8,9	36	40,1	105,8	197,8
1989	135,1	170,8	441,4	589,8	407,1	101,4	72,3	83,2	50,5	30,8	62,9	358,2
1990	87,4	340,9	272,3	184,2	112,3	57	59,4	26,3	30,7	8,2	31,5	79,6
1991	404	234	228	207	142	56	21	7,2	2,3	49	5,2	77
1992	180,7	263	248,3	166,1	50	6,5	27,4	18,8	22,3	0	48,3	64,6
1993	104,7	237,2	326,6	270,2	146,5	62,4	10,6	33,4	14,5	64,2	29,6	160,1
1994	288,9	225,6	306,3	295,9	342,3	170	20,7	9,7	12,5	28	34,7	87,6
1995	247,1	331,1	307,8	455,7	499,9	28,6	28,6	6,4	28,3	15,2	57,4	70,5
1996	250	257,3	515,5	585,4	239,3	19,8	12,2	59	44	33	10,3	30,7
1997	272,8	111,6	272,7	230,5	96,3	8,3	10,7	15,3	0	11,2	30,7	86,3
1998	219,3	248,3	357,8	283,1	80	35,2	11,4	49,1	21,7	2,6	49,2	218,9
1999	174,6	202	437,1	454,2	344,1	12,8	8,9	6,2	1,3	24,4	116,9	198
2000	248,6	279,2	257,4	392,4	117	97,4	69,8	36,4	18,4	44,9	32,9	116,4
2001	379,1	413,1	267,7	315,6	215,4	104,8	49,1	0	37,7	8,3	8,6	86,6
2002	294	146,7	471,8	344,5	163,1	108,6	51,4	45,7	33,7	38,7	23,4	178,7
2003	116	303,3	445,2	381,1	139,9	104,1	22,6	25,2	10,8	2,3	52,5	144,6
2004	300,9	390,7	252,6	218,3	117,9	23,1	27,7	12,7	14,1	16,5	44,2	61,9
2005	106	296,6	380,1	371,7	123,3	43,6	7,5	0,2	7,7	33,6	38	263,9
2006	314,4	162	305,1	424,6	148,8	54	23,2	20,8	24,8	2,9	65	58,4
2007	89,2	399,9	350,7	514	174,6	72,6	13,6	6,9	0	22,4	29,8	144,1
2008	299,2	316,8	541,7	290,2	166,5	32,7	6,3	6,6	16,9	33,8	22,86928	106,3053

Fonte: Agencia Nacional de Energia Elétrica (2009)

## ANEXO C- Série Histórica de Vazões da Estação Cafezal (em mm/dia)

CAFEZAL												
	jan	fev	mar	abr	Mai	jun	jul	ago	set	out	nov	Dez
1985	1,344245	1,531469	2,860416	2,97236	2,885851	2,001915	1,211921	0,945989	0,824329	0,709671	0,902073	0,934131
1986	1,632613	1,797356	3,179548	3,446746	3,028968	2,284997	1,589183	1,268989	1,178178	1,044791	1,014645	0,999528
1987	1,30246	1,271991	2,44425	2,534561	2,051843	1,299332	1,031501	0,900098	0,773041	0,730926	0,634778	0,641731
1988	0,93151	1,285188	1,726418	3,176699	2,740705	1,523463	1,09741	0,877565	0,76183	0,690804	0,655095	0,891781
1989	0,972821	1,251783	2,142159	3,216494	3,168681	2,409655	1,558105	1,266648	1,044444	0,980219	0,973832	1,074943
1990	1,694302	1,965959	2,074942	2,434859	1,830647	1,417296	1,232735	1,024879	0,875494	0,792902	0,695568	0,747787
1991	1,531763	1,616536	1,667947	2,28327	2,107499	1,340385	1,02147	0,773031	0,664029	0,654251	0,605399	0,646251
1992	0,653511	1,224032	1,451595	1,704333	0,924423	0,744364	0,628046	0,541621	0,493314	0,455668	0,481703	0,480959
1993	0,567838	0,799298	1,624481	1,888399	1,296496	0,760849	0,624153	0,549884	0,469228	0,444586	0,461466	0,470164
1994	0,819865	1,065094	1,747769	2,389604	2,370525	1,51287	0,994996	0,691281	0,574822	0,541609	0,473633	0,503254
1995	0,707653	1,234867	1,543955	2,583177	2,601112	1,945086	0,945326	0,709719	0,595903	0,542612	0,546262	0,61469
1996	0,906977	1,56964	2,741255	3,327733	2,981263	1,616428	1,192176	1,005289	0,833448	0,723493	0,660278	0,643695
1997	0,931021	1,203799	1,466719	2,446469	1,962946	0,96464	0,761359	0,647875	0,557732	0,497277	0,523268	0,536206
1998	0,767747	1,08583	1,303941	1,864424	1,22111	0,790846	0,62272	0,541812	0,46481	0,428453	0,419908	0,472636
1999	0,765019	1,146864	2,261202	2,900299	3,025505	1,600893	1,002041	0,743775	0,639794	0,574949	0,512952	0,693084
2000	1,617955	1,886533	2,371241	2,615692	2,456549	1,613935	1,320975	0,983783	0,794141	0,738342	0,669594	0,716232
2001	0,992136	1,990391	2,45483	2,972175	2,38126	1,659887	1,302562	0,8994	0,764508	0,683902	0,664541	0,625073
2002	1,22809	1,32609	1,88367	2,978407	2,272481	1,592422	1,049209	0,911204	0,742538	0,651457	0,626098	0,752719
2003	0,790358	1,465754	2,417753	2,677636	2,354291	1,472261	1,022843	0,793573	0,695605	0,610803	0,579261	0,562853
2004	0,949918	2,213249	2,190749	2,342993	1,777843	1,23472	0,980484	0,763087	0,625913	0,574519	0,529481	0,529062
2005	0,651126	1,082922	2,227791	2,171322	2,390641	1,415985	0,968528	0,673381	0,565111	0,513652	0,48343	0,749205
2006	1,215229	1,050848	1,444036	2,431681	2,764826	1,380854	0,864063	0,684505	0,584576	0,526739	0,520072	0,530172
2007	0,615594	1,648461	2,190797	2,472493	2,337316	1,428895	0,977275	0,763866	0,645964	0,507681	0,486293	0,521112
2008	1,344245	1,531469	2,860416	2,97236	2,885851	2,001915	1,211921	0,945989	0,824329	0,709671	0,902073	0,934131

Fonte: Agencia Nacional de Energia Elétrica (2009)

## Anexo D- Série Histórica de Pluviometria da Estação Sítio São Pedro (em mm)

São Pedro	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1978	393,5	330,5	276,6	357,9	146,3	65,8	47	21,8	47,8	27,8	3,4	242,4
1979	232,3	446,4	333	183,4	80,1	42,5	0	77,9	109,4	62	106,3	184,8
1980	189,5	234,6	351,2	168,9	55,6	49,2	11,3	14	37,1	89,5	140,1	99,9
1981	229,7	108,2	80,4	184,3	51,5	52,4	45,4	37,2	1	139,7	162,8	155
1982	392,6	374,4	483,4	168,7	182,4	41,7	23,2	1,3	18,1	9,8	116,7	79,2
1983	116,2	252,5	196,6	175,2	66,8	46,6	14,5	99,5	13,6	35,1	52,5	191,6
1984	182,9	362,2	341,3	480	184,2	72,2	52,4	130,9	56,6	75,4	118,6	206,6
1985	396,4	446,6	455,4	231,6	283,6	29,4	39,8	83,4	44,6	103	137,4	469,7
1986	236,8	291	414,4	179,8	151	85,2	80,2	14,4	101,8	126,6	68,6	147,8
1987	131,8	272,8	339,2	160,3	93,4	78,4	5,8	97,8	55,8	20,8	12,8	144
1988	259,8	266	443,4	226,2	187,5	85,2	45,8	28,6	111	124,6	133,8	212
1989	194,6	315,2	442,8	466,4	419	252,8	101,1	55,8	38,9	119,9	110,7	209,5
1990	114,6	338,5	263,2	187,6	173,9	65,2	123,1	71,2	72,6	121	107,2	270
1991	280,6	211,9	366,5	192,9	177,3	129,5	81,7	9,4	55,2	90	73,4	79,6
1992	221	277,6	349,7	440,9	152,7	172,1	60,9	54,2	52,3	9,7	158,7	103,7
1993	185,3	391	224	198,1	99,9	59,2	30	39,9	12	58,3	186,1	176,5
1994	245,9	310,3	399,1	172,4	359,4	154,9	18,3	11,6	44	155,7	142,3	99,7
1995	202,6	169,2	372,9	375,3	193	108,5	17,1	39,1	15,2	30,3	198,5	195,9
1996	303,8	221,1	253,7	290,1	284,2	27,7	57,3	14,1	35,3	81,9	124,3	53,5
1997	240,2	114,4	338,8	240,1	145,3	20,1	7,7	86,9	1,4	32,5	99,1	24,1
1998	165,4	98,3	306,6	140,9	150,4	46	77,1	24,5	13,5	125,9	234,2	87,4
1999	313,1	292,1	366,3	389,9	358,9	32,8	37,7	23,7	130,9	107	237,5	176,5
2000	289,4	330,4	350,8	353,2	204,4	124,7	139,5	10,1	68,3	21,8	61,3	75,1
2001	371,4	342,8	303,1	218,7	74,3	112,7	19,6	0,1	60	48,6	36,1	84,2
2002	333,9	207,1	168	214,6	93,5	122,4	7,7	3,6	12,3	73,4	58,8	157,2
2003	178,8	319,9	279,4	189,8	154,2	69,2	22,4	31,63841	97,01966	67,01876	136,2745	142,4306
2004	246,3	295,2	426,7	323,1	145,3	52,9	67	89,6	101,8	78,6	6	115,6
2005	105,9	358,1	291,2	217,1	50,5	10,2	20,4	14,4	46,6	33,9	64,9	236,4
2006	149,1	119	245,7	526,5	329,5	61,2	54,4	5,4	49,2	16,5	125,6	95,9
2007	108,7	290,4	249,1	243,7	159	20,7	41,8	40,1	13,7	115,0933	81,3714	144,0799
2008	364,5	217,7	422,2	258,1	249,1	56,4	14,1	66,2	111,8			

Fonte: Agencia Nacional de Energia Elétrica (2009)

## Anexo E-Série Histórica de Pluviometria da Estação Usina Hidrelétrica Curua-Una (em mm)

UHE	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1978	192	171	194	312	219	119	81	38	15	74	89	76
1979	150,0	282,0	307,7	271,0	246,0	57,0	53,6	70,2	85,1	124,0	83,4	71,0
1980	245,5	155,9	246,6	811,5	148,0	37,7	19,5	11,5	7,0	9,8	140,6	1,6
1981	124,5	203,2	103,6	59,0	102,0	24,2	101,9	74,4	8,0	164,0	193,4	206,8
1982	240,9	131,4	312,9	197,7	205,0	111,8	36,6	5,0	8,4	0,0	34,5	26,1
1983	83,2	179,9	189,5	143,0	106,1	50,0	63,0	140,1	3,5	27,4	23,0	128,0
1984	206,9	177,9	276,3	332,0	266,9	179,0	110,8	85,8	45,0	14,2	40,7	120,1
1985	216,3	409,4	296,5	210,1	331,3	110,1	40,1	73,5	16,9	33,6	150,1	125,0
1986	146,5	302,2	313,5	388,6	208,8	105,5	51,2	0,0	33,0	85,8	160,5	38,8
1987	119,30	83,9	256,1	275,9	251,6	88,3	84,8	53,6	34,8	47,0	1,0	55,2
1988	85,0	313,2	295,4	306	272,3	160,0	161,8	40,2	52,1	34,3	71,8	70,0
1989	278,6	277,3	278,8	280,3	348,6	273,8	99,5	36,2	16,2	44,9	52,2	224,4
1990	171,8	251,2	223	212,4	179,1	57,6	126,9	56,8	49,8	11,8	0,6	176,0
1991	233,5	340,9	266,1	321,6	246,9	127,2	102,0	28,0	5,6	1,4	0,4	44,2
1992	45,2	262,2	248,1	197,6	142,2	43,8	74,1	45,2	10,2	0,4	106,5	126,0
1993	159,34	298,5	567,90	351,72	99,3	29,4	151,6	27,5	61,4	6,1	95,3	133,6
1994	274,2	399,2	262,0	259,9	221,9	124,7	46,6	111,0	25,48	104,4	105,5	13,3
1995	135,4	277,2	222,8	255,8	426,4	93,0	4,2	41,0	3,5	0,4	59,7	253,3
1996	270,9	336,9	523,7	380,2	164,3	79,19	157,9	3,2	1,55	1,3	3,4	74,4
1997	244,4	179,6	175,93	217,4	165,5	25,6	13,3	82,0	0,0	0,0	66,8	7,6
1998	75,4	57,89	288,11	273,6	162,5	130,2	74,6	0	34,5	11	65,5	49,26
1999	300,6	195,9	321	318,7	372	97,1	44,9	22,2	46,8	230,1	144,4	169,3
2000	316,3	514,6	600,3	177	188,3	58,7	231,9	74,1	60,2	19,4	95,8	59
2001	254,6	206,6	238	295,5	149,2	238,6	100,8	15,3	67,7	11,3	16,3	21,7
2002	157,1	215,9	239,2	361,2	161,2	191,8	82,3	4,5	0	0	64,6	100,5
2003	36,5	260,2	191,8	324,3	253,4	181,6	67,6	23,9	84,2	35,2	89,2	76,6
2004	127,5	424,7	290,1	372,3	227,1	83,1	59,1	36	52,6	37,6	0	140,5
2005	164,8	241,9	213,6	171,3	112,078	38,02059	37,02779	36,12685	44,234	20,84815	68,72935	221,308
2006	144,6632	194,625	315,1828	457,7505	430,6742	67,89101	86,66535	6,122371	24,7637	31,31368	111,6314	44,95101
2007	59	208,7	343,5	348,1	145,5	74	73	16,4	7,8	86,8	4,8	87,3
2008	255,4	191,2	350,5	201,5	199,1	53,1	36	10,2	13,1	56,8	43,4	122,2

Fonte: Agencia Nacional de Energia Elétrica (2009)

## Anexo F- Série Histórica de Pluviometria da Estação Fazenda Marcondes (em mm)

F.Marcondes	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1978	277,8774	274,2781	202,2728	292,225	193,8369	85,4014	69,84036	34,80296	47,36501	88,02235	44,23925	197,7732
1979	216,2575	362,4345	283,7395	190,2354	160,5198	59,55541	27,00438	81,51583	128,6979	144,5527	139,1906	164,3986
1980	221,3839	156,1064	277,9309	362,3963	109,6462	37,19897	11,51332	20,90931	31,53264	57,15003	179,6066	69,9641
1981	188,9648	142,8459	145,6323	116,2431	73,87369	64,81969	50,5529	88,35435	9,37299	172,3237	154,0516	202,2771
1982	309,2191	280,7452	349,5064	177,6167	52,4	11,6	18,8	46	43,7	20,9	18,1	31,8
1983	52,4	76,1	196,9	93,3	55,1	63,8	19,7	62,7	8,4	20	37,2	52,3
1984	123,1	246	222,8	518,8	462,1	242,7	107,2	87,8	112,5	68,6	112,6	138,2
1985	328,9	335,3	297,7	253,6	250,3	8,3	0	47,2	68,6	136,3	112,3	368,8
1986	229	209,9	528,2	211,3	174	77,4	48,4	1,4	0	139,6	85	198,1
1987	126,2	129	221,8	185,4	71,4	81,9	6,6	67,7	33,3	88,3	30,8	157,1
1988	272,2	280,4	329,3	168,2	200,3	173,7	40	34,3	77	37,9	143	267,2
1989	198,9	292,1	306	224,5	260,3	132,7	68,8	72,7	51,5	92,5	69	220,1
1990	94	302	233	167	156	68	117,5	67	55	43	67	227
1991	272	208	282	197	213	99	52	5,8	68	80	60	61
1992	155	205	326	275	95	80	39	66	31	16	79,1	81,1
1993	153	223,8	242,6	242,5	110,6	44,8	36,7	83,8	49,8	97,6	141,9	93,2
1994	353,9	259,9	392,3	218,8	250,8	183,6	42,8	67,4	40,2	156	162,6	94,6
1995	179,7	255	266,1	463,9	230,2	48,1	22,1	22,7	11,6	12,4	107,7	235
1996	264,3	162,2	360,4	377,5	219,6	33	48,8	50,2	48,7	52	96,1	104,8
1997	181,8	139,7	247,3	128,7	142,2	14,7	0,3	91,4	4,2	105,4	78,1	27,3
1998	174,2	54,3	303	107,6	150	53,6	65,3	99,5	48,8	171,9	184,8	175,9
1999	477,2	201,5	327,1	344,1	176	60,6	57,7	84,7	65,2	227,5	167,2	171,1
2000	234,2	385,1	261,8	301,6	364,8	114,6	198,1	31,7	83,5	21,8	128,2	59,1
2001	219,9	206,2	425,1	290,1	78	92,1	41,1	0	100,5	34,9	84,9	84,6
2002	321,5	158,5	136,9	174,3	177,6	155,4	62,4	5,7	42,3	65,4	93,8	160,5
2003	113,1	393,4	252,5	352,5	190,7	93,5	50,5	49,3	70,3	90,1	117	155,7
2004	219	246,9	348,5	255,6	118	89,4	58,9	41	43,7	235,6	27,2	139,5
2005	191,5	414,3	365,6	210,3	75,4	29,5	20,6	50,8	107	18,2	76,2	314,5
2006	188,3	257,3	271,7	301,1	351,1	53,3	90,8	4,9	40,9	53,8	133,5	42,5
2007	94,1	235,6	0	288,1919	118,0043	41,73743	147,8	54,3	14,1	66,7	67,5	142,1224
2008	249,8	158,2	451,3	326,6	181,9	128,9	39,9	51,1	52,6			

Fonte: Agencia Nacional de Energia Elétrica (2009)

## Anexo G- Série Histórica de Vazão da UHE Curua-Una (em mm/dia)

UHE Curua- Una	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1978	1,376116	0,980247	1,602327	1,558342	2,010764	1,338415	0,885993	0,735185	0,684916	0,458705	0,446138	0,571811
1979	0,741469	1,533207	2,230691	1,501789	1,501789	1,156189	0,772887	0,697484	0,885993	0,62208	0,628364	0,735185
1980	0,892276	0,892276	1,338415	1,011665	0,879709	0,672349	0,584378	0,521542	0,446138	0,402153	0,41472	0,395869
1981	0,659782	0,860858	0,634647	0,785455	0,578095	0,48384	0,383302	0,3456	0,326749	0,402153	0,421004	0,395869
1982	0,835724	1,394967	2,375215	1,602327	1,533207	0,628364	0,716335	0,546676	0,421004	0,295331	0,27648	0,270196
1983	0,295331	0,710051	0,55296	0,710051	0,477556	0,402153	0,320465	0,320465	0,301615	0,351884	0,270196	0,289047
1984	0,395869	0,842007	1,24416	2,400349	2,167855	1,093353	0,76032	0,735185	0,628364	0,421004	0,48384	0,48384
1985	1,049367	2,155287	2,720815	2,343796	3,273775	1,916509	1,3824	1,124771	0,860858	0,728902	0,804305	1,815971
1986	1,973062	2,136436	3,066415	2,97216	2,689396	2,010764	1,577193	1,17504	0,980247	1,055651	0,980247	0,879709
1987	1,124771	1,143622	1,602327	2,105018	1,728	1,17504	1,030516	0,76032	0,55296	0,590662	0,666065	0,458705
1988	0,628364	0,810589	1,973062	2,438051	2,645411	1,156189	1,420102	0,917411	0,728902	0,615796	0,666065	1,187607
1989	1,168756	1,998196	2,789935	3,726196	4,429964	3,543971	2,727098	1,778269	1,256727	1,376116	1,539491	1,514356
1990	1,790836	2,343796	2,978444	2,639127	2,362647	1,627462	1,445236	1,350982	1,093353	0,772887	0,666065	1,200175
1991	1,426385	2,023331	1,665164	2,042182	2,538589	2,205556	1,665164	1,099636	0,873425	0,62208	0,747753	0,596945
1992	0,6912	0,772887	1,677731	2,368931	1,030516	0,728902	0,710051	0,540393	0,48384	0,377018	0,477556	0,452422
1993	0,521542	0,779171	0,948829	1,049367	1,420102	0,867142	0,942545	0,603229	0,471273	0,464989	0,55296	0,546676
1994	0,961396	1,759418	3,192087	2,425484	2,312378	1,65888	1,489222	0,955113	0,854575	0,879709	0,609513	0,6912
2003	0,513939	0,795634	1,141925	1,598808	1,267535	0,911064	0,652933	0,569235	0,577026	0,536874	0,627421	0
2004	0,588086	1,563369	2,955006	3,228784	2,360071	1,475272	1,111827	0,844207	0,817375	0,719099	0,582996	0,538759
2005	1,550487	2,6341	2,013089	2,211651	1,79247	1,028568	0,823973	0,642376	0,519217	0,461345	0,489244	0,89014
2006	1,62476	1,562238	2,612422	3,375255	4,89533	3,106378	1,909911	1,346646	1,006073	0,94286	1,005633	1,062186
2007	0,782878	0,799844	1,107742	1,708269	1,809687	1,28425	0,906477	0,807887	0,671469	0,67392	0,544037	0,783067
2008	1,119744	1,415578	3,228847	4,652781	4,033026	2,891604	1,805854	1,217392	0,991809	0,935822	0,867205	1,234735

Fonte: Agencia Nacional de Energia Elétrica (2009)