

# **Seleção de pontos de amostragem para monitoramento de qualidade de água em escala de microbacia na Amazônia**

Cristiane Formigosa Gadelha da Costa, Ricardo de Oliveira Figueiredo, Izabela Penha de Oliveira Santos, Pedro Gerhard, Camila da Silva Pires, Daniel Fernandes Rodrigues Barroso, Fabíola Fernandes Costa & Gabriel Lourenço Brejão

## **RESUMO**

Nas mesobacias dos igarapés contíguos Timboteua e Buiuna e do igarapé Peripindeua, foram amostradas 96 microbacias, com o objetivo de selecionar as mais adequadas para a realização de estudos dos efeitos do uso da terra sobre a qualidade da água em pequenos igarapés. Para a seleção das microbacias foram adotadas duas estratégias: a primeira relaciona-se a medições "in situ" de parâmetros físico-químicos como oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica e temperatura da água; e a segunda relaciona-se à consideração de fatores ambientais como área da microbacia, presença de uma classe predominante de uso da terra, possibilidade de pareamento de microbacias de características biofísicas similares, porém com usos da terra diferentes, e aspectos de logística relativos ao acesso aos locais de coleta de amostras e medidas hidrológicas e de qualidade de água. A seleção permitiu a escolha de 19 microbacias, sendo oito microbacias na chamada Área 1 (Igarapé-Açu e Marapanim) e sete na Área 2 (Mãe do Rio e Irituia). Adicionalmente, foram selecionadas duas microbacias em duas áreas de referência, ocupadas por floresta primária, com as mesmas condições climáticas e pedológicas das Áreas 1 e 2, respectivamente. A condutividade elétrica e o oxigênio dissolvido foram as variáveis mais sensíveis como indicadores dos impactos do uso da terra ocorrendo inter-relação desses parâmetros físico-químicos com o uso da terra nas microbacias avaliadas.

Palavras-chave: Uso da terra, nordeste paraense, microbacias hidrográficas.

## Introdução

A avaliação e a classificação da qualidade das águas superficiais dependem da utilização e aperfeiçoamento dos procedimentos de monitoramento ambiental. Como a evolução da sociedade humana tem uma relação direta com a disponibilidade dos recursos hídricos (TELLES, 2013), os avanços nas técnicas de monitoramento ambiental promovem demandas cada vez maiores em todos os setores produtivos da sociedade atual, principalmente nas atividades agrícolas, que fazem o maior uso global dos recursos hídricos.

Para implementação de atividades de monitoramento de qualidade de água, faz-se necessário a realização de um estudo prévio de caracterização da área a ser monitorada, associado a um levantamento das informações disponíveis em literatura, e a elaboração daquelas que precisam ser coletadas. Mediante isso, elabora-se um plano de amostragem a ser executado (BARTRAM; BALANCE, 1996).

Esse plano faz parte de uma das etapas para a caracterização da área de estudo e não tem um protocolo definido, pois deve ser baseado nas peculiaridades do local que será observado e mensurado. No entanto, o sucesso das etapas posteriores como, coleta de dados, análises de laboratório, interpretação e publicação dos dados e tomadas de decisão, é condicionado a ele (BRASIL, 2011).

O monitoramento ambiental de qualidade de água é um conjunto de procedimentos que abrange desde medições e observações uniformizadas ao longo do tempo do ambiente aquático, até diagnósticos para definição das condições dos recursos hídricos em um determinado momento. Os estudos são realizados a fim de definir status e tendências de variáveis ambientais qualitativas e quantitativas (CHAPMAN, 1996; BRASIL, 2011).

Tais procedimentos de medições, observações e diagnósticos têm sido realizados não somente para avaliar como a qualidade de água é afetada por contaminantes, mas também para estimar fluxos de nutrientes ou poluentes descarregados por rios ou águas subterrâneas para lagos e

oceanos. É possível determinar padrões de alterações ambientais em escalas locais, regionais e globais.

Para determinação de padrões ambientais, estudos relatam a importância da bacia hidrográfica como unidade de investigação, por ter características físicas, químicas e biológicas integradoras do ambiente (LIKENS, 1984; LIKENS, 1992), e como as escalas das bacias podem influenciar na interpretação dos resultados de qualidade de água (GERMER et al., 2009; LEACH et al., 2016). Em uma microbacia, os efeitos de alterações antrópicas são perceptíveis mais rapidamente, pois esta é sensível a pequenas modificações, sendo um importante instrumento para gerenciamento de recursos hídricos e tomada de decisão (FIGUEIREDO et al., 2013; TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2014).

As ações antrópicas alteram os padrões naturais de qualidade de água, como por exemplo, as mudanças no uso e cobertura do solo, provocadas principalmente pela retirada da vegetação remanescente e substituição por agricultura e pecuária, que podem resultar em aumentos da temperatura do solo, da erosão e do escoamento superficial da água no solo, e em modificações do balanço hídrico e na disponibilidade de nutrientes (VITOUSEK; MELILLO, 1979; LEOPOLDO et al., 1987; SWANK; CROSSLEY, 1988; MORAES et al., 2006; COSTA et al., 2013; BUSTAMANTE et al., 2015).

Há algumas décadas, a região Amazônica, na parte leste do Estado do Pará, localizada no denominado "arco do desflorestamento", enfrenta grandes problemas ambientais causados pela ocupação desordenada do espaço, com reflexos nos recursos hídricos.

O uso do monitoramento evoluiu para ajudar a determinar tendências na qualidade do ambiente aquático dessa região, que tem fatores como extensão geográfica, variações edafoclimáticas, e sobretudo, histórico e forma de ocupação não homogênea (MERTENS et al., 2002; METZGER, 2002; WATRIN et al., 2005), que contribuem para dificultar a execução de um monitoramento de qualidade de água representativo, e pode não corresponder a realidade local. Dessa forma, estudos sobre a relação

do uso da terra com a qualidade da água da Amazônia devem priorizar as particularidades da região, e levar em consideração as escalas das bacias com a definição de categorias de uso.

No presente estudo é apresentada uma estratégia metodológica envolvendo análises variadas, com o intuito de definir quais microbacias (áreas menores que 300 ha), integrantes de duas mesobacias hidrográficas, poderiam favorecer o entendimento dos efeitos do uso da terra sobre a qualidade da água fluvial no contexto dos sistemas de produção adotados no meio rural da região.

## **Material e Métodos**

### *Área de Estudo*

Nas bacias hidrográficas do rio Marapanim (Área 1) e do rio Guamá (Área 2), localizadas na mesorregião do nordeste paraense (Figura 1), foram escolhidas duas áreas para estudo, as mesobacias dos igarapés contíguos Timboteua e Buiuna (8.750 ha) e do igarapé Peripindeua (15.000 ha), em que foram percorridas e avaliadas 96 microbacias.

O clima predominante é do tipo climático Am<sub>1</sub> e do sub-tipo climático Am<sub>2</sub> (Köppen), com temperatura média anual de aproximadamente 26,5°C, precipitações pluviométricas elevadas com cerca de 2500-3000 mm, concentrando-se entre os meses de janeiro a junho, e umidade relativa do ar entre 80-85% (média anual) (MARTORANO et al., 1993; PACHÊCO; BASTOS, 2006). Entre os meses de julho a dezembro, ocorre um período de estiagem caracterizado por precipitações inferiores a 60 mm (SUDAM, 1984).

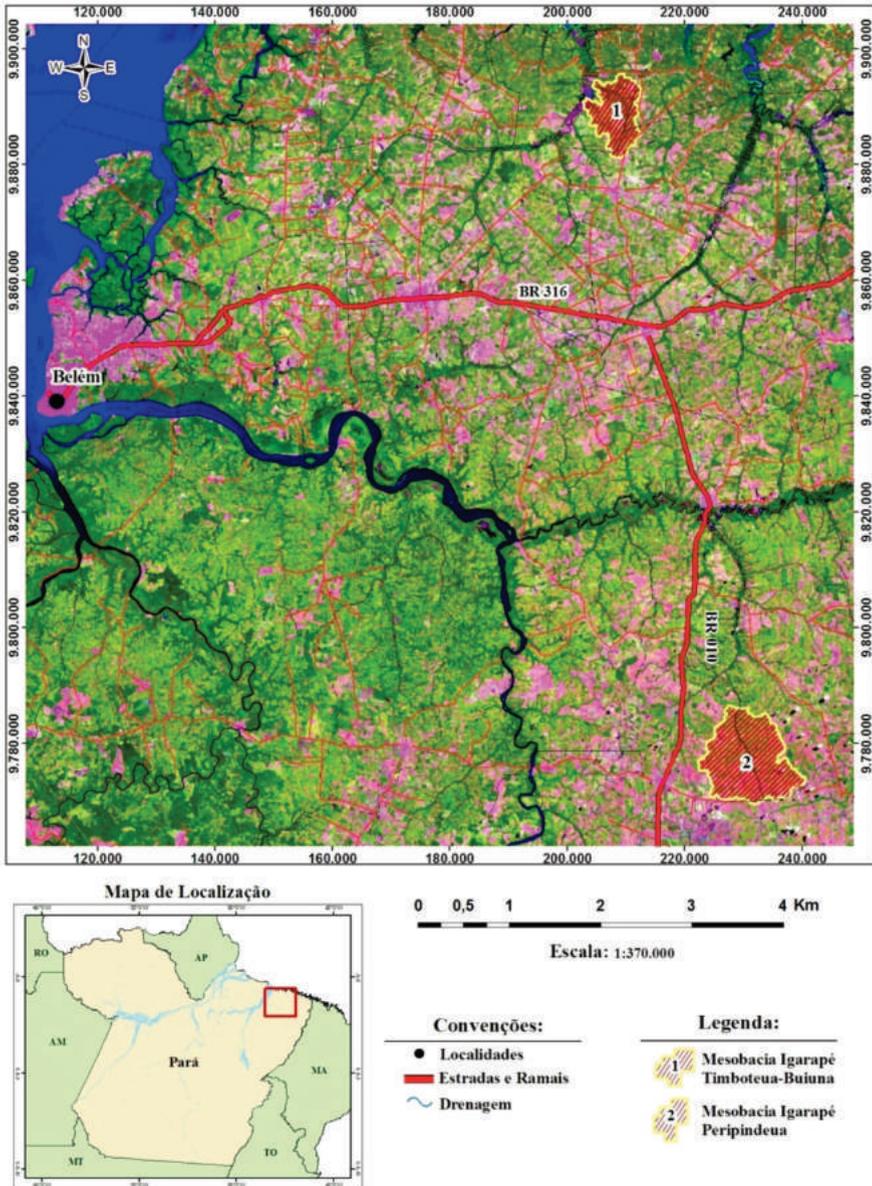


Figura 1. Mesobacias dos Igarapés Timboteua-Buiuna e Peripindeua localizadas no Nordeste paraense (Fonte: Projeto GESTABACIAS, 2010).

As mesobacias selecionadas apresentaram uso da terra semelhantes de Agricultura Familiar, Pastagem e Vegetação Secundária, porém com histórico de uso diferenciado.

A Área 1, está localizada na parte sul do município de Marapanim e contempla uma pequena porção dos municípios de Igarapé-Açu e Magalhães Barata. Apresenta significativas extensões de área agrícola, com pequenas propriedades (lotes de 25 ha) de base econômica familiar, fazendas de médio porte de base produtiva empresarial (voltadas principalmente para a pecuária extensiva de corte), e formação de vegetação secundária em estágios sucessionais diversificados.

A Área 2, possui agricultura familiar com pouca expressão econômica, em que os lotes são compostos por pequenas áreas de matas de igapós e vegetação secundária de porte alto. No entanto, é ocupada primordialmente por pastagens extensivas de grande escala produtiva, e voltadas tanto para a pecuária leiteira como de corte.

As principais classes de solos identificadas na Área 1 foram: Gleissolo Háptico Tb aluminico, com textura argilosa/muito argilosa; Latossolo Amarelo Distrófico típico, com textura média; e Argissolo Amarelo Distrófico típico, com textura arenosa/argilosa. Na Área 2, os solos dominantes foram: Latossolo Amarelo Distrófico típico, com textura média; e Argissolo Distrófico típico, com textura média/argilosa (SILVA et al., 2010).

### *Delineamento experimental*

A escolha prévia dos pontos de medição nos cursos dos rios Marapanim e Guamá foi feita através das imagens de satélite. Buscou-se microbacias com potencial para monitoramento de qualidade de água de pequenos igarapés, para avaliação de impactos relacionados ao uso da terra.

Para definição da escala adotada nesse estudo, optou-se pela classificação proposta por Richey et al. (1997) para as bacias hidrográficas da Amazônia: microbacias (áreas menores que 10 km<sup>2</sup>); mesobacia (área de aproximadamente 10.000 km<sup>2</sup>); e a Bacia do rio Amazonas (com aproximadamente 7 x 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>).

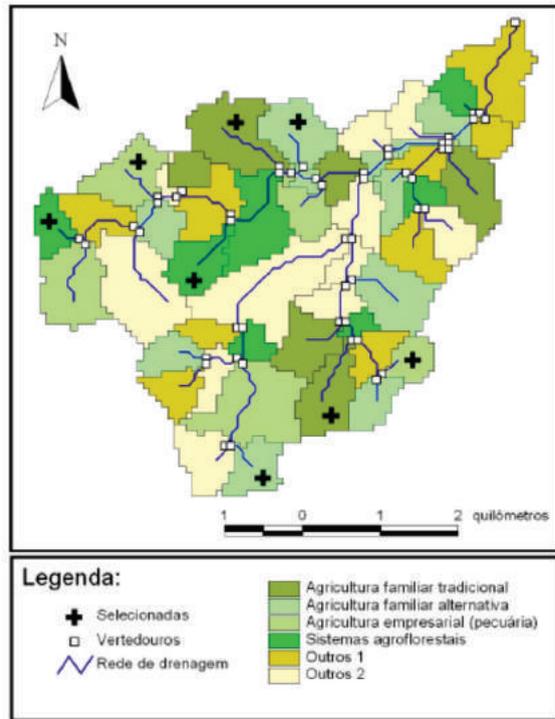


Figura 2. Representação esquemática e hipotética de uma mesobacia segmentada em microbacias, em que foram classificadas pelo predomínio de uma categoria de uso da terra (Fonte: Projeto GESTABACIAS, 2009).

A partir do suporte da equipe do projeto Gestabacias da Embrapa Amazônia Oriental, as mesobacias foram delimitadas topograficamente para serem analisadas como paisagens independentes. Após a definição de limites topográficos, elas foram segmentadas em microbacias (Figura 2), com a utilização da ferramenta SWAT2000 (Di Luzio et al., 2002), tendo como base a hidrografia digitalizada de cartas topográficas em escala 1:100.000. Esta delimitação foi baseada em um Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDT) determinado a partir de dados da Shuttle Radar Topography Mission - SRTM (EROS/USGS, 2008).

Para a obtenção das características ambientais, as análises foram feitas de modo a produzir microbacias com áreas entre 70 a 200 ha — objeto de projeto de pesquisa “Gestabacias” conduzido de 2009 a 2012 no Nordeste Paraense pela EMBRAPA Amazônia Oriental. O predomínio de uma classe de uso da terra foi determinado a partir da inspeção visual de limite das microbacias, sobreposto a composições coloridas (baseadas em imagens de Satélite Landsat, sensor TM, RGB345) sobre as áreas das mesobacias, além da checagem de campo.

Com base nesse procedimento foram avaliadas microbacias com o predomínio de diferentes usos da terra característico de cada mesobacia. E assim, mediram-se 66 microbacias na Área 1, e mais 30 microbacias na Área 2.

### *Procedimentos de campo*

Para a caracterização dos parâmetros físico-químicos dos cursos d’água, foram realizadas medidas de campo, a partir de métodos baseados em protocolos recomendados pela APHA (1995) e CETESB (1978), de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos de qualidade de água e métodos de medição.

Parâmetro	Equipamento	Amostragem em água fluvial (profundidade 20-25cm)
pH	pHmêtro da marca ORION (290A plus)	A medição foi realizada no campo através do método potenciométrico, usando-se aparelho digital equipado com eletrodo combinado de vidro e calomelano, com correção de temperatura para 25°C.
Oxigênio Dissolvido (OD) e Temperatura (T)	Oxímetro (YSI® 55)	A medição foi feita por meio de uma sonda polarográfica de compensação automática de temperatura, nas unidades de mg L <sup>-1</sup> para o (OD) e °C para a (T). Esse método permite a quantificação da concentração de oxigênio dissolvido, saturação de oxigênio e temperatura da água.
Condutividade Elétrica (CE)	VWR® (2052)	O método aplicado para a medição da condutividade elétrica foi o condutimétrico. A leitura foi feita na unidade de medida $\mu\text{S cm}^{-1}$ .

### *Critérios para seleção das microbacias*

Na análise para a seleção dos microbacias foram excluídos os pontos de nascentes por causa da diferença de  $n$  amostral entre as duas mesobacias e por serem ecossistemas lênticos, naturalmente, com baixos valores de oxigênio dissolvido, considerando assim, somente os pontos do canal principal.

Os pontos para coleta de água fluvial em cada microbacia foram selecionados de acordo com cada categoria pré-estabelecida de uso da terra com a ajuda de mapas, fotografias, dados de parâmetros físico-químicos e relatórios de viagem, segundo a ordem de importância descrita a seguir:

- **Uso da terra:** Foram escolhidos pontos com predominância de um determinado sistema de produção ou cobertura vegetal.

Na Área 1, foram definidas as seguintes classes de uso:

- i. Pastagem;
- ii. Agricultura com “derruba-e-queima”, para preparo de área de plantio;
- iii. Agricultura com “corte-e-trituração”, para preparo de área de plantio; e
- iv. SAF (sistema agroflorestal).

Como a Área 2 apresentou outras peculiaridades em relação ao uso da terra, outro grupo de classes foi estabelecido:

- i. Pastagem;
- ii. Agricultura (derruba-e-queima), capoeira e pastagem (com lavagem de mandioca nos igarapés);
- iii. Agricultura (derruba-e-queima), capoeira e pastagem (com lavagem de malva nos igarapés);
- iv. Capoeira e pastagem; e
- v. Agricultura (corte-e-trituração), SAF e mata de igapó.

- **Análise dos parâmetros físico-químicos:** Comparou-se as médias dos valores medidos de condutividade elétrica, pH, oxigênio dissolvido e temperatura dos diferentes pontos avaliados.

Após a análise das microbacias por categoria de uso da terra, verificou-se uma possível relação dos parâmetros físico-químicos com o uso da terra, a fim de, caracterizar a qualidade da água de cada microbacia visitada, e identificar possíveis alterações provocadas pelo manejo dos agroecossistemas.

- **Acessibilidade:** Considerou-se o tempo demandado para acessar os locais de coleta de água fluvial e realizar todos os procedimentos de campo, como medidas de qualidade de água e hidrológicas;
- **Tamanho das microbacias:** Segundo Moldan e Cerný (1994), uma microbacia é uma bacia hidrográfica com área superficial menor que 5 km<sup>2</sup>. Porém, por causa da extensão territorial da Bacia Amazônica, e a dificuldade da análise dos impactos do uso da terra nessa região, adotou-se a classificação de escala de bacias de Richey et al. (1997) para atividades de pesquisas em bacias hidrográficas, como citado anteriormente.

A partir dessas escalas, foi feita uma classificação por tamanho (ha) das microbacias visitadas. Foram consideradas microbacias com áreas menores que 300 ha, pois áreas maiores na região de estudo dificultariam a interpretação dos resultados de qualidade de água, devido a uma mistura de diversas classes de uso da terra, o que prejudicaria a identificação do uso com maior aporte de nutrientes aos cursos d'água.

### *Análise estatística*

Classificou-se por nível de antropização do ambiente, a partir dos parâmetros físico-químicos, utilizando uma análise de agrupamento hierárquico (cluster) calculados através da distância euclidiana para cada mesobacia, de acordo com a fórmula:

$$d_{ij} = \left\{ \sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2 \right\}^{1/2}$$

Em que:  $x_{ik}$  é o valor da variável  $X_k$  para o objeto  $i$ ; e  $x_{jk}$  é o valor da mesma variável para o objeto  $j$ .

## Resultados e Discussão

A partir da hidrografia digitalizada de cartas topográficas em escala 1:100.000, utilizada para escolha prévia das microbacias, o primeiro passo para a seleção foi a confirmação desses pontos no campo e a eliminação de pontos com poluição pontual, como: poluição por causa de lavagem de mandioca e lavagem de roupa, assoreamento, nível de água insuficiente e desmatamento total da vegetação ripária. Dessa forma, nas Áreas 1 e 2 foram eliminados, 6 e 3% dos pontos visitados, respectivamente.

Com a ajuda do mapa de classificação de uso e cobertura da terra (ano base 2008; escala 1:50.000), fotografias e imagens do google Earth, as microbacias restantes foram agrupadas a partir das classificações de uso e cobertura da terra, definida neste estudo. Após esse procedimento, analisaram-se os conjuntos de microbacias de cada área, por categoria de uso da terra (Figura 3).

Na mesobacia Timboteua e Buiuna, 44% das microbacias corresponderam a categoria de agricultura de derruba-e-queima (Figura 3), demonstrando uma predominância desse tipo de manejo na região, com uma ocorrência bastante representativa em Igarapé-Açu e Marapanim (SILVA et al., 1999). A agricultura tradicional de derruba-e-queima, amplamente difundida não apenas na Amazônia, mas em outras regiões dos trópicos úmidos, como Indonésia (TOMICH et al., 1998) e África, acelera o empobrecimento dos solos, devido ao uso do fogo após curtos períodos de pousio (HÖLSCHER et al., 1997; METZGER, 2002).

A categoria de pastagem abrangeu 37% dos pontos visitados e, segundo a classificação de uso e cobertura da terra, representou 30% do total da bacia estudada. Na Amazônia a mudança de uso da terra de floresta nativa para pastagem foi acelerada a partir de 1970 (FEARNSIDE, 1996). No nordeste paraense, o padrão de início de estabelecimento da pecuária é baseado no processo sucessivo de derruba-e-queima da floresta secundária (capoeira), com práticas degradantes como superpastejo (SARMENTO et al., 2010).

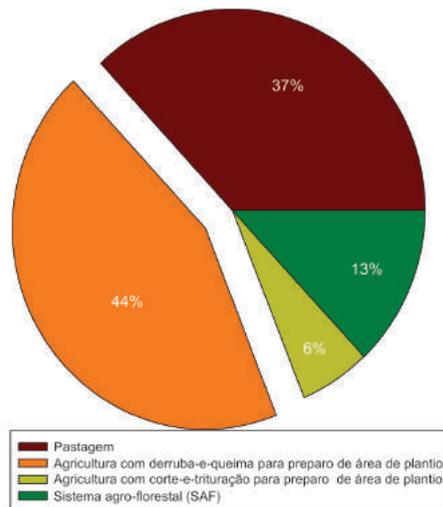


Figura 3. Microbacias amostradas por categorias de uso da terra, na mesobacia Timboteua e Buiuna (Área 1), nordeste paraense.

Na Área 2, foram encontradas 30% das microbacias relativas à categoria de pastagem (Figura 4). Esse valor é confirmado pelo uso da terra, em que as pastagens tiveram 15,6% de representatividade no total da mesobacia.

As áreas de pastagens são recorrentes nas duas mesobacias, e por ser um tipo de uso da terra bastante difundido na Amazônia, trata-se de um agroecossistema importante a ser monitorado em estudos de qualidade de água. A compactação dos solos em pastagens aumenta o potencial de ocorrência de fluxos laterais da água no solo (ELSENBEER et al., 1999), que, quando combinados com manejo inadequado (KAUFFMAN et al., 1998; DIAS-FILHO et al., 2001) ou com escoamento superficial das excreções do gado (fezes e urina), podem influenciar a composição química das águas.

A categoria agricultura, em que se inclui o manejo de derruba-e-queima, representou 52% dos pontos visitados na Área 2 (Figura 4). Na classificação de uso e cobertura da terra feita para a mesobacia do Igarapé Peripindeua, as áreas de culturas agrícolas e solos sob preparo representaram 44,3% do total da mesobacia.

A agricultura de corte-e-trituração representou 6% e o SAF 13% dos pontos analisados na Área 1, diferentemente da Área 2, em que essas duas categorias conjuntas de uso da terra representaram 7% dos pontos (Figuras 3 e 4). Esses manejos alternativos foram encontrados em áreas de agricultura familiar e verificou-se o início de uma transição de sistemas de manejo tradicional de derruba-e-queima, relatado para a Amazônia (SIEGMUND-SCHULTZE et al., 2007), para sistemas de manejo alternativo mais sustentável.

Manejos alternativos, como o SAF e o corte-e-trituração da capoeira, favorecem a sustentabilidade de áreas agricultáveis com o aumento da quantidade de material orgânico no solo, diminuindo os aportes químicos do escoamento superficial ou sub superficial na época chuvosa, que, possuindo cátions dissolvidos oriundos da decomposição da liteira, acabam por ocasionar aumento nas concentrações desses cátions nos igarapés, mesmo em períodos de alta vazão (MARKEWITZ et al., 2001). A matéria orgânica favorece a formação de coloides na solução do solo, o que retém os cátions livres que podem atingir os cursos d'água (RANGEL-VASCONCELOS et al., 2012).

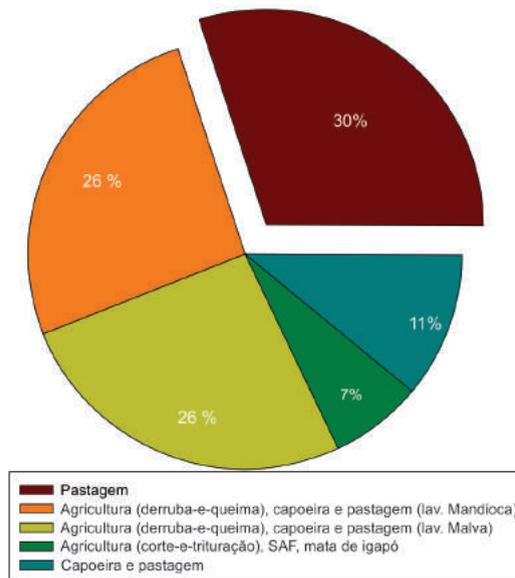


Figura 4. Microbacias amostradas por categorias de uso da terra, na mesobacia Igarapé Peripindeua (Área 2), nordeste paraense.

A partir dessa classificação, foi possível identificar o nível de antropização das microbacias já categorizadas pelo uso da terra. Na Área 1, foram identificados 3 níveis de alteração: ambiente com alto nível de alteração ( $CE_{\text{min-máx.}} = 20 - 22 \mu\text{S cm}^{-1}$ ;  $OD_{\text{min-máx.}} = 1 - 2 \text{ mg L}^{-1}$ ), com alteração ( $CE_{\text{min-máx.}} = 16 - 26 \mu\text{S cm}^{-1}$ ;  $OD_{\text{min-máx.}} = 2 - 7 \text{ mg L}^{-1}$ ) e com baixo nível de alteração ( $CE_{\text{min-máx.}} = 23 - 31 \mu\text{S cm}^{-1}$ ;  $OD_{\text{min-máx.}} = 5 - 6 \text{ mg L}^{-1}$ ) (Figura 5).

Os 3 pontos da Área 1 com alto nível de alteração foram eliminados (Figura 5). Nessa área, ocorreu uma amostragem de um número maior de pontos do que na Área 2, por ser, de acordo com o uso e cobertura da terra, um pouco menos antropizada, com 27,5% de floresta antropizada e capoeira alta, em comparação com a mesobacia Peripindeua, que apresentou 8%. A ocorrência de corpos hídricos foi de 0,57% na Área 1 e de 0,13% da Área 2.

Na Área 2, o agrupamento foi diferente, primeiro por causa da quantidade de pontos amostrados e, segundo, por causa de um nível maior de alteração dessa mesobacia (Figura 6). Assim, foram identificados 4 níveis de antropização: ambiente com alto nível de alteração ( $CE_{\text{min-máx.}} = 40 - 50 \mu\text{S cm}^{-1}$ ;  $OD_{\text{min-máx.}} = 0,2 - 1 \text{ mg L}^{-1}$ ), médio nível de alteração ( $CE_{\text{min-máx.}} = 30 - 43 \mu\text{S cm}^{-1}$ ;  $OD_{\text{min-máx.}} = 4 - 6 \text{ mg L}^{-1}$ ), baixo nível de alteração ( $CE_{\text{min-máx.}} = 20 - 31 \mu\text{S cm}^{-1}$ ;  $OD_{\text{min-máx.}} = 6 - 8 \text{ mg L}^{-1}$ ) e nível de alteração ( $CE_{\text{min-máx.}} = 15 - 33 \mu\text{S cm}^{-1}$ ;  $OD_{\text{min-máx.}} = 1 - 8 \text{ mg L}^{-1}$ ).

Baseado nos agrupamentos feito através dos parâmetros físico-químicos analisou-se o número de pontos visitados por categoria em cada nível de antropização. Na Área 1, optou-se por selecionar os pontos com a maior representatividade para área de drenagem de cada microbacia, segundo a classificação de uso da terra apresentada anteriormente, excluindo locais com interferência de mais de uma categoria de uso da terra, assim, foram selecionados pontos nas categorias de níveis de ambiente com alteração e com baixa alteração, que representavam 87 e 8% dos pontos, respectivamente.

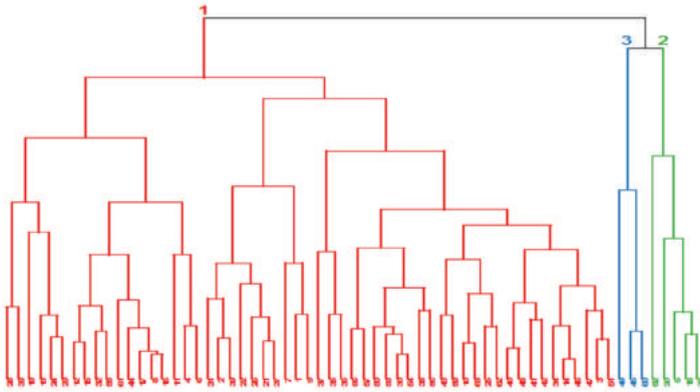


Figura 5. Pontos visitados na mesobacia Timboteua e Buiúna separados por níveis de antropização do ambiente. As cores vermelha, azul e verde representam, respectivamente: ambiente com alteração, ambiente com alto nível de alteração e ambiente com baixo nível de alteração. Os números na parte inferior da figura representam a identificação dos diferentes pontos amostrados.

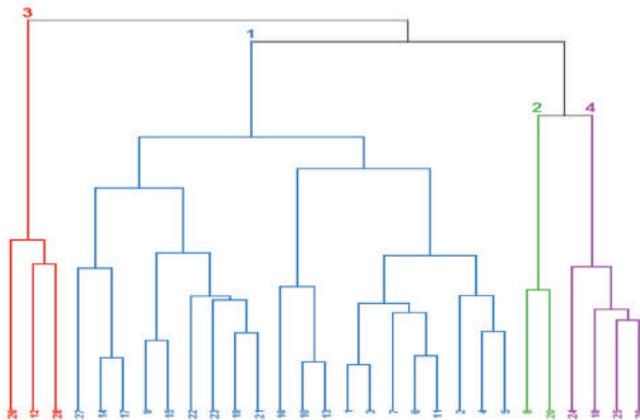


Figura 6. Pontos visitados na mesobacia Peripindeua (Área 2) separados por níveis de antropização do ambiente. As cores vermelha, roxo, verde e azul, representam, respectivamente: ambiente com baixo nível de alteração, ambiente com médio o nível de alteração, ambiente com alto nível de alteração e ambiente com nível de alteração. Os números na parte inferior da figura representam a identificação dos diferentes pontos amostrados.

Na Área 2, foram considerados os pontos na categoria de antropização de nível de alteração, que representou 66% do total de pontos visitados, ocorrendo uma maior variedade das feições de uso da terra nessa categoria. Porém, os pontos de pastagem foram escolhidos dentro do nível de ambiente com alta alteração, pois não foram encontrados agroecossistemas de pastagens bem manejados nessa mesobacia. Isso é reflexo do sistema de manejo da região, com pastagens altamente degradadas (Sarmiento et al., 2010), mostrando que a seleção representou a realidade local.

O agrupamento mostrou que, de todos os parâmetros avaliados, dois influenciaram mais a classificação nas duas áreas, a condutividade elétrica (CE) e o oxigênio dissolvido (OD). Dessa forma, para a seleção final dos pontos foi feita uma análise levando em consideração esses dois parâmetros.

Nos canais principais, a CE na Área 1 variou entre 16 e 27  $\mu\text{S cm}^{-1}$  e na Área 2 na faixa de 15 a 50  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . Os maiores valores de CE foram encontrados na Área 2, indicando elevada concentração de íons dissolvidos e menor qualidade ambiental, confirmando assim, as classes separadas pelo agrupamento. Como já foi citado anteriormente, a Área 2 tem como fator um maior grau de alteração em relação ao uso/cobertura da terra, e esse reflete na qualidade da água dos igarapés.

Krusche et al. (2005) a distribuição espacial do desmatamento e das propriedades do solo resultam em sinais diferentes, possibilitando a divisão dos sistemas fluviais em três grupos: rios com águas pobres em nutrientes e baixo impacto; rios com conteúdo intermediário e impacto médio e rios com elevados conteúdos e impacto antropogênico. As características biogeoquímicas dos rios têm uma relação significativa com a área de pasto, melhor parâmetro para prever a condutividade elétrica ( $r^2 = 0,87$  afirmaram que microbacias de pastagem da bacia do Rio Ji-paraná (Rondônia) apresentaram alta correlação ( $r^2 = 0,87$ ) com a condutividade elétrica, indicando que a variabilidade espacial natural da composição dos solos, é um fator determinante para a biogeoquímica dos elementos catiônicos das águas superficiais. Markewitz et al. (2001) verificaram em Paragominas-PA que, mudanças no uso/cobertura da

terra apresentavam reflexos nas águas dos igarapés, pois a concentração de íons dissolvidos (cátions e ânions) na água demonstraram alta relação com a composição dos solos.

Uma vez que, a condutividade elétrica é a capacidade que uma solução tem em conduzir corrente elétrica através da presença de íons dissolvidos na água, ela fornece importantes informações tanto sobre o metabolismo de ecossistema aquático, quanto sobre outros processos biogeoquímicos ocorridos na bacia hidrográfica, ajudando na detecção de possíveis fontes poluidoras (ESTEVES, 1998).

Os valores de OD nas microbacias da Área 1 variaram na faixa de 1 a 6,6 mg L<sup>-1</sup>, na qual os canais principais apresentaram média de 5 mg L<sup>-1</sup>. Nas microbacias da Área 2, o OD esteve na faixa de 0,2 e 8 mg L<sup>-1</sup>, com média de 4,4 mg L<sup>-1</sup>.

Para a facilidade de acesso, as microbacias com trilhas muito distantes do ponto, e local com impedimentos de medição foram eliminadas. Em relação ao tamanho das microbacias, pontos com áreas maiores que 300 ha também foram eliminados.

Na Área 1 foram escolhidas oito microbacias, sendo duas em cada uma das classes de uso da terra pré-definidas (Tabela 2). Os parâmetros físico-químicos dos pontos escolhidos apresentaram variação de acordo com cada categoria de uso da terra pré-definida, sugerindo uma possível interferência do uso da terra nas microbacias avaliadas. Essas possuem áreas variando de 20 a 200 ha, distribuídas em duas mesobacias contíguas da Área 1 (igarapés Timboteua e Buiuna, afluentes do rio Marapanim), ocorrendo uma amostra de cada classe de uso da terra em cada uma das bacias destes dois igarapés. Essa delimitação de tamanho ocorreu para possibilitar uma melhor identificação da influência do uso da terra nas águas fluviais das microbacias selecionadas.

Na Área 2 foram selecionadas sete microbacias com tamanhos variando de 80 a 280 ha, ocorrendo uma classe de uso da terra para: Agricultura de derruba-e-queima, SAF e mata de igapó; Pastagem; e Agricultura de derruba-e-queima, capoeira e pastagem. Duas outras microbacias corresponderam as demais classes de uso da terra (Tabela 2). A seleção de somente uma microbacia em determinadas classes de uso da terra ocorreu por não haver outras microbacias que se adequassem a esta classificação segundo os critérios de seleção adotados.

Tabela 2. Microbacias selecionadas nas Áreas 1 e 2 em cada categoria de uso da terra, com tamanho (ha) e parâmetros físico-químicos medidos em campo.

Nº	Uso da terra predominante	Código do ponto	Parâmetros físico-químicos				Área (ha)
			pH	OD mg L <sup>-1</sup>	CE µS cm <sup>-1</sup>	T (°C)	
Igarapé-açu e Marapanim (Área 1)							
1	SAF	M1	4,3	5,5	23,2	26,2	58
2		M6	4,2	2,7	25,9	26,9	20
3	Agricultura (corte e trituração)	M2	4,0	4,9	27,0	26,4	156
4		M3	4,2	3,1	25,6	26,5	200
5	Pastagem	M4	4,7	5,4	19,6	26,4	45
6		M8	4,1	5,9	23,1	28,4	73
7	Agricultura (derruba-e- queima)	M5	4,6	5,9	18,4	25,6	70
8		M7	5,1	2,5	20,8	25,1	125
Mãe do Rio e Irituia (Área 2)							
1	Roça, capoeira e pastagem	G1	4,9	3,0	21,2	26,3	80
2		G3	4,6	3,0	17,3	27,4	110
3	Capoeira e pastagem	G2	5,0	3,3	18,8	26,0	114
4		G4	4,2	4,1	18,3	26,0	80
5	Pastagem	G5	5,5	0,8	50,3	27,1	280
6	Roça, capoeira e pastagem	G6	5,3	2,5	21,5	26,5	80
7	Roça s/ queima, SAF, floresta de igapó	G7	5,4	2,9	21,7	26,4	20

\*pH, potencial hidrogênionico da água; CE, condutividade elétrica (µS cm<sup>-1</sup>); OD, oxigênio dissolvido (mg L<sup>-1</sup>); T, temperatura da água (°C).

Duas microbacias de referência (MR1 e MR2) foram escolhidas em fragmentos de vegetação primária e pouco antropizada, localizadas dentro da Granja Marathon, no município de São Francisco do Pará (Figura 7). As microbacias MR1 e MR2 têm respectivamente as seguintes coordenadas geográficas: 47°47'43,33"O e 01°06'31,12"S; e 47°48'20,57"O e 01°05'34,48"S, e pertencem à mesobacia do rio Inhangá, afluente do rio Marapanim. Da mesma forma, para a Área 2

foram selecionadas duas microbacias de referência: GR1 e GR2 (Figura 7). Essas duas microbacias localizadas respectivamente a 47°17'40,81"W e 02°12'33,77"S, e 47°19'57,29"W e 02°11'53,66"S, pertencem à bacia do Rio Arauaí, afluente do Rio Guamá. As microbacias de referência das Áreas 1 e 2, possuem as mesmas condições climáticas, segundo a classificação de Köppen e também apresentaram condições pedológicas semelhantes a das áreas a serem comparadas.

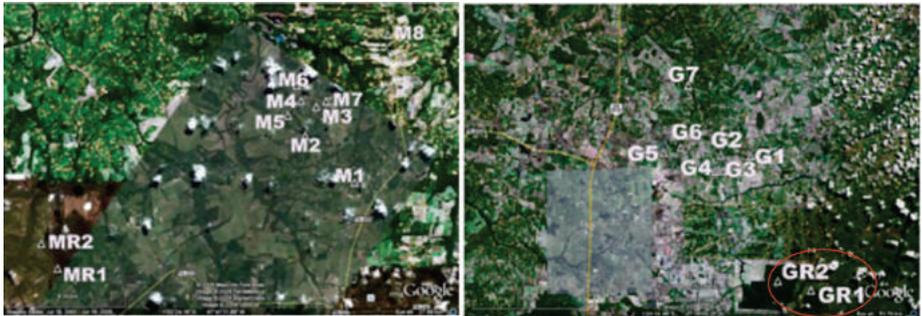


Figura 7. Microbacias selecionadas na Áreas 1 e 2 (Fonte: Google Earth, 2009), com suas respectivas áreas de referência destacadas.

Na Área 1, dentre todas as categorias selecionadas, a Agricultura com derruba-e-queima apresentou, na microbacia M7, o maior valor de pH (5,2) e o menor valor de oxigênio dissolvido ( $2,5 \text{ mg L}^{-1}$ ). No entanto, o maior valor de temperatura ( $28,4^\circ\text{C}$ ) foi encontrado na categoria de Pastagem, na microbacia M8, onde foi observado falta de vegetação nas margens do igarapé (Tabela 3).

A microbacia selecionada na classe Pastagem (G5) apresenta 82,6% de pasto sujo (Tabela 3) na Área 2, e demonstra alto nível de degradação ambiental, de acordo com os dados de condutividade e oxigênio dissolvido ( $\text{CE} = 50,3 \mu\text{S cm}^{-1}$ ;  $\text{OD} = 0,85 \text{ mg L}^{-1}$ ). Segundo a resolução do CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005), rios classe I, como é o caso das microbacias selecionadas, devem apresentar OD não inferior a  $6 \text{ mg L}^{-1}$ . Figueiredo et al. (2010), estudando os efeitos do uso da terra sobre os atributos químicos de igarapés na Amazônia oriental, verificaram CE média de  $44 \mu\text{S cm}^{-1}$  e  $38 \mu\text{S cm}^{-1}$  em microbacias com 16,4% e 19% de pastagem, e essas apresentaram altos valores de íons dissolvidos indicadores de agroecossistema de pastagem como: magnésio, cloreto e sódio.

Tabela 3. Uso da terra (%) de cada microbacia selecionada nas Áreas 1 e 2.

Microbacias	Floresta antropizada	Capoeira alta	Capoeira baixa	Vegetação de várzea	Pasto sujo	Pasto limpo	Cultura agrícola	Solo exposto	Habitações
Igarape-açu e Marapanim (Área 1)									
M1	1,0	28,6	8,3	0,0	8,7	27,2	19,1	5,8	1,4
M2	14,0	17,2	21,8	0,0	2,4	42,2	0,0	2,4	0,0
M3	21,5	9,6	15,0	0,0	15,6	34,4	1,7	2,0	0,2
M4	0,1	13,2	27,8	0,0	37,5	19,1	0,9	1,3	0,0
M5	2,6	26,5	9,5	0,0	29,2	31,4	0,2	0,6	0,0
M6	0,0	7,6	0,2	0,0	32,6	55,7	3,4	0,5	0,0
M7	11,8	6,9	17,7	0,0	23,5	23,9	7,1	8,5	0,6
M8	12,8	1,8	0,7	0,0	1,1	80,5	0,5	2,7	0,0
Mãe do Rio e Irituia (Área 2)									
G7	39,5	0,0	0,0	0,0	60,5	0,0	0,0	0,0	0,0
G6	6,9	4,1	6,4	16,2	32,9	26,9	6,6	0,0	0,0
G2	19,3	0,0	9,6	11,3	0,0	59,8	0,0	0,0	0,0
G5	0,0	0,0	11,5	5,9	82,6	0,0	0,0	0,0	0,0
G1	0,0	10,5	0,0	31,7	12,2	34,9	0,1	0,0	10,6
G3	0,0	8,0	3,8	7,4	25,5	54,3	0,7	0,2	0,2
G4	17,8	9,7	1,9	2,5	19,1	47,3	1,7	0,0	0,0

(Fonte: Projeto GESTABACIAS, 2010).

Por fim, as 19 microbacias selecionadas apresentaram facilidade de acesso, com boas características para a realização de coleta de amostras de água fluvial, medidas hidrológicas (descarga fluvial) e avaliações de qualidade de água.

Essas microbacias foram utilizadas para monitoramento do projeto Gestabacias entre anos de 2009 a 2012, em que foram monitorados e avaliados diversos parâmetros dos sistemas terrestres e de produção agropecuária, não somente para qualidade de água, visando subsidiar a gestão participativa das mesobacias consideradas (GESTABACIAS, 2009; OLIVEIRA et al., 2010; SILVA et al., 2010; COSTA et al., 2013; BARROSO

et al., 2015). A Tabela 3 apresenta a reclassificação dos usos da terra nas 19 microbacias que foi adotada para os estudos do Projeto GESTABACIAS, conforme pode-se consultar nas referências apontadas na frase anterior.

## Conclusão

As duas estratégias adotadas, medições de parâmetros físico-químicos em campo e análise de fatores ambientais, permitiram a seleção das melhores opções dentre as microbacias analisadas para facilitar a avaliação das relações entre o uso da terra e a qualidade da água de pequenos igarapés, no meio rural do Nordeste Paraense. Observou-se que, as áreas de agricultura com derruba-e-queima e de pastagem apresentaram qualidade de água inferior a dos demais usos e cobertura da terra nas duas mesobacias avaliadas.

Todos os parâmetros físico-químicos avaliados (pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e temperatura) nas microbacias apresentaram inter-relação com o uso da terra, pois suas medidas sofreram sensíveis alterações. No entanto, a condutividade elétrica e o oxigênio dissolvido foram os parâmetros de melhor eficiência para classificação e seleção das microbacias.

## Referências

BARTRAM, J.; BALANCE, R. **Water Quality Monitoring** - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes. Nations Environment Programme and the World Health Organization. London: Chapman; Hall, 1996. 400p.

BARROSO, D. F. R.; FIGUEIREDO, R. O.; PIRES, C. S.; COSTA, F. F. Avaliação da Sustentabilidade Ambiental de Sistemas Agropecuários em Microbacias do Nordeste Paraense a Partir de Parâmetros Físico-Químicos. **Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Pará**, v. 2, p: 56-68, 2015.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Resolução nº 724, de 3 de outubro de 2011**. Estabelece procedimentos padronizados para a coleta e preservação de amostras de águas superficiais para fins de monitoramento da qualidade dos recursos hídricos, no âmbito do Programa Nacional de Monitoramento da Qualidade das Águas (PNQA). Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 19 out. 2011. Seção 1, p.105.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)**: Resolução Nº 357, de 17 de Março de 2005.

BUSTAMANTE, M. M. C.; MARTINELLI, L. A.; PÉREZ, T.; RASSE, R.; OMETTO, J. P. H. B.; SIQUEIRA PACHECO, F.; LINS, S.R.M; MARQUINA, S. Nitrogen management challenges in major watersheds of South America. **Environmental Research Letters**, n. 6, v. 10, p: 1-10, 2015.

COSTA, C. F. G.; FIGUEIREDO, R. O.; OLIVEIRA, F. A.; SANTOS, I.P.O. Escoamento superficial em Latossolo Amarelo distrófico típico sob diferentes agroecossistemas no nordeste paraense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p: 162-169, 2013.

DIAS-FILHO, M.B.; DAVIDSON, E.A.; REIS, DE C. C.J. Linking biogeochemical cycles to cattle pasture management and sustainability in the Amazon basin. In: MCCLAIN, M.E.; VICTORIA, R.L. AND RICHEY, R.E. (Ed). **The biogeochemistry of the Amazon basin**. Oxford: University Press, 2001. p: 84-105.

DI LUZIO, M.; SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J. G.; NEITSCH, S.L. **ArcView interface for SWAT2000: user's guide**. Texas Water Resources Institute Report TR-193. Texas: Temple, 2002. 351p.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 575p.

FEARNSIDE, P.M. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. **Forest Ecol. Manage.** n. 1-3, v. 80, p: 21-34, 1996.

FIGUEIREDO, R. O.; MARKEWITZ, D.; DAVIDSON, E. A.; SCHULER, A. E.; WATRIN O. S.; SILVA, P. S. Land-use effects on the chemical attributes of low-order streams in the eastern Amazon. **Journal of Geophysical Research**, n. G04, v. 115, p: 1-14, 2010.

FIGUEIREDO, R. O.; BÖRNER, J.; DAVIDSON, E. A. Watershed services payments to smallholders in the Brazilian Amazon: challenges and perspectives. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, n. 2, p: 6-17, 2013.

GERMER, S.; NEILL, C.; VETTER, T.; CHAVES, J.; KRUSCHE, A. V.; ELSENBEER, H. Implications of long-term land-use change for the hydrology and solute budgets of small catchments in Amazonia. **Journal of Hydrology**, n. 3-4, v. 364, p: 349-363, 2009.

GESTABACIAS. **Conservação de recursos naturais em mesobacias hidrográficas na Amazônia Oriental: iniciativas integradoras para promover o planejamento participativo da gestão ambiental no meio rural. Sistemas agroflorestais na Amazônia oriental: potencial de mitigação de efeitos das mudanças climáticas**. Embrapa, 2009.

HÖLSCHER, D.; MÖLLER, M. R.; DENICH M.; FÖLSTER H. Nutrient input-output budget of shifting agriculture in Eastern Amazonia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 47, p: 49-57, 1997.

KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E. Fire in the Brazilian Amazon: 2. Biomass, nutrient pools, and losses in cattle pastures. **Oecologia**, v. 113, p: 415-427, 1998.

KRUSCHE, A. V.; BALLESTER, M. V. R.; VICTORIA, R. L.; BERNARDES, M. C.; LEITE, N. K.; HANADA, L.; VICTORIA, D. de C.; TOLEDO, A. M.; OMETTO, J. P.; MOREIRA, M. Z.; GOMES, B. M.; BOLSON, M. A.; NETO, S. G.; BONELLI, N.; DEEGAN, L.; NEILL, C.; THOMAS, S.; AUFDENKAMPE, A. K.; RICHEY, J. E. Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. **Acta Amazônica**, n. 2, v. 35, p: 197-205, 2005.

LEACH, J. A.; LARSSON, A.; WALLIN, M. B.; NILSSON, M. B.; LAUDON, H. Twelve year interannual and seasonal variability of stream carbon export from a boreal peatland catchment. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**. n. 7, v. 121, p: 1851-1866, 2016.

LEOPOLDO, P. R.; FRANKEN, W.; SALATI, E.; RIBEIRO, M. N. Towards a water balance in the Central Amazonian region. **Experientia**, v. 43, p: 222-233, 1987.

MARTORANO, L. G.; PERREIRA, L. C.; CÉSAR, E. G. M.; PEREIRA, I. C. B. **Estudos climáticos do Estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thornthwhite, Mather)**. SUDAM/EMBRAPA-PA, 1993, 55p.

PACHÊCO, N. A.; BASTOS, T. X. **Boletim Agrometeorológico 2004 Igarapé- Açu, PA. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 216)**. EMBRAPA-PA, 28p, 2006.

MARKEWITZ, E.; DAVIDSON, E. A.; FIGUEIREDO, A. R. O.; VICTORIA, R. L.; KRUSCHE, A. V. Control of cation concentrations in stream waters by surface soil processes in an Amazonian watershed. **Nature**, v. 410, p: 802-805, 2001.

MERTENS, B.; POCCARD-CHAPUIS, R.; PIKETTY, M.G. Crossing spatial analyses and livestock economics to understand deforestation process in the Brazilian Amazonia: the case of São Félix do Xingu in south Pará. **Agricultural Economics**, v. 27, p: 269-294, 2002.

METZGER, J. P. Landscape dynamics and equilibrium in areas of slash-and-burn agriculture with short and long fallow period (Bragantina region, NE Brazilian Amazon). **Landscape Ecology**, v. 17, p: 419-431, 2002.

MORAES, J. M.; SCHULER, A. E.; DUNNE, T.; FIGUEIREDO, R. O.; VICTORIA, R. L. Water storage and runoff processes in plinthic soils under forest and pasture in eastern Amazonia. **Hydrological Processes**. v. 20, n. 12, p: 2509–2526, 2006.

OLIVEIRA, R. R. S.; WATRIN, O. S.; SAMPAIO, S. M. N.; PIMENTEL, G. M. Análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra nas microbacias hidrográficas dos igarapés timboteua e peripindeua, nordeste paraense. In: Seminário de Iniciação Científica da EMBRAPA, 14., 2010, Belém-PA, Brasil, Anais: EMBRAPA, 2010, p: 1-4.

RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; KATO, O. R.; VASCONCELOS, S. S. Matéria orgânica leve do solo em sistema agroflorestal de corte e trituração sob manejo de capoeira. **Pesq. agropec. bras.**, n. 8, v. 47, p: 142-1149, 2012.

RICHEY, J. E.; WILHELM, S. R.; MCCLAIN, M. E.; VICTORIA, R. L.; MELACK, J. M.; LIMA, A. C. Organic matter and nutrient dynamics in river corridors of the Amazon basin and their response to anthropogenic change. **Revista Ciência e Cultura**, v. 49, p: 98-110, 1997.

SARMENTO, C. M. B.; VEIGA, J. B.; RISCHKOWSKY, B.; KATO, O. R.; SIEGMUND-SCHULTZE, M. Caracterização e avaliação da pastagem do rebanho de agricultores familiares do nordeste paraense. *Acta Amazonica*, v. 40, p: 415-424, 2010.

SIEGMUND-SCHULTZE, M.; RISCHKOWSKY, B.; VEIGA, J. B.; KING, J. M. Cattle are cash generating assets for mixed smallholder farms in the Eastern Amazon. **Agricultural Systems**, v. 94, p: 738-749, 2007.

SILVA, A. A.; SOUSA FILHO, F. R.; CORTELETTI, J.; PINTO, W. DAS; SILVEIRA, J. L.; SILVA, S. R. M.; KASPER, A.; MARQUES, M. U. F.; CAHETE, F. L. S. **A historical dynamics of reproduction of agriculture in Igarapé-Açu (Northeast of the State of Pará):** A study focusing on agrarian systems. In: SHIFT-WORKSHOP, 3, 1999, Manaus. Proceedings...1999. p: 67-82.

SILVA, L. G. T.; VALENTE, M. A.; OLIVEIRA, R. R. S.; WATRIN, O. S. Caracterização e mapeamento dos solos de duas mesobacias hidrográficas no Nordeste Paraense. In: Seminário GESTABACIAS: Resultados de pesquisas em mesobacias do Nordeste Paraense e sua aplicação no desenvolvimento rural, 1., 2010, Belém-PA, Brasil. Anais: I seminário GESTABACIAS, 2010. p: 1-2.

SOMMER, R.; VLEK, P. L. G.; SÁ, T. D. A.; VIELHAUER, K.; COELHO, R. DE F. R.; FÖLSTER, H. Nutrient balance of shifting cultivation by burning or mulching in the Eastern Amazon – evidence for subsoil nutrient accumulation. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 68, p: 257-271, 2004.

SUDAM. Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia. (1984). **Atlas Climatológico da Amazônia Brasileira**. Belém, SUDAM/PHCA, 125p.

SWANK, W. T.; GROSSLEY, D. A. **Forest Hydrology and Ecology at Coweeta**. NY: Springer-Verlag, v. 66, 1988. P: 339-357.

TELLES, D. D. A. **Ciclo ambiental da água da chuva à gestão**. Editora: Blucher, 2012, 504p.

TOMICH, T. P.; NOORDWIJK, M. V.; VOSTI, S. A.; WITCOVER, J. Agricultural development with rainforest conservation: methods for seeking best bet alternatives to slash-and-burn with applications to Brazil and Indonesia. **Agricultural Economics**, v. 19, p: 159-174, 1998.

VITOUSEK, P. M.; MELILLO, J. Nitrate losses from disturbed ecosystems. **Science**, v. 204, p: 469-474, 1979.

WATRIN, O. S.; CRUZ, C. B. M.; SHIMABUKURO, Y. E. Análise evolutiva da cobertura vegetal e do uso da terra em projetos de assentamentos na fronteira agrícola amazônica, utilizando geotecnologias. **Geografia**, n. 1, v. 30, p: 59-76, 2005.