



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI  
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**IRANILDA SILVA MORAES**

**QUANTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE ABERTURA NO  
DOSSEL EM ÁREAS DE CONCESSÕES FLORESTAIS:  
MAMURU-ARAPIUNS-PA**

Belém  
2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI  
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**IRANILDA SILVA MORAES**

**QUANTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE ABERTURA NO DOSSEL EM ÁREAS DE  
CONCESSÕES FLORESTAIS: MAMURU-ARAPIUNS-PA**

Dissertação de Mestrado apresentada para o Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará, para a obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais,

Área de Concentração: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmica Sócio-ambiental.

Orientadora: Prof. Dr<sup>a</sup> Aline Maria Meiguins de Lima

Belém  
2014

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

---

Moraes, Iranilda Silva, 1986

Quantificação e avaliação de abertura no dossel em áreas de concessões florestais: Mamuru-Arapiuns-PA / Iranilda Silva Moraes. – 2014.

Inclui bibliografias

Orientador(a): Profa. Dra. Aline Maria Meiguins de Lima  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2014

1. Florestas - Administração - Pará. 2. Florestas - Sensoriamento remoto. 3. Processamento de imagens. 4. Política ambiental - Pará.  
I. Título.

CDD 22. ed. 634.92

---

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI  
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**IRANILDA SILVA MORAES**

**QUANTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE ABERTURA NO DOSSEL EM ÁREAS DE  
CONCESSÕES FLORESTAIS: MAMURU-ARAPIUNS-PA**

Dissertação de Mestrado apresentada para a  
obtenção do título de mestre em Ciências  
Ambientais

Área de Concentração: Ecossistemas Amazônicos  
e Dinâmica Sócio-ambiental.

**Data: 31/03/2014**

**Local: Auditório do Instituto de Geociências/UFPA**

**Banca Examinadora:**

Avaliador I: Prof. Dr. Marcos Adami (INPE/PPGCA)

Avaliador II: Profa. Dra. Maria Isabel Vitorino (UFPA/PPGCA)

Avaliador III: Prof. Dr. Christian Nunes da Silva (UFPA/PPGEO)

Belém  
2014

Esta pesquisa não teria outra dedicatória que não fosse àqueles que com muita força, sabedoria, respeito, fé e humildade lutaram para que eu tivesse acesso à educação, permitindo que através do conhecimento, dedicação e de muito trabalho, vários sonhos pudessem ser realizados, sem que fosse necessário tirar do outro o que lhe é de direito.

PAI e MÃE, é por vocês e pra vocês.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, ser supremo que está além da minha capacidade de entendimento.

Aos meus diretores do Ideflor, Thiago Valente e Cintia Soares, por acreditarem na idéia e me concedem todo o apoio necessário.

À minha orientadora Aline Meiguins, pelas discussões, contribuições e por ter aceitado encarar junto comigo o desafio deste projeto independente, desatrelado de qualquer projeto de pesquisa.

Aos meus colegas do Ideflor da Diretoria de Gestão de Florestas Públicas: Douglas, Márcia, Elinelson, Farid, Mauro, Shislene.

À Márcia Tatiana especialmente pelas oportunidades de discutir manejo florestal e aberturas de dossel, além claro, pelo imenso apoio no processamento e análises das fotos hemisféricas.

À minha família, em particular à minha mãe pelas suas orações.

Ao Ronaldo, meu companheiro de todas as horas, aquele que me deu o maior apoio e força necessária para que esta pesquisa se concretizasse. Até mesmo quando nem eu acreditava que pudesse ser capaz, ele acreditou em mim.

Aos meus filhotes peludos: Mel, Chocolate, Cacau e Caramelo, pela disposição de sempre dar carinhos e lambidas, aliviando a tensão em muitos momentos críticos.

Ao Chocolate especialmente que durante todo o tempo em que fiquei na frente do computador escrevendo esta dissertação ele esteve ao meu lado, ainda que eu parasse às três horas da madrugada, ele estava aqui comigo (como está agora). Amigo fiel.

Aos colegas do PPGCA pelo companheirismo nas disciplinas e pelas descontrações quando tudo parecia muito complicado.

Ao PPGCA pela oportunidade em debater análise integrada dos ecossistemas amazônicos, entendendo os efeitos associados à física do clima.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para esta pesquisa.

## RESUMO

As florestas tropicais da Amazônia historicamente foram alvo de práticas pouco sustentáveis de uso da terra, restando-lhes as cicatrizes de degradação advinda da exploração madeireira predatória, do uso indiscriminado do fogo, das altas taxas de desmatamento e de outras atividades que interferem nas ações de conservação da biodiversidade desta floresta. A atuação do Estado neste cenário é necessária através de políticas que incentivem formas de uso mais sustentáveis, como é o caso das concessões florestais que buscam através do manejo florestal, contribuir para a conservação dos recursos naturais e da manutenção da biodiversidade. A geração de produtos como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, Modelo Linear de Mistura Espectral e Fração de Abertura de Dossel foram realizados no intuito de criar elementos de interpretação e análise da variável abertura de dossel. Esta pesquisa teve como área de estudo a Unidade de Manejo Florestal I no Conjunto de Glebas Mamuru-Arapiuns, região oeste do estado do Pará; onde foram quantificados e avaliados a abertura de dossel nessa área de concessão florestal, através de imagens multiespectrais e fotos hemisféricas, com vistas a analisar a degradação e a qualidade do manejo executado nesta área. Os resultados obtidos mostraram que é possível estabelecer um processo de monitoramento com o uso dos sensores e técnicas aplicados, uma vez que os dados de MLME, em especial a imagem-fração solo apresentaram forte relação de covariância com os dados obtidos em campo através de fotos hemisféricas, permitindo considera-lo como uma boa ferramenta de alerta para as ações de monitoramentos das florestas amazônicas. Desta forma é possível tornar a gestão florestal mais acessível tanto ao poder público, quanto a entidades não governamentais ou privadas visando fiscalizar as ações de exploração florestal e agregar as populações que vivem nestas áreas tanto oportunidades de renda quanto a conservação florestal.

**Palavras-chave:** Monitoramento Florestal. Abertura de dossel. NDVI. MLME.

## ABSTRACT

The Amazonian tropical rainforests have historically been the target of non-sustainable land use practices, remain the scars of degradation from predatory logging, indiscriminate use of fire, high rates of deforestation and other activities that interfere in forest biodiversity conservation actions. In this scenario, the State actuation through policies that encourage more sustainable uses is needed, like the forest concession that seeks to contribute to natural resources conservation and maintenance of biodiversity through forest management. The generation of products like Normalized Difference Vegetation Index, Linear Spectral Mixture Model and Canopy Gap Fraction was done in order to create elements of interpretation and analysis of the canopy openness variable. This research studied the Forest Management Unit I of the Mamuru-Arapiuns lot, west region of Pará state, where canopy openness of this forest concession area was quantified and evaluated through multispectral images and hemispherical photographs to analyze the degradation and quality of the management executed in this area. The results obtained showed that is possible to establish a monitoring process by the use of the sensors and technics applied, once the LSMM data, specially the unmixed image soil showed strong covariance relation with the field data from hemispherical photographs, allowing it to be considered a good warning tool to amazon forests monitoring actions. This way, it is possible to make the management of forests more accessible to the government and non-governmental or private organizations to police the logging actions and aggregate the population that live on these areas, with income opportunities and forest conservation.

**Key words:** Forest monitoring. Canopy openness. NDVI. Linear Spectral Mixture Model.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do lote de concessão florestal no Conjunto de Glebas Mamuru-Arapiuns. _____	14
Figura 2: Visão equi-angular das fotografias hemisféricas, representadas pelos ângulos em zênite ( $\Theta$ ) e em azimute ( $\alpha$ ) (a) e imagem hemisférica pré-processada de uma floresta tropical na Costa Rica (b). _____	28
Figura 3: Configuração de UPAs da UMF I. _____	32
Figura 4: Configuração da UPA 01 da UMF I. _____	33
Figura 5: Cobertura Vegetal da UMF I. _____	35
Figura 6: Modelo Conceitual. _____	38
Figura 7. Coleta em trilha de arraste. _____	43
Figura 8. Coleta em pátio de estocagem. _____	43
Figura 9. Localização das amostras na UPA 01 da UMF 01. _____	44
Figura 10. Imagens de satélite para a área da UPA 01, onde: a) composição R5G4B3 para o ano de 2011; b) composição R6G5B4 para o ano de 2013; c) NDVI para o ano de 2011; e d) NDVI para o ano de 2013. _____	53
Figura 11. Pós-exploratório (a) e imagem NDVI 2013 (b). _____	54
Figura 12. Localização das clareiras amostradas em campo em relação a imagem fração solo (a) e a tipologia florestal da UPA 01 (b). _____	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais características e aplicações das bandas das imagens utilizadas. _____	36
Tabela 2: Procedimento de coleta de campo. _____	42
Tabela 3. Detalhamento do quantitativo amostral levantado. _____	45
Tabela 4. Largura das estradas secundárias e trilhas de arraste. _____	48
Tabela 5. Área dos pátios de estocagem e clareiras. _____	49
Tabela 6. Fotos hemisféricas de cada feição amostrada obtidas a 1,50 m do solo. _____	51
Tabela 7. T-Test para avaliação das diferenças nas médias de fração de abertura de dossel em <i>Dbc+Abp</i> e <i>Dbc</i> . _____	52
Tabela 8. Médias de fração de abertura de dossel (foto hemisférica), imagem-fração-solo (MLME), NDVI e medidas no solo (área e largura) para cada feição amostrada. _____	59
Tabela 9. Análise de covariância para fração de abertura de dossel, imagem-fração solo e NDVI. _____	61

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Histograma estrada secundária._____	48
Gráfico 2. Histograma trilha de arraste._____	48
Gráfico 3. Histograma pátio de estocagem._____	50
Gráfico 4. Histograma clareira._____	50
Gráfico 5. Média, desvio padrão e valores mínimos e máximos de fração de abertura de dossel._____	51
Gráfico 6. Média e desvio padrão de NDVI, ano 2013, para as feições amostradas em campo._____	55
Gráfico 7. Média e desvio padrão de fração solo, ano 2013, para as feições amostradas em campo._____	57
Gráfico 8. Relação Fração de abertura de dossel vs. Imagem-fração solo._____	60
Gráfico 9. Relação Fração de abertura de dossel vs. NDVI._____	60
Gráfico 10. Valores de abertura de dossel para cada feição amostrada conforme o método utilizado._____	61

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>HIPÓTESES .....</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>17</b>
4.1	O DESMATAMENTO E A IMPORTÂNCIA DO MANEJO FLORESTAL PARA O USO SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA .....	17
4.2	POLÍTICAS PÚBLICAS AMBIENTAIS E AS CONCESSÕES FLORESTAIS ..	20
4.3	IMPACTOS NO DOSEL INERENTES A EXPLORAÇÃO FLORESTAL MADEIREIRA .....	22
4.4	ESTIMATIVAS DE ABERTURA DE DOSEL POR IMAGEM .....	24
<b>4.4.1</b>	<b>imagens de sensores orbitais .....</b>	<b>24</b>
<b>4.4.2</b>	<b>fotografias hemisféricas .....</b>	<b>27</b>
4.5	DEGRADAÇÃO E QUALIDADE DO MANEJO FLORESTAL MADEIREIRO ...	29
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>31</b>
5.1	TIPOLOGIA DA PESQUISA.....	31
5.2	ÁREA DE ESTUDO.....	31
5.3	MATERIAIS UTILIZADOS.....	35
5.4	DADOS E PROCEDIMENTOS .....	37
<b>5.4.1</b>	<b>dados secundários .....</b>	<b>39</b>
<b>5.4.2</b>	<b>dados primários.....</b>	<b>40</b>
5.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	43
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>48</b>
6.1	MEDIÇÕES DE CAMPO .....	48
<b>6.1.1</b>	<b>abertura no solo.....</b>	<b>48</b>
<b>6.1.2</b>	<b>fração de abertura de dossel .....</b>	<b>50</b>
6.2	PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DE SATÉLITE .....	53
<b>6.2.1</b>	<b>índice de vegetação por diferença normalizada - ndvi.....</b>	<b>53</b>
<b>6.2.2</b>	<b>modelo linear de mistura espectral - mlme .....</b>	<b>56</b>
6.3	OS IMPACTOS PELA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA E A GOVERNANÇA PARA CONSERVAÇÃO DAS FLORESTAS .....	58
6.4	ESTOQUES DE CARBONO E EXPLORAÇÃO MADEIREIRA.....	65
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>68</b>
	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As concessões florestais constituem um marco na história florestal da Amazônia (REMOR, 2009), favorecendo a estabilização do setor madeireiro na região e incentivando a crescente adoção de técnicas de manejo florestal que permitam uma produção madeireira alicerçada em bases cada vez mais sustentáveis, além de também fazer frente às fortes e constantes pressões de desmatamento.

Conforme relatório do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, em 2011 a Amazônia Legal apresentou 6.418 km<sup>2</sup> de incremento de desflorestamento, enquanto em 2012 o incremento foi de 4.656 km<sup>2</sup>, revelando uma queda de 27% em relação ao ano anterior. No entanto, tais incrementos em desmatamento ainda retratam as fortes pressões sofridas pela floresta frente às expansões produtivas do setor agrícola e pecuário na região.

A frente de desmatamento no estado do Pará é a mais expressiva na Amazônia Legal, conforme dados do INPE, representando em 2011, 46,87% do total desmatado no ano para a região, e em 2012, 36,49%. Embora o Estado seja aquele que apresenta o maior incremento de desmatamento, a variação do ano de 2011 para o ano de 2012 apresentou a maior redução em área desmatada, representando uma diminuição em termos de 1.309 km<sup>2</sup>, referentes a -44%.

Como forma de contribuir para a redução da degradação florestal advinda da exploração madeireira predatória, do uso indiscriminado do fogo e em especial das altas taxas de desmatamento, que de maneira geral interferem nas ações de conservação da biodiversidade da floresta, o Estado tem atuado diretamente por meio de ações de fiscalização das atividades ambientais, bem como promovido políticas públicas que incentivem formas de uso mais sustentáveis, como as concessões florestais.

Em 2011, foram assinados no estado do Pará os primeiros contratos de concessão para exploração de recursos florestais em uma área total de 150.956,95 hectares, distribuídos em três Unidades de Manejo Florestal - UMF<sup>1</sup> localizadas no Conjunto de Glebas Mamuru-Arapiuns, situado na região oeste do Pará, abrangendo parte dos municípios de Santarém, Juruti e Aveiro (IDEFLOR, 2012).

---

<sup>1</sup> É o perímetro definido a partir de critérios técnicos, socioculturais, econômicos e ambientais, localizado em florestas públicas, objeto de um Plano de Manejo Florestal Sustentável – PMFS (BRASIL, 2006).

O monitoramento das cláusulas contratuais pode ser apontado como a fase mais complicada e necessária do processo de concessão florestal, requisito imprescindível para o seu pleno e bem sucedido desenvolvimento, de forma a contribuir fortemente na resguarda da sustentabilidade em seus âmbitos ambientais, econômicos e sociais.

No entanto, esta é uma tarefa não muito fácil; experiências em países que já fizeram concessões em suas florestas revelaram certo fracasso, ocasionado principalmente por um monitoramento deficiente que não conseguia acompanhar as atividades desenvolvidas, tampouco avaliar e quantificar os impactos causados pela atividade do manejo florestal desenvolvidas pela concessionária (MONTEIRO, 2011).

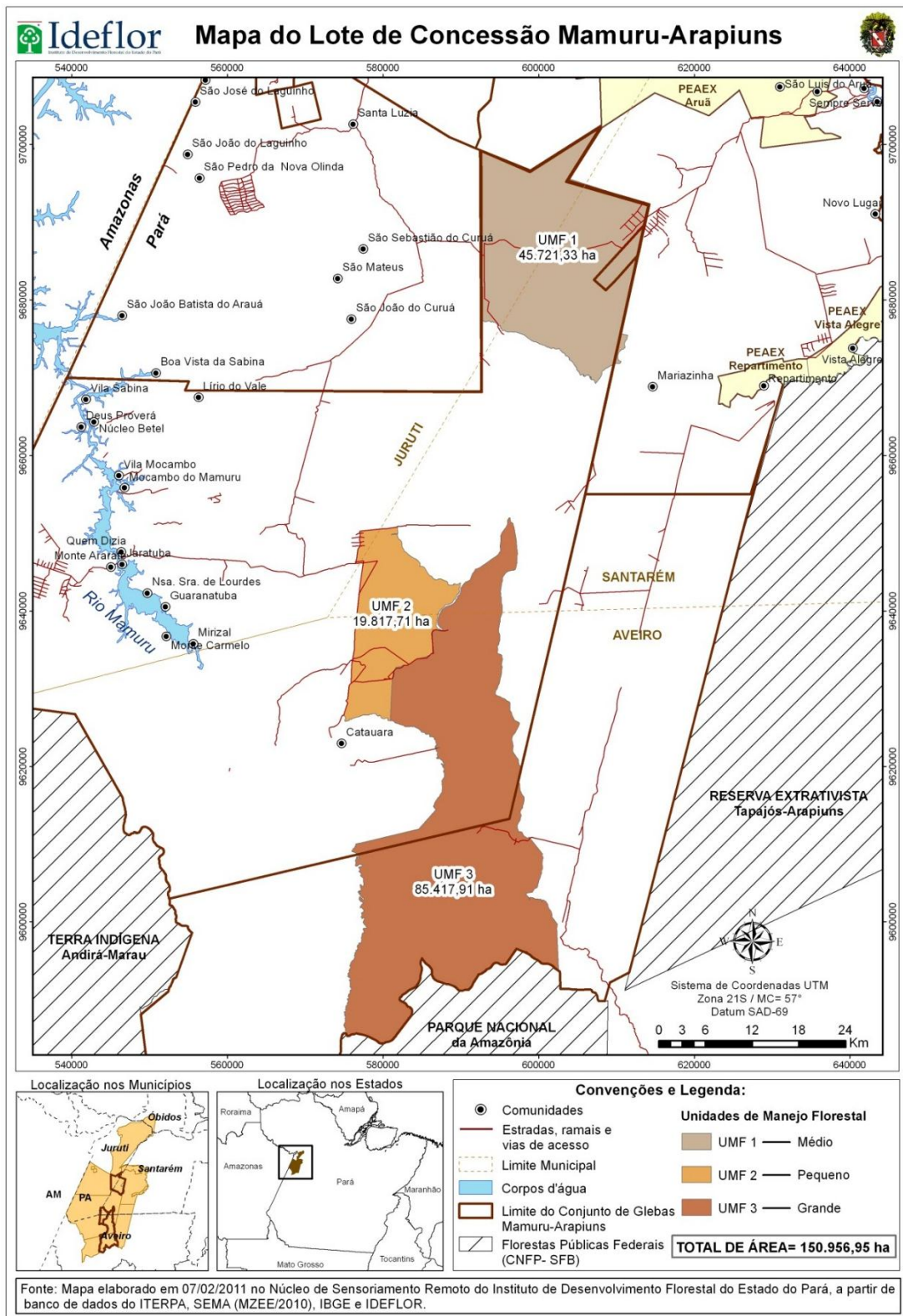
Garantir as limitações dos danos causados na floresta é o primeiro passo para atingir a sustentabilidade nas explorações florestais na Amazônia, e um fator preponderante é a educação dos proprietários/detentores de planos de manejo e o treinamento de trabalhadores florestais em boas práticas de manejo, incluindo um planejamento apropriado de exploração (ASNER *et al*, 2004).

A necessidade de monitorar as práticas do manejo florestal, principalmente no âmbito das concessões florestais é imperativa, pois além de contribuir nas limitações dos danos à floresta, resguarda o direito do Estado enquanto gestor da floresta pública, que mesmo em concessão continua sendo floresta e pública.

O avanço do processo de monitoramento pode favorecer para a região Amazônica uma gradual mudança de prática, entre a exploração convencional (EC) e a exploração de impacto reduzido (EIR).

Esta pesquisa teve como área de estudo a Unidade de Manejo Florestal - UMF I do lote de concessão florestal do Conjunto de Glebas Mamuru-Arapiuns. Esta UMF possui uma área de aproximadamente 45.721,33 hectares e está concedida à empresa LN Guerra Indústria e Comércio de Madeira Ltda, a qual assinou um contrato de concessão florestal com vigência de 30 anos, onde é estabelecido seus direitos e obrigações enquanto concessionária (Figuras 1). A UMF I possui uma tipologia florestal caracterizada por formações de Floresta Ombrófila Densa e de Floresta Ombrófila Densa + Aberta (IBGE, 1992) (UFRA, 2010), sendo ainda identificadas algumas poucas áreas que já sofreram exploração florestal anteriormente e/ou outros tipos de uso.

Figura 1: Localização do lote de concessão florestal no Conjunto de Glebas Mamuru - Arapiuns.



A UMF I pode ser acessada através de percurso via fluvial e terrestre, saindo de Santarém, seguindo pelo rio Arapiuns e depois pelo rio Aruã e acessando rotas terrestres (estradas e ramais). Outra rota possível acontece partindo-se de Juruti, via

terrestre, seguindo por estradas e ramais de acesso pela Gleba Nova Olinda III. Para ambos os percursos, o tempo de deslocamento da cidade mais próxima (Santarém ou Juruti) até a UMF I supera às 8 horas, agravado ainda pelas péssimas condições de trafegabilidade das estradas e ramais de acesso da região.

Fatores associados à localização geográfica e as dificuldades de acesso à área dificultam ações de monitoramento em campo com uma frequência desejável para acompanhar a execução de planos de manejo, fato este que aponta para a necessidade de adoção de técnicas alternativas de monitoramento.

Neste sentido o uso do sensoriamento remoto aliado a outras geotecnologias podem melhorar a eficiência do monitoramento, além da possibilidade de integralizar e validar dados coletados em campo (MONTEIRO, 2005).

A quantificação de abertura de dossel pode ser apontada como um meio pelo qual é possível avaliar a qualidade do manejo, pois está diretamente relacionada aos danos causados à floresta remanescente pela exploração madeireira, e conseqüentemente o grau de degradação florestal dela decorrente (ASNER *et al*, 2004).

Essa pesquisa parte da problemática de que o controle do desmatamento e a eficiência do manejo florestal no Pará são fortemente prejudicados pela sua vasta dimensão territorial e principalmente, pelas dificuldades de acesso, fato este que demanda a adoção de metodologias de maior alcance espacial com garantias de melhor precisão da informação.

O desenvolvimento de técnicas que empreguem procedimentos de interpretação de imagens orbitais e fotos hemisféricas pode ser considerado útil na extração de informações necessárias para avaliar e monitorar as concessões florestais estaduais no Pará.

## **2 HIPÓTESES**

- A fração de abertura de dossel é um bom indicador dos danos causados à floresta, pois quanto menor for a fração de abertura de dossel, menor será a clareira



oriunda das atividades de exploração e conseqüentemente menor o impacto na floresta remanescente.

- Os dados obtidos por meio de fotos hemisféricas apresentam aderência aos de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI e de imagem fração solo obtida através do Modelo Linear de Mistura Espectral – MLME.
- Dados advindos de imagens orbitais e fotos hemisféricas são bons indicadores para avaliar os danos causados à floresta pela exploração madeireira, conseqüentemente, úteis para analisar a degradação florestal dela decorrente.
- O monitoramento eficiente das concessões florestais no Pará favorece uma gestão florestal assentada em bases mais sustentáveis, além de contribuir para frear o desmatamento e aumentar a oferta de madeira legal no mercado.

### **3 OBJETIVOS**

#### ***Objetivo Geral***

Avaliar a abertura no dossel em área de concessão florestal no Conjunto de Glebas Mamuru-Arapiuns.

#### ***Objetivos Específicos***

- Verificar a aderência da imagem NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e da imagem fração solo advinda do MLME (Modelo Linear de Mistura Espectral) com a estimativa de fração de abertura de dossel;
- Correlacionar as estimativas de fração de abertura de dossel, a imagem fração solo e a imagem NDVI, observando as características da perda de dossel decorrente da exploração florestal;
- Analisar os dados de abertura de dossel perante o fator de degradação e a qualidade do manejo florestal;
- Discutir os efeitos do monitoramento na gestão florestal no estado, em especial quanto a adoção de práticas mais sustentáveis, redução das taxas desmatamento e oferta de madeira legal no mercado.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 O DESMATAMENTO E A IMPORTÂNCIA DO MANEJO FLORESTAL PARA O USO SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA

O entendimento de processos contemporâneos que atribuem significado às transformações da Amazônia brasileira, também revelam os processos de ocupação do território marcados por uma dinâmica regional de formas conflituosas de apropriação da terra e diferentes atores (GONÇALVES, 2005). De acordo com Becker (2007) as transformações em curso na Amazônia não são meros reflexos da globalização, mais do que isso e ao contrário, são fruto de uma intensa dinâmica desde fins do século XX que gerou profundas mudanças estruturais na região e que tendem a alterar no cenário nacional o papel da Amazônia, onde temas como a dinâmica da economia, do uso da terra e do planejamento do Brasil passam a influenciar mais diretamente na região.

De maneira geral, as florestas tropicais estão sendo destruídas muito rapidamente, apontando para altas taxas de desmatamento e elevados índices de fragmentação, associado, sobretudo à expansão de atividades econômicas, crescimentos de populações humanas e aos graves problemas de pobreza (CASTRO JÚNIOR *et al*, 2009).

Conservar as áreas de florestas passou a ser considerado não mais um entrave, e sim uma oportunidade de desenvolvimento para a região, a relevância da conservação dos recursos naturais e da manutenção da biodiversidade surge como novo paradigma dentro do cenário socioeconômico. É a dimensão ambiental fazendo-se não mais como um obstáculo ao desenvolvimento e sim como um meio para a construção de outro modelo de desenvolvimento, ambientalmente mais correto. Sob esta conjuntura, o manejo florestal surge como uma alternativa de inúmeras possibilidades, pois somente a adoção de práticas de manejo pode conciliar o desenvolvimento econômico e a conservação dos recursos florestais no interior da Amazônia (BAITZ *et al*, 2008).

O manejo florestal é um conjunto de técnicas para a exploração de madeira que visa a diminuir os danos à floresta (AMARAL *et al*, 1998). O manejo limita o número de árvores a serem exploradas e protege as árvores jovens, garantindo a manutenção da cobertura florestal e dos serviços ambientais promovidos pela floresta (SCHULZE *et al*, 2008).

Dessa forma, o manejo também garante a sustentabilidade econômica da operação florestal, já que os estoques de madeira não são exauridos e a exploração poderá ocorrer em ciclos contínuos. Fatores como a falta de informações sobre os benefícios do manejo, falta de equipamentos adequados e a falta de recursos humanos treinados em práticas de baixo impacto são os principais entraves para a implantação do bom manejo na região (BAITZ *et al*, 2008).

O setor madeireiro é importante para a economia da Amazônia, estatísticas mostram que em 2004, que ele foi responsável por uma renda bruta de US\$ 2,3 bilhões e 380 mil empregos, representando cerca de 4% da população economicamente ativa na região (LENTINI *et al*, 2005).

Em 2005, a Amazônia brasileira era considerada a segunda região produtora de madeira tropical do mundo e a participação Amazônica no mercado internacional tenderia a se intensificar devido ao esgotamento dos estoques asiáticos (FAO, 2005).

Dados estatísticos e econômicos apontam que, em 2009, 14,1 milhões de metros cúbicos de madeira em tora foram extraídos na Amazônia, apresentando uma estimativa de receita de aproximadamente US\$ 2,5 bilhões nesse ano (PEREIRA *et al*, 2010).

Estes números demonstram a importância da atividade no cenário econômico. Geograficamente, o setor madeireiro na Amazônia pode ser dividido em quatro fronteiras madeireiras, as quais diferem entre si devido à idade, às tipologias florestais e às condições de acesso a matéria prima (VERÍSSIMO; BARRETO, 2005; REMOR, 2009):

- A estuarina: durante os dois primeiros séculos, esta era incipiente, dada que a madeira era um produto de pouca importância econômica comparada a outros como a borracha e o cacau;
- A de várzea: intensificada após os anos 50 por conta da instalação de grandes empresas na região, que buscavam principalmente a exportação da virola (*Virola surinamensis*);
- A dos anos 60 e 70: marcada por intensos investimentos governamentais voltados a aberturas de estradas na Amazônia propiciaram o início de um padrão de exploração muito mais intensivo nas florestas de terra firme;

- A atual: localizada no oeste da Amazônia, caracterizada por um precário acesso rodoviário com estradas, como a BR-163 e a BR-230, porém com cobertura florestal intacta.

Há aproximadamente três décadas regiões nas proximidades da Transamazônica começaram a ser exploradas e formam atualmente, as novas fronteiras. A relativa inacessibilidade dessas regiões durante parte do ano, em decorrência do inverno amazônico, fez com que florestas locais fossem menos impactadas pela exploração madeireira até recentemente. Os pólos localizados na nova fronteira geraram, até 2004, uma renda bruta superior a US\$ 614 milhões, originando mais de 104 mil postos de trabalho diretos e indiretos. Nesta fronteira, os pólos madeireiros com maior destaque são Cláudia e Marcelândia, ambos em Mato Grosso, porém mais recentemente cidades como Santarém e Novo Progresso vêm se destacando neste cenário (BAITZ *et al*, 2008).

Ao longo dos últimos 20 anos, a visão predominante e convencional, que considera as florestas tanto um recurso a ser explorado quanto um entrave ao progresso, vem competindo com uma visão alternativa, na qual as florestas são manejadas em troca de benefício econômicos, sociais e ambientais (HUMMEL *et al*, 2010).

A teoria de que era possível manejar a floresta em vez de destruí-la foi testada pela primeira vez, pelo Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, no Projeto Piloto de Manejo Florestal em Paragominas, em 1993. Neste projeto, os pesquisadores buscavam desenvolver e implantar um sistema de melhores práticas de corte a partir das experiências de exploração de baixo impacto do sudeste Asiático. Os testes de campo incluíram comparações diretas entre impactos, custos e benefícios advindos de colheitas madeireiras usando a Exploração Convencional (EC) e aqueles oriundos da Exploração de Impacto Reduzido (EIR), que levava em consideração não somente o corte de abate, mais o potencial de manejo da floresta (SCHULZE *et al.*, 2008).

Em meados da década de 90, as pesquisas já demonstravam que a EIR causa bem menos prejuízos aos povoamentos florestais, proporcionando rendimento igual ou superior àquele obtidos em primeiras colheitas usando EC (ARAUJO, 2009). Apesar da comprovada superioridade da exploração madeireira de impacto reduzido como sistema operacional, a resistente adoção permanece como um impedimento ao desenvolvimento regional.

Boa parte do entusiasmo que as grandes empresas madeireiras vêm demonstrando até o momento pela EIR é fruto da certificação florestal e dos benefícios econômicos que ela promete (SANTOS, 2009), marcada fundamentalmente pela maior abertura ao lucrativo comércio da exportação.

O chamado “selo verde” prediz que a madeira certificada vem de floresta manejada sob a concepção de um conceito de manejo mais robusto, o manejo sustentável, que inclui tanto a sustentabilidade ecológica e social, como também econômica (RIBEIRO; CASTRO, 2008).

No enfrentamento entre a exploração predatória dos recursos florestais, que põe em risco a Amazônia e seu modelo de desenvolvimento baseado na ocupação e devastação, e o manejo da floresta, que surge como uma alternativa de possibilidades inúmeras para a construção de um desenvolvimento sustentado no equilíbrio social, econômico e ambiental, o Governo brasileiro tem se mostrado ultimamente favorável ao manejo.

Por meio de uma série de iniciativas, políticas e esforços no sentido de aprimorar a aplicação da legislação florestal e afinar sua regulação, o Governo vem criando possibilidades para o exercício do manejo florestal, ao mesmo tempo em que trava e impede o avanço de forças econômicas que promovem a degradação da floresta (SCHULZE *et al.*, 2008).

#### 4.2 POLÍTICAS PÚBLICAS AMBIENTAIS E AS CONCESSÕES FLORESTAIS

Partindo da premissa de que o manejo responsável dos recursos florestais é fundamental para o desenvolvimento socioeconômico sustentável, várias iniciativas políticas somaram-se a este esforço com o objetivo de estabelecer a ordem na fronteira amazônica.

Em 2000, o Programa Florestas Nacionais do governo federal determinou que a área de produção florestal aumentasse cinco vezes, atingindo 50 milhões de hectares em 2010 (VERÍSSIMO; BARRETO, 2005), essa meta visava atender às necessidades atuais e futuras de madeiras por meio de uma rede de florestas públicas e privadas bem gerenciadas.

Em 2006, esses esforços foram reafirmados com a aprovação da Lei 11.284, a chamada Lei de Gestão de Florestas Públicas, que definiu o arcabouço legal para a regulação das concessões florestais em terras públicas e instituiu o Serviço

Florestal Brasileiro – SFB. Esta pode ser apontada como uma medida regulatória que busca atuar na redução do desmatamento, na valoração da floresta e na produção sustentável de produtos florestais através da prática da gestão da floresta pública, em especial por meio de uma modalidade denominada Concessão Florestal (REMOR, 2009).

Conforme a Lei 11.284/2006, a concessão florestal é uma modalidade de gestão florestal para o exercício do manejo sustentável de recursos florestais (serviços florestais, produtos madeireiros e não madeireiros), onde é assinado um contrato entre o concessionário e o concedente (Estado), mediante processo licitatório, o qual prevê direitos e obrigações relativas às partes por um período pré-determinado em edital e no contrato de concessão florestal, sendo o órgão gestor da floresta pública responsável por monitorar e avaliar o cumprimento das cláusulas contratuais (SFB, 2012).

Entre as vantagens possíveis com a adoção das políticas de concessão florestal destacam-se, conforme Remor (2009):

- Estabilidade econômica e geográfica das empresas florestais madeireiras através de contratos de longo prazo;
- Auxílio na determinação de políticas fundiárias de ordenamento fundiário e desenvolvimento rural;
- Redução dos conflitos pela posse e uso dos recursos florestais;
- Maior controle das áreas, o que influiria diretamente na redução do desmatamento;
- Ampliação das áreas certificadas na Amazônia;
- Desenvolvimento técnico e científico do manejo florestal;
- Segurança jurídica e fundiária para uma produção florestal ordenada e profissionalizada;
- Apoio ao manejo florestal comunitário.

Essas iniciativas podem colaborar no desenho de uma política florestal para a região amazônica e também contribuir para o ordenamento e desenvolvimento adequado do setor florestal madeireiro. É preciso reconhecer que a lei põe as florestas públicas no âmbito do mercado, nesse sentido, é interessante pontuar, conforme Ribeiro e Castro (2008), que o regime de concessões florestais não é privatização das florestas, mas o controle por concessão de um bem público,

contendo preço e regras mercantis e que só poderia incluir essa matéria na pauta de mercado.

As concessões florestais são passíveis de ocorrer em florestas públicas, sejam elas destinadas ou não, que permitam o uso sustentável de seus recursos, respeitando as definições e categorias dispostas no Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC, conforme a esfera governamental a que pertence o órgão gestor. Para as florestas públicas federais, a gestão das florestas e, portanto do contrato de concessão é feito pelo Serviço Florestal Brasileiro – SFB, para as florestas públicas estaduais, analogamente a gestão é feita por seus respectivos Institutos de Floresta, no caso do estado do Pará a gestão é realizada pelo Instituto de Desenvolvimento Florestal do Estado do Pará – IDEFLOR, criado por meio da Lei Estadual Nº 6.963/2007, em atendimento a exigência da Lei Federal Nº 11.284/2006.

O estado do Pará assinou em 2011 os seus primeiros contratos de concessão para exploração de recursos florestais em uma área total de 150.956,95 hectares, distribuídos em três Unidades de Manejo Florestal - UMF localizadas no conjunto de glebas Mamuru-Arapiuns, situado na região oeste do Pará, abrangendo parte dos municípios de Santarém, Juruti e Aveiro. A gestão dos contratos é realizada pelo Ideflor, sendo de sua responsabilidade monitorar o cumprimento das cláusulas contratuais pela concessionária (IDEFLOR, 2012).

#### 4.3 IMPACTOS NO DOSSEL INERENTES A EXPLORAÇÃO FLORESTAL MADEIREIRA

A atividade de exploração florestal pode ser compreendida como uma das etapas do manejo florestal madeireiro, e está necessariamente ligada a ação de modificação da paisagem, alterando o meio ambiente em diferentes escalas de intensidade (ARAUJO, 2009).

É nesta etapa que ocorrem atividades operacionais ligadas a abertura de acesso à floresta (estradas), construção de pátios de estocagem, corte de árvores, arraste de toras, dentre outras até culminar com o transporte das toras abatidas para unidades de processamento e beneficiamento (MARTINS *et al*, 1998).

Os impactos da exploração florestal em florestas nativas devem ser cuidadosamente observados no manejo desse tipo de floresta, em atenção aos

efeitos na floresta remanescente, no solo, no dossel, como também, e consequentemente, na regeneração natural.

Estudos têm apontado que os impactos da exploração madeireira em florestas tropicais têm demonstrado altas correlações entre a intensidade de exploração e os impactos advindos das atividades operacionais, em especial quanto ao solo e aos danos à floresta remanescente, bem como das técnicas utilizadas (CUNHA, 2012). Isto permite dizer que dependendo da intensidade, o impacto da exploração contribui para aumentar o período do ciclo de corte<sup>2</sup> (ARAÚJO, 2009).

Um impacto passível de quantificação e avaliação é o dano no dossel, ocasionado pelas aberturas decorrentes das atividades de exploração madeireira, sejam elas: derruba de árvores, trilhas de arraste, pátios de estocagem e estradas.

Estas clareiras no dossel conseguem ser captadas por imagens de sensoriamento remoto de média resolução, como Landsat5TM, Spot5 e ResourceSat IRS P6, e por conseguinte identificadas através de técnicas avançadas de processamento digital de imagens (SOUZA *et al*, 2005).

Aberturas extensas, como aquelas resultantes de exploração intensa e sem controle, popularmente conhecida como exploração convencional (EC) geralmente favorecem o desenvolvimento de espécies pioneiras e cipós, comprometendo e dificultando a regeneração das árvores atualmente comerciais (VERÍSSIMO, 2002).

Esta situação pode ser mitigada através de práticas mais sustentáveis de exploração madeireira que visam o planejamento da atividade de exploração dentro do manejo florestal e que atualmente tem adquirido espaço dentro da atividade e do ramo madeireiro na Amazônia, são as práticas de exploração de impacto reduzido (EIR) (JOHNS *et al*, 1998).

Para as áreas de concessões florestais no estado do Pará, foi incluída no contrato de concessão a obrigatoriedade, por parte do concessionário, de adoção de práticas de manejo florestal que minimizassem os impactos da atividade na floresta remanescente, considerando-a inclusive como item de avaliação do indicador ambiental (IDEFLOR, 2011).

---

<sup>2</sup> Período decorrido entre 2 (dois) momentos de colheita de produtos florestais numa mesma área (BRASIL, 2006).



#### 4.4 ESTIMATIVAS DE ABERTURA DE DOSEL POR IMAGEM

A abertura no dossel tem efeitos na fauna, no microclima e na qualidade de regeneração da floresta explorada (CANTINHO, 2012), o que torna a quantificação desse impacto um bom preditor da degradação causada.

A quantificação de dano no dossel é passível de ser obtida a partir de produtos de sensoriamento remoto, como as imagens orbitais de média resolução que através de índices de vegetação (IV's) e modelos de mistura espectral são capazes de apontar valores de abundância de vegetação para um determinado dossel (ASNER *et al*, 2002; ASNER *et al*, 2004; MONTEIRO; SOUZA, 2009).

A quantificação também pode ser feita através de fotos hemisféricas obtidas sob o dossel impactado, que após processadas são capazes de estimar a fração de abertura de dossel, parâmetro que possui forte correlação com o índice de área foliar (IAF), variável de estreita relação com a produtividade da biomassa florestal e tida como elemento chave na compreensão da dinâmica da vegetação em ecossistemas terrestres (MONTEIRO; SOUZA, 2009; SILVA *et al*, 2009).

Conforme apontado por Graça (2006), a abertura de dossel possui forte correlação também com o grau de degradação florestal, por conta do alto nível de aderência com a componente fração solo, resultante do modelo linear de mistura espectral – MLME.

##### 4.4.1 Imagens de sensores orbitais

As características espaciais da vegetação estão associadas a um padrão de resposta espectral que permite através do sensoriamento remoto obter informações sobre seu comportamento e mudanças nas estruturas de seus dosséis (LIU, 2006).

As imagens de sensoriamento remoto possuem características espectrais dos alvos detectados que resultam do contraste na resposta espectral pela tonalidade/cor e textura entre um objeto e os outros que o rodeiam, possibilitando determinar o tamanho e a forma do objeto imageado (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

A possibilidade de realçar o contraste espectral de uma imagem requer a adoção de procedimentos mais elaborados para extração das informações, necessitando do aporte de técnicas de processamento digital de imagens – PDI (JENSEN, 2009). Os Índices de Vegetação podem ser considerados técnicas de

realce (FERREIRA *et al*, 2008), onde é possível explorar o contraste espectral entre os valores de reflectância na banda do vermelho e do infravermelho próximo em folhas verde.

O aumento da quantidade de vegetação resulta no decréscimo da reflectância na faixa do vermelho devido à absorção pela clorofila e no aumento da reflectância próxima ao infravermelho por causa da luz dispersa pelos tecidos do mesófilo, neste sentido, altos valores dos índices são indicativos de uma alta probabilidade de que o alvo analisado tenha vegetação verde sadia (CUNHA, 2012).

Dentre os índices de vegetação, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) é o mais utilizado para estudos de caracterização e monitoramento da vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007) e se dá pela seguinte relação (LIU, 2006):

$$NDVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_{IVP} + \rho_V)} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:  $\rho_{IVP}$  = valor de reflectância no infravermelho próximo;  
 $\rho_V$  = valor de reflectância na banda do vermelho<sup>3</sup>

Este índice tem sido aplicado com algum sucesso em estudos de vegetação para detecção de mudanças da cobertura da terra e caracterização da vegetação, sendo capaz de monitorar as mudanças sazonais e interanuais no desenvolvimento e atividade da vegetação, porém é muito sensível a variações do substrato sob o dossel (JENSEN, 2009).

O NDVI permite, segundo Cunha (2012), mapear o índice de área foliar, diagnosticar a estimativa da fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelos dosséis das plantas (CANTINHO, 2012), bem como da biomassa e percentagem da cobertura verde da superfície.

Outro parâmetro obtido através de imagens multiespectrais que tem sido bastante utilizado nas análises de áreas que sofreram exploração florestal é aquele advindo da aplicação do Modelo de Mistura Espectral (ASNER *et al*, 2002; SOUZA *et al*, 2005; MONTEIRO; SOUZA, 2009).

O modelo de mistura espectral tem a finalidade de identificar a proporção do padrão de resposta espectral de diferentes alvos que compõem um elemento de cena. Isto porque a radiância medida pelo sensor em um ponto é dada pela

---

<sup>3</sup> A região do visível vai de 0,4 a 0,72  $\mu\text{m}$ ; a região do infravermelho próximo abrange a faixa dos 0,72 a 1,10  $\mu\text{m}$  e a região do infravermelho médio vai de 1,10 a 3,20  $\mu\text{m}$ , aproximadamente (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

integração das respostas de cada um dos componentes de um elemento de cena (pixel), uma vez que, em geral, a resolução espacial de um sensor permite a inclusão de mais de um tipo de objeto dentro de um pixel (PANTOJA, 2010).

Dependendo da complexidade do espalhamento, os modelos de mistura espectral podem ser divididos em linear e não linear (GRAÇA, 2006). Para efeito desta pesquisa apenas será trabalhado o modelo linear de mistura espectral - MLME. Este modelo fundamenta-se no pressuposto de que um espectro misturado numa imagem qualquer pode ser modelado através de uma combinação linear de espectros puros, conhecidos por *endmembers* (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

Nestas condições, para qualquer imagem, e sendo as respostas espectrais dos componentes conhecidas, as proporções destes podem ser estimadas, de forma individual, por meio da geração de Imagens Fração.

Os valores nas imagens fração (bandas sintéticas) podem variar de 0 (pixels escuros) a 1 ou 100% (pixels claros), indicando, respectivamente, a menor e a maior proporção do componente identificado nas imagens fração. As imagens fração para os respectivos *endmembers* podem ser obtidas através da aplicação do modelo geral de mistura (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007):

$$r_i = \sum_{j=1}^n (a_{ij} x_j) + e_i \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

- ri = reflectância de um pixel observada na banda i;
- a<sub>ij</sub> = reflectância do componente j na banda espectral i;
- x<sub>j</sub> = proporção do componente j (endmember) dentro do pixel;
- e<sub>i</sub> = termo de erro para a banda i;
- j = 1, 2, 3,.....n (número de componentes);
- i = 1, 2, 3,.....m (número de bandas espectrais).

O modelo de mistura espectral tem sido uma ferramenta importante no mapeamento da atividade madeireira na Amazônia, permitindo a detecção de pátios de estocagem em imagens fração solo (SOUZA; BARRETO, 2000). Monteiro *et al* (2007) observaram que a imagem fração vegetação permite avaliar e comparar temporalmente os impactos da exploração de madeira no dossel e que a imagem fração solo permite extrair estradas e pátios de estocagem para avaliação dos indicadores relacionados a estas infraestruturas.

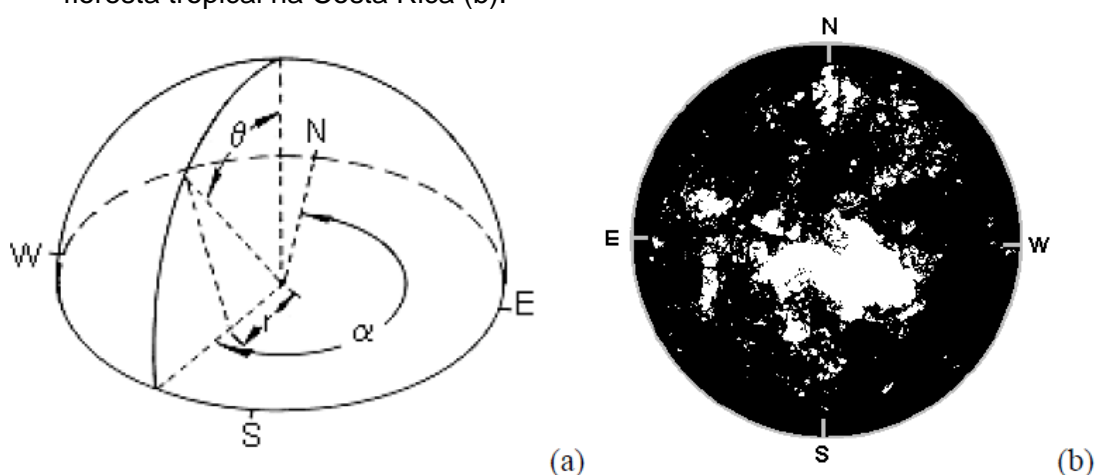
#### 4.4.2 Fotografias hemisféricas

As fotografias hemisféricas capturam os padrões de obstrução e penetração da luz no dossel, pela qual a arquitetura da copa e a área de folhagem podem ser quantificadas (GIUNTI NETO, 2007). O uso das fotografias hemisféricas fornece um registro permanente de importantes informações do dossel, como posição, tamanho, densidade e distribuição das aberturas (*gap fraction*) em diferentes ângulos zenitais e azimutais (ZHANG *et al*, 2005).

O princípio é fornecer um extremo ângulo de visão, geralmente de  $180^\circ$  resultante da projeção do hemisfério em um plano. A exata natureza da projeção varia de acordo com a lente usada, em lentes com um campo de visão de  $180^\circ$  o resultado é uma imagem circular, que mostra uma visão completa do céu em todas as direções, com o zênite no centro da imagem e o horizonte nas bordas (JONCKHEERE *et al*, 2004).

As fotografias hemisféricas são obtidas a partir de uma lente olho de peixe (*fisheye*) acoplada a uma câmera fotográfica, a qual é posicionada abaixo do dossel e orientada para zênite (CANTINHO, 2012). Cada posição da imagem corresponde a uma direção no céu, que é representada por dois ângulos: (i) o ângulo zênite  $\theta$  e (ii) o ângulo azimute  $\alpha$  (Figura 2a).

Figura 2: Visão equi-angular das fotografias hemisféricas, representadas pelos ângulos em zênite ( $\Theta$ ) e em azimute ( $\alpha$ ) (a) e imagem hemisférica pré-processada de uma floresta tropical na Costa Rica (b).



Fonte: Cantinho (2012).

As lentes com uma projeção equi-angular perfeita (campo de visão de  $180^\circ$ ) geram uma imagem circular com uma visão completa do céu em todas as direções,

com o zênite no centro da imagem e o horizonte nas bordas, sendo que o Leste e o Oeste são invertidos da condição normal encontrada em mapas, já que a vista é para cima em vez de para baixo (Figura 2b) (JONCKHEERE *et al.*, 2004; ZHANG *et al.*, 2005).

Quando da tomada das fotografias são recomendados alguns procedimentos como alinhar e nivelar a câmara, tanto horizontalmente como verticalmente, ajustar adequadamente as configurações da câmara visando o melhor contraste entre o céu e os componentes do dossel, ajustar parâmetros como velocidade do obturador da máquina e o diâmetro de abertura da lente (SCHWALBE, 2005).

A adoção destes procedimentos é necessária para evitar uma superexposição que pode acarretar na perda de detalhes dos elementos escuros e uma subexposição que pode levar à perda de detalhes dos elementos claros da imagem (GIUNTI NETO, 2007).

A presença de nuvens pode confundir e prejudicar a classificação das fotografias no software de análise, ao passo que a radiação solar direta nas folhas pode provocar clarões no dossel, dificultando a distinção entre os elementos (MONTEIRO, 2005; MONTEIRO; SOUZA, 2009). Por esses motivos é indicado que as fotografias sejam tomadas logo depois do nascer do sol e/ou um pouco antes do poente.

Outro problema que é citado frequentemente na literatura refere-se à seleção de um limiar ótimo de brilho para a classificação da imagem no software de análise. Conhecido como *threshold*, este valor é utilizado como parâmetro para que cada pixel seja classificado como branco (abertura) ou preto (área de biomassa verde), produzindo uma imagem binária (JONCKHEERE *et al.*, 2004).

Assim, um parâmetro importante que pode ser extraído a partir das fotografias hemisféricas é a fração de abertura do dossel (SILVA *et al.*, 2009; CANTINHO, 2012), que representa a proporção que a vegetação não foi capaz de obscurecer da porção do céu registrada a partir de um ponto, cujos valores são obtidos por meio de softwares específicos, como o Gap Ligth Analyzer - GLA (ZHANG *et al.*, 2005; MONTEIRO, 2005).

#### 4.5 DEGRADAÇÃO E QUALIDADE DO MANEJO FLORESTAL MADEIREIRO

O fator desmatamento e todos os impactos dele decorrentes não podem ser considerados como as únicas ameaças à integridade das florestas da Amazônia. Conforme Nepstad *et al* (1999) e Souza (2007), a partir da década de 1990 grandes porções de áreas florestais na Amazônia foram anualmente impactadas e empobrecidas por conta do processo de degradação advindo da atividade madeireira, queimadas e fragmentação.

O processo de degradação florestal afeta e impacta parcialmente a estrutura e composição da floresta, diferente do desmatamento que remove por completo a floresta através do corte raso (SOUZA *et al*, 2005; SOUZA, 2007).

O grau de degradação pode variar de acordo com os fatores ligados ao manejo da floresta, tanto de execução quanto de condições ambientais, tais como, intensidade de exploração, planejamento de exploração (JOHNS *et al*, 1998), adoção de práticas de exploração que minimizem os impactos (NEPSTAD *et al*, 2005), fatores físicos (como tipo de solo, clima e topografia), fatores biológicos (tipo estrutural e composição florística da floresta) (GRAÇA, 2006), tempo do ciclo de corte (GERWING; VIDAL, 2002), entre outros.

A exploração florestal se praticada através de técnicas de manejo florestal pode se constituir em uma grande aliada no combate ao desmatamento (MONTEIRO *et al*, 2004), além de permitir produção de madeira a curto ou longo prazo, preservação dos serviços ambientais como a garantia do suprimento de água nas bacias hidrográficas (SCHULZE *et al*, 2008) e oferta de madeira legal no mercado.

Em florestas que sofrem exploração florestal não manejada são comuns várias revisitas a área, já que os madeireiros retornam para extrair espécies que se tornam lucrativas quando o comércio de madeiras se mostra propício. Segundo Cochrane *et al* (2008) essas florestas tornam-se muito degradadas, já que de 40% a 50% de seu dossel são perdidos durante as atividades operacionais de exploração madeireira.

A limitação dos danos causados pela exploração florestal e conseqüentemente a diminuição da degradação florestal é o primeiro passo para a implementação de sistemas de produção sustentáveis nas florestas da Amazônia (KELLER *et al*, 2005).

As florestas públicas sob concessão florestal devem estabelecer um regime de produção sustentável, adotando o manejo florestal como modelo de desenvolvimento por incorporar ações e medidas que compatibilizem o interesse econômico com o objetivo ecológico e o comprometimento social, preenchendo, assim, os requisitos do chamado desenvolvimento ecológico.

Para alcançar a sustentabilidade é necessário olhar além dos ciclos de corte, dos tratamentos silviculturais, é necessário olhar para o contexto das paisagens nas quais elas estão inseridas e as interferências a que estão expostas (COCHRANE *et al*, 2008).

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 TIPOLOGIA DA PESQUISA

As características do método e da pesquisa, entendidos como fundamentais para o desenvolvimento desta investigação científica, são sinteticamente definidas como de natureza aplicada, quantitativa (estatística), que adota elementos descritivos obtidos a partir de levantamentos de dados primários e secundários (CERVO; BERVIAN; SILVA, 2007).

Nesta pesquisa as observações e quantificações estabeleceram análises estatísticas, que visavam obter representações simples e constatar se as verificações obtidas têm relação entre si. Este fato justifica a escolha pelo procedimento quantitativo/estatístico, que permite a associar fenômenos quaisquer a termos quantitativos e a manipulação estatística, comprovando as relações dos fenômenos entre si e obtendo generalizações sobre sua natureza, ocorrência ou significado; tendo como ferramenta o emprego de procedimentos técnicos característicos de levantamento (primários e secundários) (GIL, 2009; MARCONI; LAKATOS, 2011).

### 5.2 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em uma área de aproximadamente 3.000 ha referente à área de manejo para a primeira Unidade de Produção Anual – UPA<sup>4</sup> da UMF I da Concessão Florestal no Conjunto de Glebas Mamuru-Arapiuns, localizada nos municípios de Juruti e Santarém, estado do Pará.

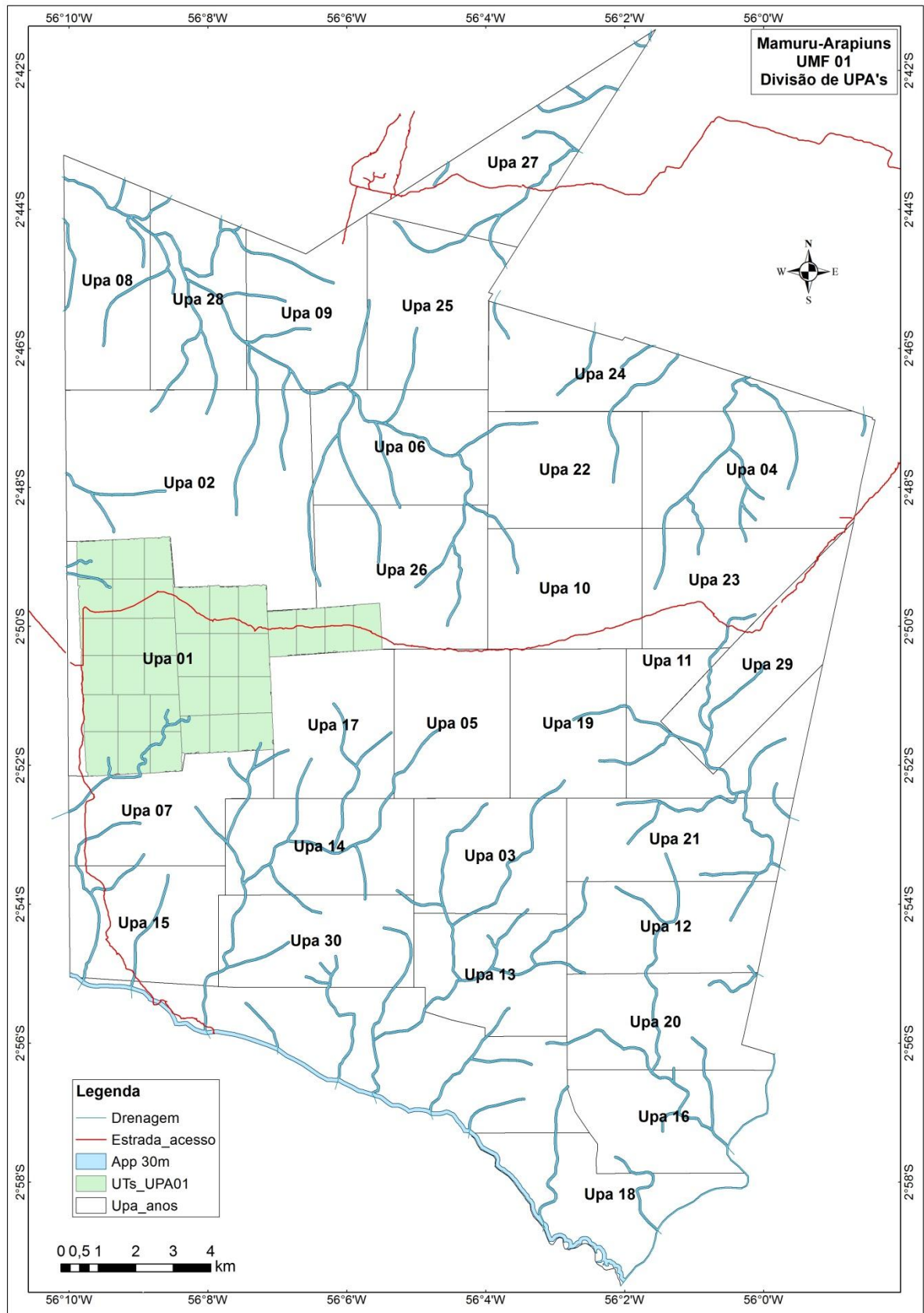
Esta área de manejo foi licenciada e autorizada para exercício das atividades de manejo florestal para a safra do ano de 2012 da concessionária LN Guerra Ltda, e de acordo com o Plano de Operação Anual – POA, a UPA I é composta por 34 Unidades de Trabalho – UT e 201 pátios de estocagem, com Autorização de Exploração de Produtos Florestais - AUTEF liberada para 76.799,7074 m<sup>3</sup>, respeitando o limite de exploração de 25,8 m<sup>3</sup>/ha disposto no contrato de concessão florestal (Figuras 3 e 4).

---

<sup>4</sup> Termo empregado nos planos de manejo florestal sustentável para designar as áreas resultantes da subdivisão operacional da área de manejo florestal que serão objeto da colheita florestal durante um determinado ano do ciclo de produção florestal.

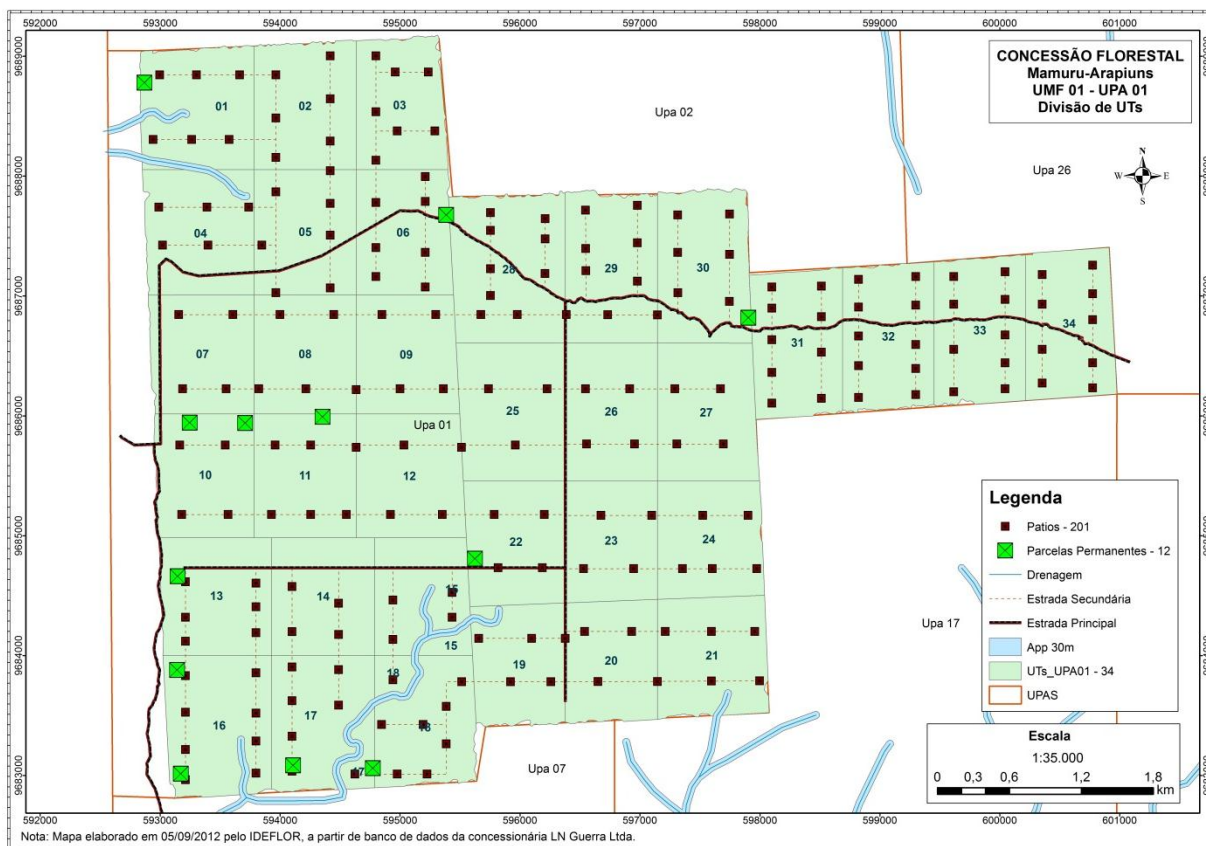


Figura 3: Configuração de UPAs da UMF I.



Fonte: Ideflor, 2012

Figura 4: Configuração da UPA 01 da UMF I.



A caracterização climática desta área é o dominante na Amazônia, quente e úmido, pertencente ao clima tipo tropical chuvoso tipicamente marcado por apresentar temperaturas médias mensais sempre superiores a 18° C e se diferenciam pela quantidade de precipitação pluviométrica média mensal e anual. Na área de estudo foi identificado o sub-tipo climático denominado “Am”, conforme classificação de Köppen, e mais especificamente sua subdivisão climática “Am3”, o qual apresenta-se diferenciado de acordo o regime pluviométrico existente. Este subtipo climático caracteriza-se por uma faixa onde a precipitação pluviométrica média anual varia de 2000 mm a 2500 mm (PARÁ, 2004).

Na hidrografia da região, o rio principal é o Tapajós sendo considerado seu afluente principal o rio Arapiuns. Este rio possui como tributários relevantes os rios Maró e Aruã, caracterizados por apresentar águas do tipo pretas (embora possam ser consideradas relativamente e não totalmente pretas), canais fluviais estreitos e pequenos, e quanto aos seus aspectos físico-químicos às águas são bastante ácidas, onde sua origem bastante antiga em sedimentos do Terciário, o caracteriza

como muito pobre em sedimentos. A área de estudo localiza-se no interflúvio dos desses dois Maró e Aruã (UFRA, 2009).

A geologia da região do rio Arapiuns e de seus dois afluentes rios Aruã e Maró está situada na porção central da Bacia Sedimentar do Amazonas, onde afloram uma seção da Formação Alter do Chão, que trata-se de uma unidade formada principalmente por arenitos finos a grossos, de cores vermelho tijolo e variegados. Na área foram identificadas as ocorrências de solos do tipo Latossolo Amarelo e Areia Quartzosa (Neossolo Quartzarênico na nova classificação) (EMBRAPA, 2006).

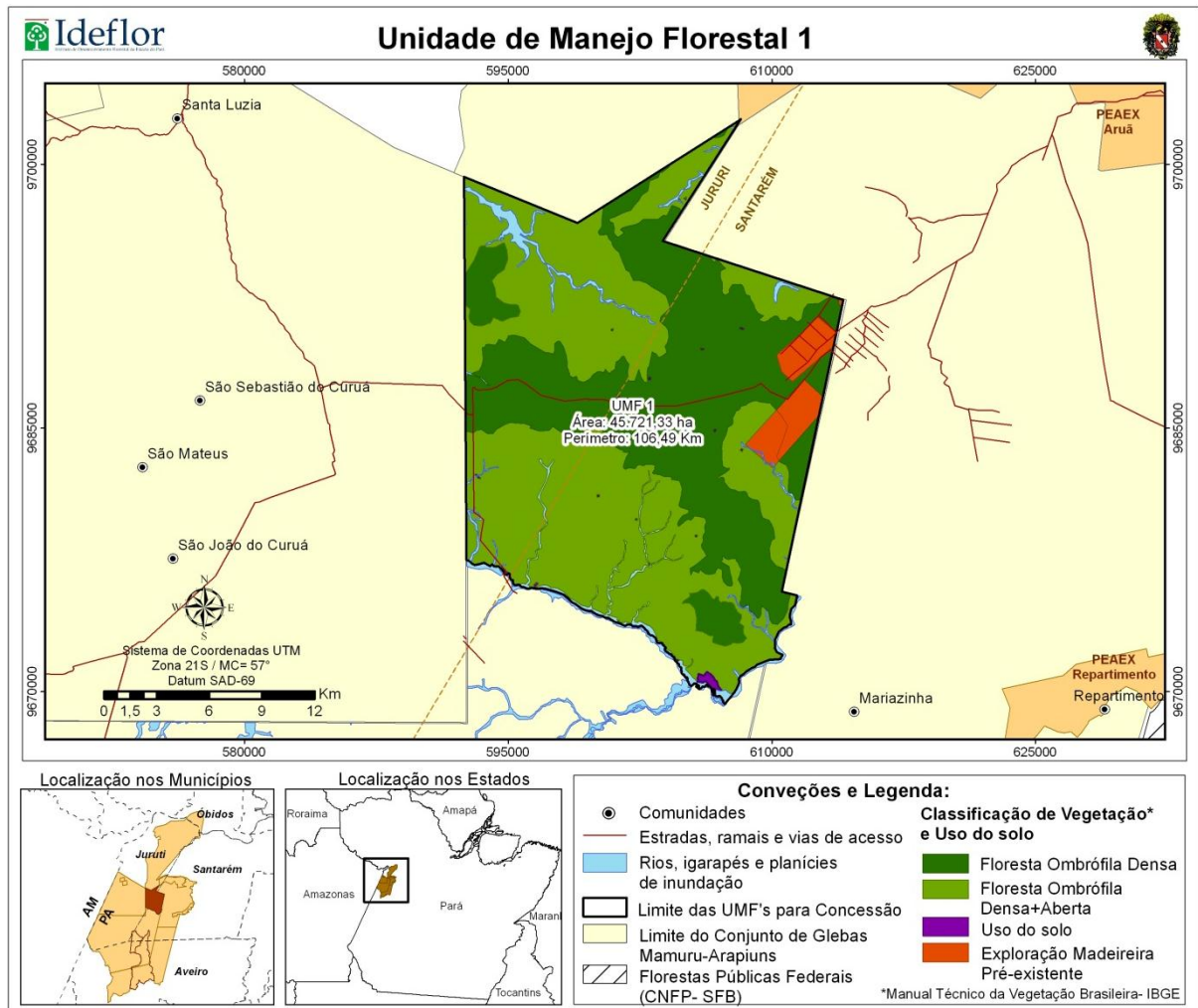
A estrutura geomorfológica da área é representada pela unidade Patamares do Tapajós, de ocorrência predominante na região do Conjunto de Glebas Mamuru-Arapiuns. Essa unidade geomorfológica é caracterizada por áreas escalonadas e pode ser incluída dentro de uma unidade maior constituída pelo Planalto Rebaixado da Amazônia, representada por uma superfície pediplanada (relevo plano a suave ondulado), com altitude média de 250 metros, que corresponde aos baixos platôs (terras firmes) que margeiam as várzeas amazônicas (UFRA, 2010).

A caracterização da cobertura vegetal é marcada pela presença de 2 (duas) classes de florestas: Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas de dossel emergente (Dbe) e Florestas Ombrófila Densa das Terras Baixas dossel emergente mais Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras (Dbe+Abp), conforme o Manual Técnico da Vegetação Brasileira do IBGE. Também foram identificadas algumas poucas áreas que já sofreram exploração florestal (corte seletivo) anteriormente e/ou outros tipos de uso (corte raso) (Figura 5).

A Floresta Ombrófila Densa se caracteriza com grandes árvores geralmente com altura superior a 50 m, as quais ganham destaque na constituição arbórea uniforme da floresta (entre 25 a 35 m de altura). A formação de terras baixas apresenta sub-bosque limpo, boa regeneração natural e fácil penetração; além de alto volume de madeira de grande valor comercial.

A Floresta Ombrófila Aberta se caracteriza por árvores de grande porte, bastante dispersas, onde aparecem frequentes agrupamentos de palmeiras e enorme quantidade de cipós, que envolvem as árvores e cobrem inteiramente o estrato inferior. Na verdade, esta tipologia apresenta feições florísticas que a diferem da Floresta Ombrófila Densa, por estarem associadas com cipós, com palmeiras, com sororoca ou com bambu.

Figura 5: Cobertura Vegetal da UMF I.



### 5.3 MATERIAIS UTILIZADOS

Considerando o objetivo de viabilizar uma forma de monitoramento da cobertura vegetal que auxiliasse o processo de fiscalização da exploração madeireira em áreas de concessão, buscou-se empregar instrumentos de suporte acessíveis tanto ao produtor quanto aos órgãos estaduais e municipais. Ressalta-se que o INPE<sup>5</sup> já apresenta sistemas cujos produtos são acessíveis, porém a proposta

<sup>5</sup> Projeto PRODES (Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira Por Satélite) que produz Taxas Anuais do desflorestamento da Amazônia Legal. O DETER (Detecção do Desmatamento em Tempo Real) mapeia tanto áreas de corte raso quanto áreas em processo de desmatamento por degradação florestal. O DEGRAD que em função das indicações do crescimento da degradação florestal da Amazônia obtidas a partir dos dados do DETER. O DETEX para detecção da exploração seletiva de madeira.

executada permite uma maior autonomia e detalhamento na verificação do cumprimento dos contratos de concessão.

As imagens que estavam previstas inicialmente para uso eram as obtidas pelos satélites Landsat5 (Tabela 1) e ResourceSat IRS P6, porém pela não disponibilidade gratuitas de imagens ResourceSat IRS P6 para a data posterior a ocorrência da exploração florestal ocorrida em 2012 e também pelo término de operação do satélite Landsat5 em novembro de 2011, optou-se em adotar imagens do satélite Landsat8 (Bandas 4, 5 e 6) para realizar as análises pós-exploratórias, mantendo-se o uso das imagens Landsat5 (Bandas 3, 4 e 5) para as análises anteriores a exploração florestal.

Tabela 1: Principais características e aplicações das bandas das imagens utilizadas.

Landsat5TM	Landsat8OLI	Principais características e aplicações das bandas
3 (0,63-0,69 $\mu\text{m}$ )	4 (0,64-0,67 $\mu\text{m}$ )	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura. Permite bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação. Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4 (0,76-0,90 $\mu\text{m}$ )	5 (0,85-0,88 $\mu\text{m}$ )	A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas. Permite a identificação de áreas agrícolas.
5 (1,55-1,75 $\mu\text{m}$ )	6 (1,57-1,65 $\mu\text{m}$ )	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.

Fonte: INPE (2013).

As imagens de satélite utilizadas foram adquiridas de forma gratuita através do catalogo de imagens do INPE, para o caso das Landsat5, e da página do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS – United States Geological Survey), para o caso da imagem Landsat8.

Deste modo, para as análises antes da exploração florestal utilizou uma imagem Landsat5, sensor TM, orbita-ponto 228/62, com data de passagem em 29/10/2011, aproximadamente 1 ano antes do evento. Para as análises depois da exploração utilizou-se uma imagem Landsat8, sensor OLI, órbita-ponto 228/62, com data de passagem em 15/09/2013, aproximadamente 1 anos depois da exploração, que ocorreu no período de julho-dezembro de 2012.

Para o processamento, análise e sistematização das imagens foram necessários os seguintes softwares: Spring 5.2.1; Terraview 4.2 e ArcGIS 10.1.

As fotografias hemisféricas foram obtidas em visitas de campo a partir da acoplagem de uma câmara fotográfica a uma lente olho de peixe (*fisheye*), a qual foi posicionada abaixo do dossel e orientada para zênite.

As fotos hemisféricas foram adotadas nesta pesquisa para a obtenção da fração de abertura do dossel. Embora existam outros métodos de obtenção desta variável, tais como o ceptômetro, o analisador de área foliar, amostragem destrutiva e outros. A opção na utilização das fotos hemisféricas está intimamente ligada ao custo relativamente baixo do equipamento necessário e a obtenção de resultados que satisfaçam o objetivo da pesquisa (e a acessibilidade ao produtor ou órgão gestor de fiscalização), uma vez que ela é capaz de captar a entrada de luz na floresta permitida a partir da abertura do dossel.

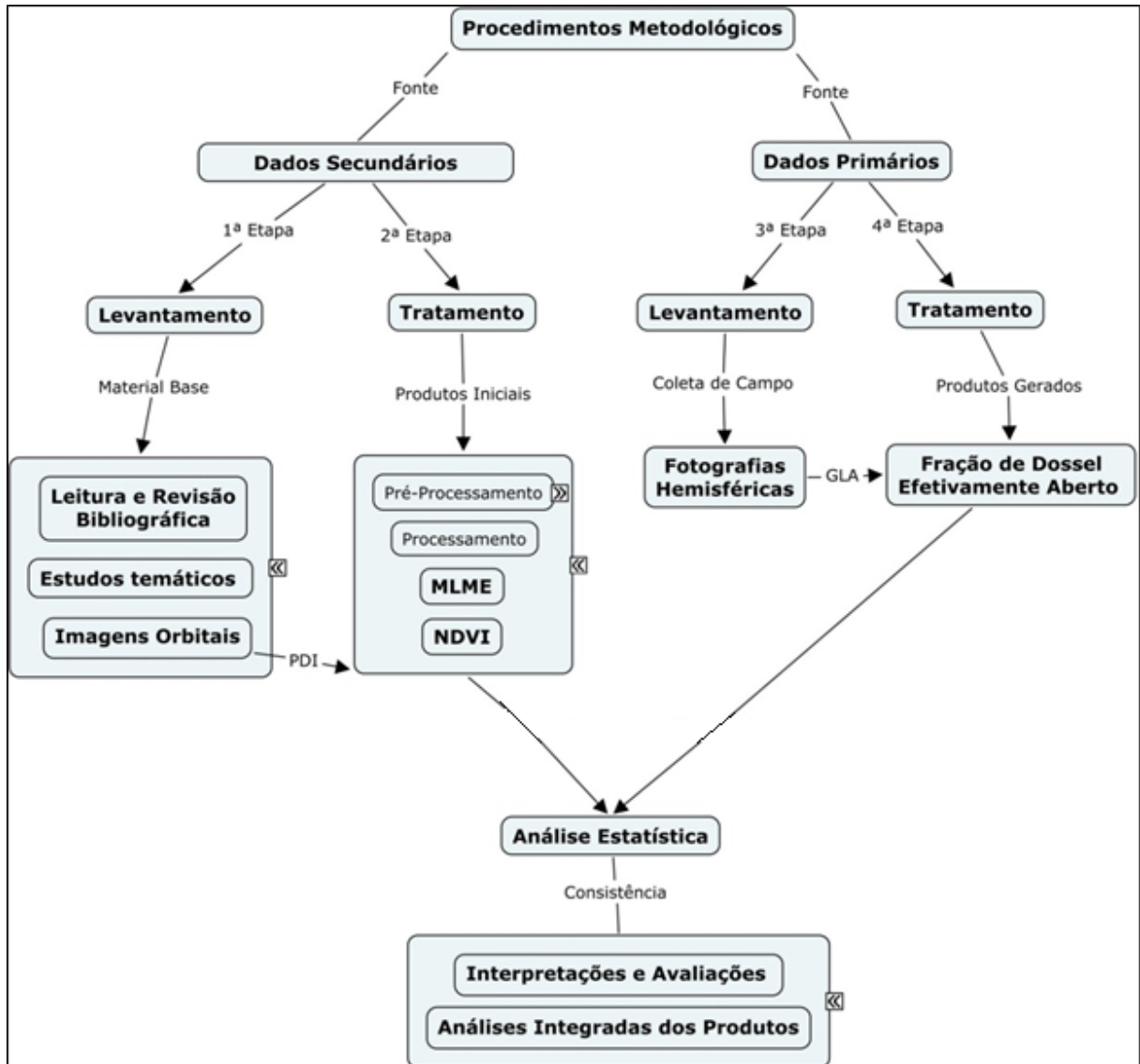
Para a aquisição, processamento e análises estatísticas das fotografias foram utilizados os seguintes equipamentos e softwares:

- Máquina fotográfica semi-profissional Sony CyberShot H7 resolução 7.2 Mp;
- Lente olho de peixe (*fisheye*) 0.20X e adaptador;
- Tripé de alumínio com plataforma nivelante que permita a altura de 1,5 m do solo;
- Bússola;
- Receptor GPS Garmin 70csx;
- Software TrackMaker 1.6;
- Software Gap Ligth Analyzer 1.0

#### 5.4 DADOS E PROCEDIMENTOS

Para auxiliar na compreensão da sistemática e da ordem dos trabalhos, apresenta-se um modelo conceitual das atividades, as quais serão detalhadas a seguir na Figura 6.

Figura 6: Modelo Conceitual



A etapa inicial teve a intenção tanto de obter informações a respeito do tema proposto, quanto de realizar o levantamento de informações necessárias para a caracterização da área de estudo e imagens de satélite. A segunda etapa caracteriza-se pela elaboração dos produtos iniciais que subsidiaram a pesquisa, em especial quanto à geração de imagens NDVI e aplicação do Modelo Linear de Mistura espectral. Uma terceira etapa é marcada pela aquisição dos dados primários, incluindo seus procedimentos de coleta e processamento para finalmente atingir a quarta etapa, na qual foram realizadas interpretações e avaliações gerais das variáveis obtidas e análise integrada dos produtos gerados, visando atingir o objetivo proposto.

### **5.4.1 Dados secundários**

#### **a) Levantamento**

Inicialmente foi realizada uma leitura e revisão da bibliografia existente, onde temas específicos relacionados ao manejo florestal e aos danos dele decorrente, à lei de gestão de florestas públicas (n. 11.284/2006) e as concessões florestais, bem como questões que envolvem grau de degradação, utilização de técnicas de processamento digital de imagens (PDI) e fotos hemisféricas foram alvos das atividades realizadas durante o primeiro momento da pesquisa, etapa bastante necessária na construção da base teórico-metodológica.

Para a caracterização da área de estudo foram obtidas de informações temáticas quanto à geologia, pedologia, hipsometria, geomorfologia, climatologia e hidrologia disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e também pelo Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM (escala 1:250.000).

Informações referentes ao uso e cobertura do solo com definições das tipologias florestais foram obtidas junto ao Instituto de Desenvolvimento Florestal do Estado do Pará – IDEFLOR, o qual para efeito do processo de concessão florestal na referida área realizou mapeamento na escala de 1:50.000 atualizado para o ano de 2011 aonde foram discriminados os tipos florestais, tipos de usos, planícies de inundação e corpos d'água.

Dados relacionados aos aspectos socioambientais, dos tramites dos processos de contratos de concessão florestal, bem como informações gerais de contextualização geográfica também foram obtidas junto ao IDEFLOR.

Quanto as imagens orbitais, do satélite Landsat5 sensor TM e do satélite Landsat8 sensor OLI, seriam escolhidas pelo menos duas para a área de estudo, uma relativa ao mês e ano imediatamente anterior ao início das atividades de exploração florestal e uma relativa ao mês e ano imediatamente posterior ao fim das atividades de exploração, resguardando a pouca ou nenhuma cobertura de nuvens nas imagens para possibilitar as devidas interpretações e análises.

A escolha de uma imagem imediatamente anterior e outra imediatamente posterior à exploração florestal, justifica-se pelo fato de que era necessário obter as estimativas de perda de vegetação decorrente da atividade madeireira referente à safra de 2012, isolando o evento temporalmente de outros que possam ocorrer independente daquele estudado.



## **b) Tratamento**

Adquiridas as imagens, estas passaram por alguns procedimentos de PDI com fins de avaliar aqueles que apresentam melhores condições de extração de informação relevante para o monitoramento florestal.

Foram realizados inicialmente procedimentos de pré-processamento das imagens, o qual tem o objetivo principal de preparar as imagens para sua efetiva utilização. Nestes procedimentos foram utilizados algoritmos que visam corrigir imperfeições geométricas e radiométricas (JENSEN, 2009).

Normalizadas as imagens, seguiu-se para a aplicação das técnicas do MLME e do NDVI, as quais geraram os produtos iniciais para a quantificação de perda de dossel na área de estudo. Foi utilizado o software TerraView 4.2.0 para a geração do MLME e obtenção das imagens fração solo, vegetação e sombra, em especial a imagem-fração solo foi usada em análises de degradação florestal.

O NDVI foi gerado no software Spring 5.0, sendo que esta transformação radiométrica foi realizada na imagem de 2011 e 2013 e seus valores de pixels foram redistribuídos para a escala de cinza de 0 a 255, como forma de facilitar a interpretação dos dados.

### **5.4.2 Dados primários**

#### **a) Levantamento**

Foi realizada no período de 13/12 a 19/12/2012 visita de campo com equipe formada por 4 técnicos do Instituto de Desenvolvimento Florestal do Estado do Pará – IDEFLOR e um técnico da empresa concessionária LN Guerra Ltda, com a finalidade de identificação e apreciação in loco do objeto estudado, com obtenção de fotografias hemisféricas em pontos amostrais de acordo com as infraestruturas construídas para a atividade de exploração florestal relevantes para o desenvolvimento da pesquisa, sejam elas: estradas secundárias, pátios de estocagem, trilhas de arraste e clareiras de derruba.

As fotografias hemisféricas foram tomadas através de uma câmera digital semi-profissional Sony CyberShot H7 acoplada a uma lente hemisférica “olho de peixe”, respeitando os horários propícios de coleta, sendo eles 1 (uma) hora depois do amanhecer e 1(uma) hora antes do entardecer para evitar a incidência direta de

iluminação na clareira, o que poderia provocar a superestimação da abertura do dossel nas fotos e conseqüentemente uma discrepância com a realidade (GIUNTI NETO, 2007; MONTEIRO; SOUZA, 2009).

Para garantir que as fotografias fossem tomadas com a câmera nivelada na horizontal e perpendicularmente ao zênite foi utilizado um tripé de alumínio com plataforma nivelante capaz de atingir uma altura de aproximadamente 1,5 do solo para tomadas das fotos.

Foi utilizada uma bússola com a finalidade de orientar a parte superior da câmera sempre para o norte magnético, e conseqüentemente também as fotografias tomadas. Adicionalmente também foi utilizado um receptor GPS tipo navegação para garantir que todos os pontos de tomada das fotos hemisféricas tivessem sua identificação e localização exatas registradas para as futuras análises espaciais.

Foram tomadas fotografias em pátios de estocagem, estradas secundárias, trilhas de arraste, clareiras de derruba e em área não explorada (controle), na mesma oportunidade também foram realizadas medidas à trena no solo da área impactada pela atividade florestal. Os procedimentos de coletas das fotos, medidas a trena e percentual amostral aleatório estão sinteticamente apresentados na Tabela 2.

## **b) Tratamento**

A medida do percentual de dossel aberto pelas atividades do manejo florestal foi obtida pela análise através no software *Gap Light Analyzer – GLA 2.0*, onde foram processadas as fotografias obtidas em campo para a geração da imagem binária (preto e branco) e quantificação de fração de abertura de dossel.

Foi identificada a média de fração de abertura de dossel para cada feição analisada (pátios, estradas, trilhas de arraste, clareiras), para obtenção da fração de dossel aberto pela atividade de exploração florestal.

Obtidas as estimativas de fração de abertura de dossel, os índices de vegetação (NDVI) e a fração solo (MLME), foram realizados procedimentos estatísticos das diferentes variáveis com o objetivo de investigar a aderência na variação dos mesmos, podendo associá-los fortemente com a abertura de dossel decorrente da exploração florestal na área de estudo.

Tabela 2: Procedimento de coleta de campo.

Feição	Amostra	Procedimentos de medidas	
		Trena	Fotografia Hemisférica
Estradas Secundárias	10% do número total	1 transecto de 100 metros com medições da largura a cada 10 metros.	<p>Transecto em Estradas Secundárias (100 m)</p>
Trilhas de Arraste	Mesmo número de estradas secundárias amostradas	1 transecto de 50 metros com medições da largura a cada 10 metros.	<p>Transecto em Trilhas de Arraste (50 m)</p>
Pátios de Estocagem	10% do número total	largura e comprimento	<p>Pátio</p>
Clareiras de derruba	Aleatória	largura e comprimento (elipse da clareira)	<p>Clareira</p>
Áreas não exploradas	N/A	1 transecto de 500 metros com medições da largura a cada 20 metros.	<p>Transecto em Áreas Não Exploradas (500 m)</p>

Observada a consistência dos dados obtidos pelas imagens orbitais e pelas fotografias hemisféricas quanto à abertura no dossel, foi possível construir interpretações e avaliações quanto exploração florestal, abrindo possibilidades de discussões a respeito dos danos e degradações sofridas pela floresta decorrente da atividade madeireira.

A partir da quantificação e avaliação dos impactos em dosséis florestais decorrentes da atividade do manejo florestal e observando dados da literatura existente foram geradas análises integradas dos produtos obtidos, em especial quanto à análise da paisagem em que a floresta explorada está inserida, relacionando com temas como degradação e fragmentação florestal, queimada e uso do fogo, construção de estradas de acesso, frentes de desmatamento, dentre

outros fatores que tornam complexa a discussão da atividade madeireira na Amazônia.

## 5.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### a) Medições de campo

Para cada seção de coleta, efetuou-se o registro da foto hemisférica e a medição da abertura em solo, sendo que para as estradas secundárias foram realizados 7 transectos, para as trilhas de arraste 8 transectos, para área não explorada 2 transectos, mais 24 pátios e 4 clareiras, de acordo com o delineamento específico para cada feição amostrada (Figuras 7 a 9).

Figura 7. Coleta em trilha de arraste.

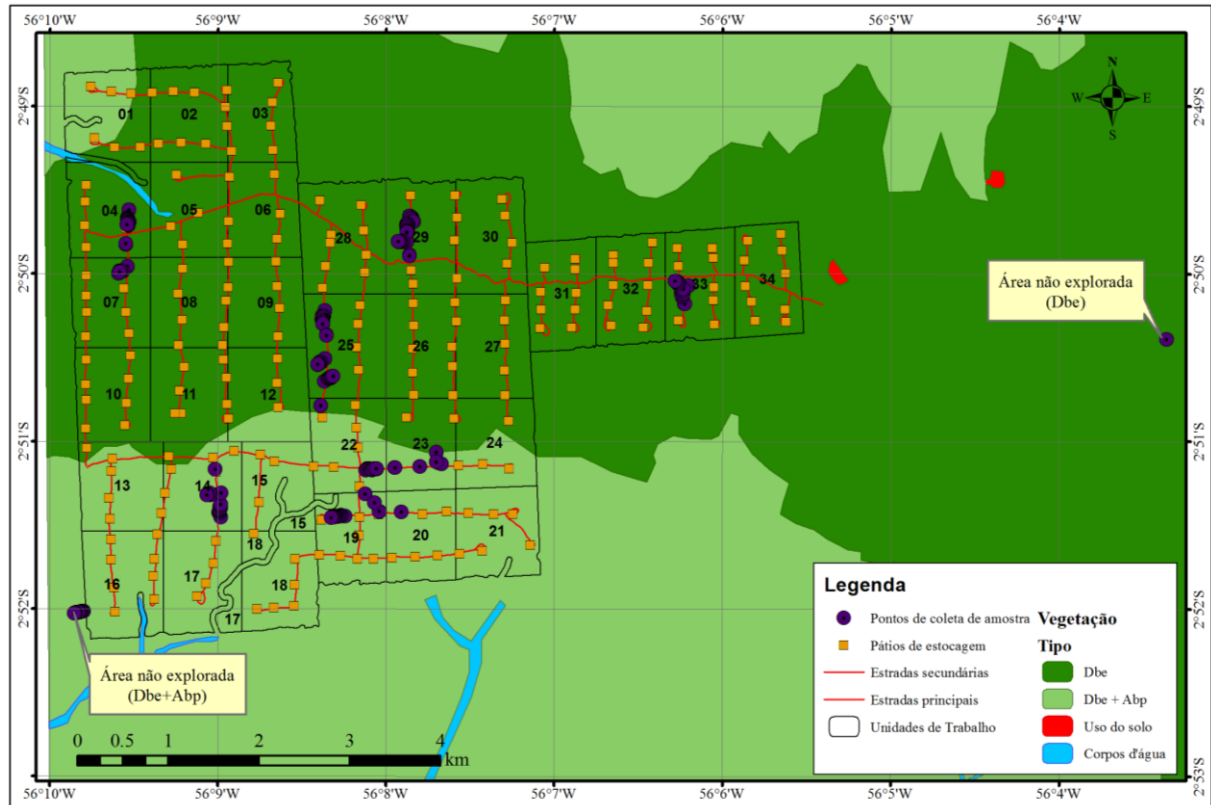


Figura 8. Coleta em pátio de estocagem.



Fonte: MORAES (2012)

Figura 9. Localização das amostras na UPA 01 da UMF 01.



Fonte: Ideflor e dados de campo (2014).

Em cada ponto da seção de coleta foi realizada uma sequência de 4 (quatro) fotos hemisféricas, em média, a fim de evitar qualquer perda de informação e assim assegurar a coleta do dado. Este procedimento foi entendido como necessário, já que uma segunda ida a campo, tempos depois para nova coleta de dados, seria comprometida pela dinâmica de regeneração da floresta que alteraria o ambiente e prejudicaria a aquisição de dados no mesmo padrão de conformidade com os da primeira coleta.

Foram realizadas no total 704 fotos hemisféricas obtidas a partir de 175 pontos de coleta, abrangendo todas as feições da exploração florestal objeto de análise. Também foram realizadas 153 pontos de medição da abertura no solo, sendo que neste caso para as amostras tomadas em área não explorada, não havia necessidade de mensuração, uma vez que a abertura decorrente da atividade de exploração florestal era inexistente.

Tabela 3. Detalhamento do quantitativo amostral levantado.

Feição	Seção Amostral	Pontos de Coleta	Foto Hemisférica	Medição no Solo
Estrada Secundária	7	77	315	77
Trilha de Arraste	8	48	189	48
Pátio de Estocagem	24	24	98	24
Clareira	4	4	17	4
Área não explorada	2	22	85	-
<b>Total</b>	<b>45</b>	<b>175</b>	<b>704</b>	<b>153</b>

Conforme as definições e delineamentos para as coletas de amostras pelas medições no solo das aberturas advindas da exploração florestal, foram realizadas as mensurações de largura das estradas secundárias e trilhas de arraste, largura e comprimento dos pátios de estocagem e semi-eixo maior e semi-eixo menor nas áreas de clareira.

As estimativas de fração de abertura de dossel foram adquiridas pelo tratamento e processamento das fotografias hemisféricas obtidas em campo, sendo utilizado para este processamento o software Gap Ligth Analyzer 2.0.

As fotos hemisféricas foram analisadas uma de cada vez, sendo que para cada foto foi informada a data de tomada e também os dados de localização, tais como latitude, longitude e altitude, além da correção do norte através da declinação magnética. Na fase de registro, foi necessário indicar na foto o ponto de início do registro (indicação do norte na imagem) e a área a ser analisada, ou seja, a área circular dentro da imagem que será analisada pelo programa para calcular a estimativa de fração de abertura de dossel.

Definidos os parâmetros de configuração e de registro das fotos, procedeu-se no cálculo das estatísticas da estrutura do dossel, sendo que no processamento propriamente dito foi utilizado um *threshold* fixo de 150, uma vez que em diversos testes realizados este foi o que melhor apresentou resultado na diferenciação de pixels brancos e pixels pretos na geração da imagem binária, necessário para a geração das estimativas de abertura de dossel.

Algumas imagens tiveram que ser descartadas, pois se apresentaram impróprias para a análise, os erros eram associados principalmente à configuração de sensibilidade (ISO) da câmera, já que superestimaram a abertura do dossel pela maior exposição de luz captada pela câmera. As imagens utilizadas nas análises foram tomadas com a câmera configurada para o modo automático a 1,50 m do solo, tomando-se o cuidado de nivelar o tripé horizontal e verticalmente,

direcionando o topo da câmera para o norte magnético, e respeitando os horários ideais, início da manhã e fim de tarde, evitando assim a luz direta.

## **b) Processamento das imagens de satélite**

Inicialmente foi realizada a correção geométrica da imagem de 15/09/2013 utilizando uma imagem Landsat5TM de 10/09/2005 ortorretificada disponibilizada gratuitamente pelo site da GLCF (Global Land Cover Facility) e para afinar a correção para a área de estudo foi utilizado um banco de dados georreferenciados da exploração, contendo a espacialização dos pátios de estocagem, estradas secundárias e trilhas de arraste coletados em campo com GPS de navegação. Sendo que as localizações dos pátios de estocagem e das estradas secundárias serviram como elementos de controle no processo de correção geométrica desta imagem.

A imagem de 29/10/2011 foi corrigida geometricamente utilizando como controle a imagem de 15/09/2013 já corrigida, tomando-se o cuidado de afinar a correção para a área de estudo, minimizando assim os possíveis deslocamentos de imagem para imagem.

Em seguida as imagens passaram por um processo de correção radiométrica, onde os números digitais (ND) de níveis de cinza de cada pixel foram convertidos para valores físicos de radiância e posteriormente de reflectância.

Obtidas as imagens reflectância, procedeu-se a normalização das duas imagens para garantir a realização de suas análises, uma vez que a data de aquisição, o tipo de sensor, o comprimento das bandas espectrais, a geometria do sensor, as condições de iluminação, a resolução radiométrica, eram diferentes entre as imagens.

Finalizada a etapa de pré-processamento, as imagens NDVI foram geradas para cada cena, de 2011 e de 2013, ou seja foram calculados os índices de vegetação para a área antes e depois de ocorrida a exploração florestal, sendo que seus valores foram redistribuídos para de 0 a 255.

A quantidade de nuvens nas imagens tanto de 2011 quanto de 2013 prejudicaram parcialmente as análises, mas não inviabilizaram a realização da mesma, nem a obtenção de resultados satisfatórios para discussão.

Quanto ao modelo linear de mistura espectral, este foi gerado apenas para a imagem do ano de 2013, já que a imagem fração objeto de análise foi apenas a “imagem-fração solo”, a qual representa a abundância de solo exposto, condição esta somente possível de análise depois de ocorrida a exploração florestal na UPA 01.

A imagem-fração solo foi gerada no software TerraView 4.2 a partir da composição colorida RGB utilizando as bandas 6,5 e 4 da imagem Landsat8, sensor OLI, sendo que estas bandas passaram por etapas de pré-processamento incluindo correção geométrica e radiométrica, além de normalização radiométrica, para somente então proceder na transformação radiométrica através do MLME.

Embora a literatura afirme (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007) que para a geração do MLME não seja necessária a correção radiométrica, já que os valores das imagens fração obtidos com a geração deste modelo seria o mesmo, independente de se utilizar os números digitais-ND ou os valores físicos de reflectância, esta pesquisa optou por utilizar as imagem corrigidas e normalizadas radiometricamente. Salientando que a imagem fração solo obtida teve seu valores distribuídos para uma escala de cinza de 0 a 255 para facilitar a interpretação dos dados.

Com fins de obter uma correspondência dos valores NDVI da imagem de 2013 dos pontos amostrados em campo de estradas, pátios, trilhas, clareiras e áreas não exploradas, criou-se um buffer de 10 metros para cada ponto amostrado com a finalidade de converter as amostras da forma de pontos para polígonos e assim torná-las mais próximas quanto a sua representação e abrangência espacial em campo. Pinagé (2013) em estudo semelhante, testou diferentes valores de buffer e concluiu que um buffer de 10 metros é o que melhor apresenta resultado para análises desta natureza.



## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 MEDIÇÕES DE CAMPO

#### 6.1.1 Abertura no solo

A partir do delineamento proposto na Tabela 2, obteve os seguintes valores de largura para as estradas secundárias e trilhas de araste.

Tabela 4. Largura das estradas secundárias e trilhas de arraste.

Feição	N Válido	Média (m)	Mínimo (m)	Máximo (m)	Desvio Padrão (m)
Estrada secundária	77	4,04	3,30	5,00	0,33
Trilha de arraste	48	3,88	3,00	4,80	0,40

As estradas secundárias apresentaram média de 4,04 metros de largura, sendo que foram identificadas amostras com limite máximo de 5,00 metros, porém o histograma de distribuição (Gráfico 1) apresentou uma baixa frequência nos valores situados no intervalo de 4,5-5,0 metros, da mesma maneira para o intervalo de 3,0-3,5 metros, demonstrando que as maiores frequências correspondem aos intervalos de 3,5-4,0 e de 4,0-4,5, corroborando para a obtenção do desvio padrão de 0,33.

As trilhas de arraste apresentaram largura média de 3,8 metros e desvio padrão de 0,40, apresentando amostras com limite máximo de 4,80 metros e mínimo de 3,0 metros, porém estes valores tiveram baixas frequências, sendo que a maior concentração de valores se deu na faixa de 3,5-4,0 metros (Gráfico 2).

Gráfico 1. Histograma estrada secundária.

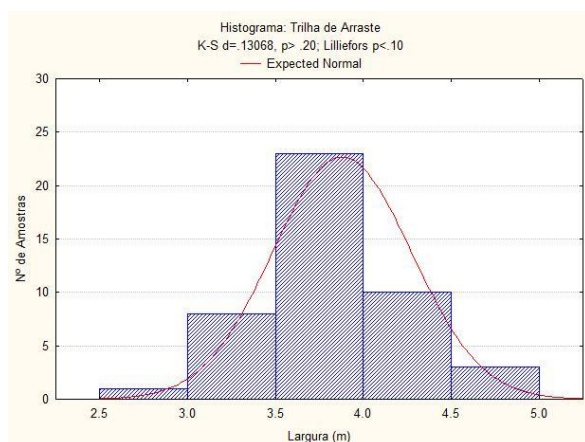
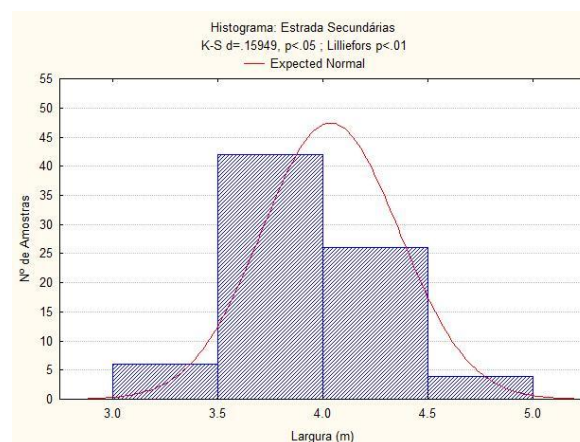


Gráfico 2. Histograma trilha de arraste.



Os valores de larguras médias obtidos das estradas secundárias e das trilhas de arraste mostram-se coerentes com o tipo de maquinário utilizado para a

execução dos mesmos, de modo que para a construção de estradas é comumente utilizado o trator do tipo esteira que possui lamina de aproximadamente 3,5 metros de largura nos modelos mais utilizados. Para as trilhas de arraste, é utilizado o trator florestal com pneus, chamado de *skidder*, sendo que os modelos mais utilizados possuem 3,0 metros de largura de roda a roda.

Os pátios de estocagem apresentaram área média de 481,96 m<sup>2</sup>, registrando uma maior frequência para o intervalo de 400-450 m<sup>2</sup> e um valor máximo amostrado de 648,00 m<sup>2</sup>, favorecendo o desvio padrão de 88,41 (Gráfico 3). As áreas de pátio de estocagem apresentam relevantes variações, isto pode está relacionado com a existência, em alguns casos, de áreas adjacentes às bordas dos pátios, onde também são estocadas toras quando o volume de madeira arrastado para o pátio é superior a sua capacidade inicialmente planejada (Tabela 5).

Tabela 5. Área dos pátios de estocagem e clareiras.

<b>Feição</b>	<b>N Validado</b>	<b>Média (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Mínimo (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Máximo (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Pátio de estocagem	24	481,96	316,16	648,00	88,41
Clareira	4	325,85	282,60	408,20	57,50

Para as áreas de clareira é necessário frisar que estas não foram consideradas foco principal desta pesquisa, uma vez que os diversos fatores relacionados ao tamanho de clareiras demandam análises mais complexas e que requerem pesquisa específica. Porém, ainda assim, esta pesquisa registrou algumas amostras nestas áreas, de modo a apenas servir de indicativo de análise e abrir possibilidades para novos estudos e pesquisas (Gráfico 4).

Gráfico 3. Histograma pátio de estocagem.

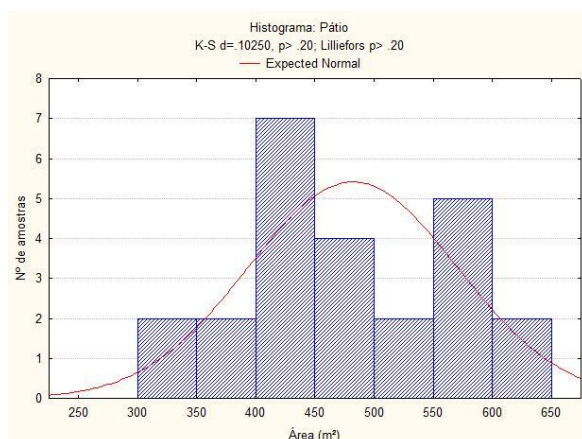
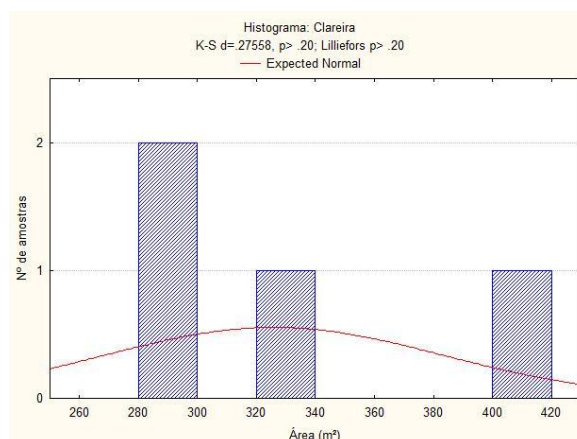


Gráfico 4. Histograma clareira.

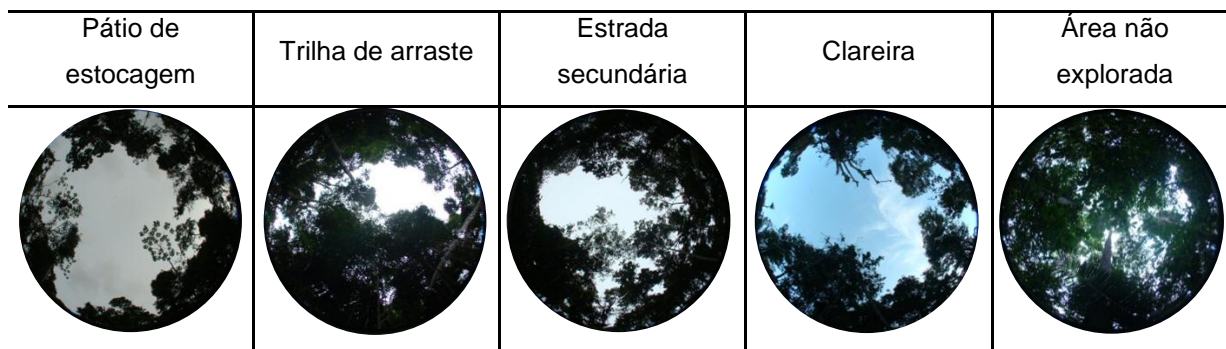


As áreas de clareiras amostradas apresentaram média de 325,85 m<sup>2</sup> e desvio padrão de 57,50, sendo que a curva de distribuição representada no histograma apresenta-se com topo baixo, refletindo a grande distribuição dos dados para os intervalos associados. Este tipo de comportamento dos dados de clareira pode estar relacionado a fatores associados ao porte da árvore abatida, tipologia florestal, tipo de solo, e outros que cabem à investigação futura.

### 6.1.2 Fração de abertura de dossel

A atividade de exploração florestal causa diferentes tipos de danos ao dossel, conforme a infraestrutura/feição analisada, enquanto os pátios de estocagem e as estradas causam tanto dano do dossel quanto no piso florestal com a retirada da vegetação e exposição do solo, nas áreas de trilhas de arraste a abertura do dossel e a exposição do solo revelam-se menores. Para as áreas de clareira o dano restringe-se quase que exclusivamente a abertura do dossel ocasionada pela derruba da árvore (Tabela 6).

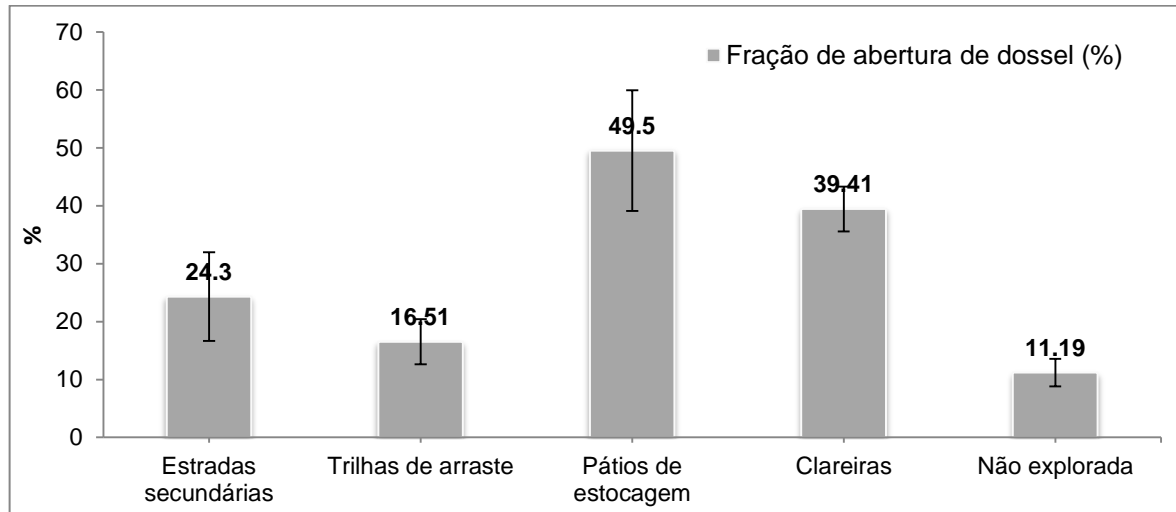
Tabela 6. Fotos hemisféricas de cada feição amostrada obtidas a 1,50 m do solo.



Fonte: MORAES, 2012

Os pátios de estocagem apresentaram maior média absoluta de fração de abertura de dossel com 49,50%, seguida das áreas de clareira que apresentaram valores médios de 39,41%, das estradas secundárias com 24,30% e por ultimo das trilhas de arraste com 16,51%. As áreas não exploradas apresentaram média de 11,19% e representam a abertura natural da floresta nativa sem ocorrência de exploração florestal (Gráfico 5).

Gráfico 5. Média, desvio padrão e valores mínimos e máximos de fração de abertura de dossel.



As feições que apresentaram maiores desvios padrão foram os pátios de estocagem com 10,42 e as estradas secundárias com 7,66, enquanto as outras feições apresentaram valores menores que 4. Esta variação pode está associada nos pátios com a área de escape eventualmente criada para armazenamento de toras, e nas estradas pelas influências de clareiras próximas.

O fato dos pátios de estocagem e as clareiras de derruba apresentarem médias mais altas quando comparadas as obtidas nas estradas secundárias e trilhas de arraste pode estar relacionado ao fator de geometria das feições analisadas. Enquanto as primeiras apresentam formas mais poligonais, tais como retangular para os pátios e elipsoidal para as clareiras, as estradas secundárias e trilhas de arraste apresentam formas mais lineares, que são mais limitadas de captura pelo mecanismo da foto hemisférica.

Nas áreas não exploradas foram realizados 2 transectos, sendo 1 em área de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas de dossel emergente (*Dbe*) e 1 em Florestas Ombrófila Densa das Terras Baixas dossel emergente mais Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras (*Dbe+Abp*). Este procedimento foi necessário já que a UPA 01, objeto de análise, possui esses dois tipos de cobertura vegetal presentes em sua caracterização florestal.

As diferenças obtidas nas médias de fração de abertura de dossel medidas nas áreas de *Dbe* e de *Dbe+Abp* não apresentaram diferenças significativas ( $p < .0500$ ), deste modo as diferenças nas tipologias florestais não revelam, para a área analisada, grandes variações na fração de abertura de dossel em áreas não exploradas (Tabela 7).

Tabela 7. T-Test para avaliação das diferenças nas médias de fração de abertura de dossel em *Dbe+Abp* e *Dbe*.

Parâmetros	<i>Dbe+Abp vs. Dbe</i>
Média ( <i>Dbe+Abp</i> )	11.4175
Média ( <i>Dbe</i> )	10.9767
t-value	1.0255
df	79
p	0.3082
Valid N <i>Dbe+Abp</i>	36
Valid Nv <i>Dbe</i>	45
Desvio Padrão ( <i>Dbe+Abp</i> )	2.6334
Desvio Padrão ( <i>Dbe</i> )	1.0578
F-ratio Variances	6.1979
p Variances	0.0000

*Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas de dossel emergente (Dbe)*

*Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras (Abp)*

*As variáveis foram tratadas como amostras independentes*

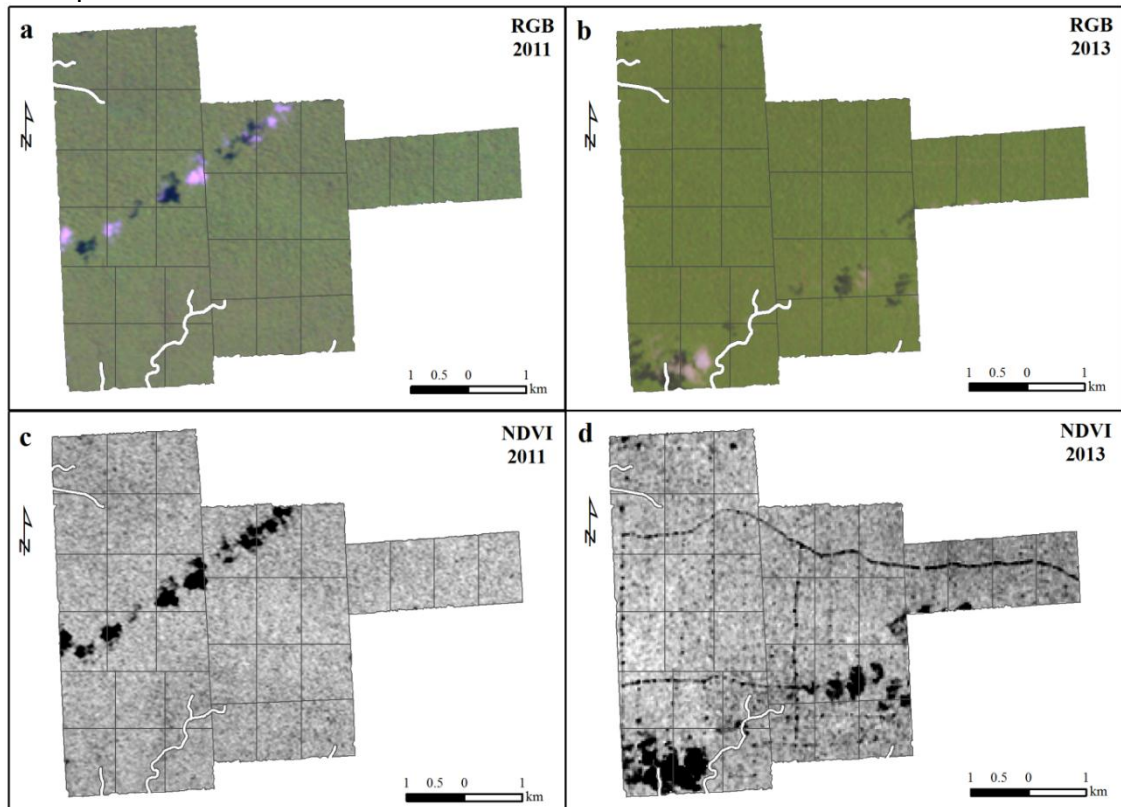
## 6.2 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DE SATÉLITE

### 6.2.1 Índice de vegetação por diferença normalizada - NDVI

O procedimento de transformação radiométrica pelo NDVI proporcionou a geração de novas imagens que permitiram realçar determinadas informações que nas imagens originais e/ou em composições coloridas RGB não se apresentavam muito visíveis. Para o caso de 2013, a imagem NDVI realçou principalmente informações de estradas e pátios de estocagem da exploração florestal, que antes pareciam pouco ou nada perceptíveis, como pode ser visualizado na Figura 10.

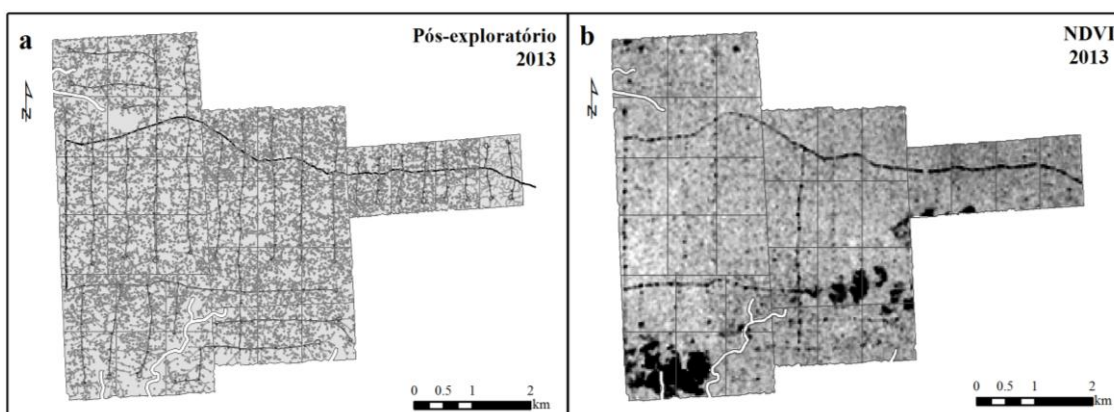
Realizando-se as análises estatísticas das imagens NDVI geradas, obteve-se que os valores médios para o ano de 2011 das áreas da UPA 01 que sofreram alteração em 2012 pela atividade de exploração florestal foram próximos de 185, ao passo que para o ano de 2013, ano posterior à exploração, os valores médios estavam próximos de 167. Estes dados demonstram uma perda de vegetação na UPA 01, revelado por uma redução nos valores de NDVI, como resultado da abertura no dossel decorrente da atividade de exploração florestal.

Figura 10. Imagens de satélite para a área da UPA 01, onde: a) composição R5G4B3 para o ano de 2011; b) composição R6G5B4 para o ano de 2013; c) NDVI para o ano de 2011; e d) NDVI para o ano de 2013.



Os pixels de tonalidade cinza mais escura, exceto aqueles oriundos da presença de nuvens e sombra de nuvens, indicam um menor índice de vegetação, por conseguinte uma menor participação/proporção de vegetação nestes pixels, provocada pela menor existência de atividade fotossintética. É possível assim constatar que estes pixels mais escuros que denotam principalmente a presença de pátios de estocagem e estradas, concordam com os dados pós-exploratórios quanto às aberturas no dossel da floresta e à disposição espacial das infraestruturas do plano de manejo executado (Figura 11).

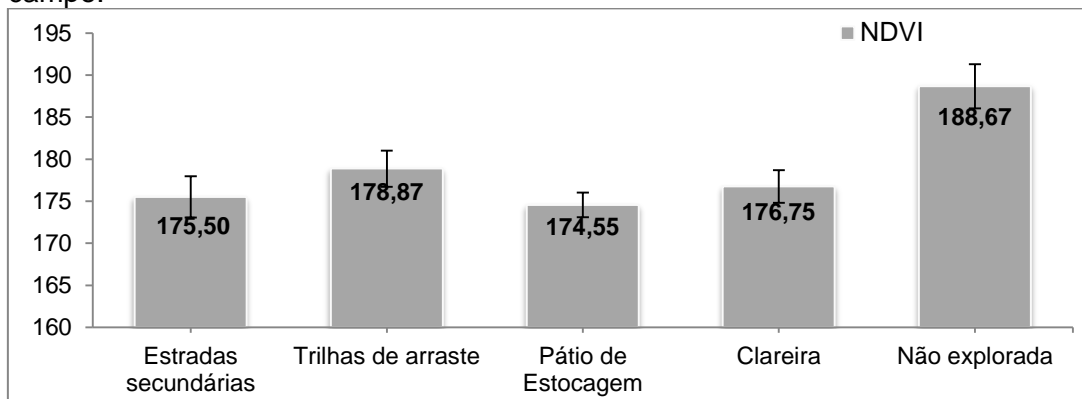
Figura 11. Pós-exploratório (a) e imagem NDVI 2013 (b).



As análises de NDVI do ano de 2013 para as áreas amostradas em campo revelaram-se coerentes com a perda de vegetação e a consequente abertura de dossel decorrente da atividade de exploração florestal, uma vez que seus respectivos valores de NDVI apresentaram-se abaixo dos valores obtidos em áreas não exploradas.

As áreas não exploradas apresentaram, como já esperado, os maiores índices de vegetação, com média de 188,67 desvio padrão de 2,62; em seguida as trilhas de arraste foram as que apresentaram segundo melhor índice de vegetação, com média de 178,87 e desvio padrão de 2,14 (Gráfico 6).

Gráfico 6. Média e desvio padrão de NDVI, ano 2013, para as feições amostradas em campo.



Para as trilhas de arraste, os índices de vegetação mostraram-se maiores quando comparados com os das outras feições amostradas advindas da exploração florestal, isto está relacionado com o fato de que para a abertura das trilhas de arraste as árvores de grande porte não são derrubadas, provocando assim menos dano no dossel florestal. Isto tem relação direta com a dificuldade de detectar através de imagens de satélite de média resolução (15-30 metros) feições desta natureza.

As áreas de clareira apresentaram índices médios de 176,75 com desvio padrão de 1,93, porém estes dados mostraram-se muito incipientes para uma análise mais consistente, seguindo apenas uma linha indicativa e sugestiva, dado os poucos pontos de amostras em campo e a limitação do sensor remoto utilizado, no que pese sua resolução espacial de 30 metros.

Ainda com relação às áreas de clareira é oportuno pontuar que nessas áreas embora ocorra um dano no dossel ocasionado pela derruba de árvores de grande porte, o impacto causado não provoca a exposição do solo, que permanece coberto por algumas árvores de sub-bosque que se mantiveram e por vegetação seca, mas que em um curto período de tempo apresentam forte regeneração. Estes fatores são importantes para entender o comportamento dos índices de vegetação nestas áreas e a não identificação deste tipo de feição nas imagens de satélite aqui utilizadas.

As estradas secundárias apresentaram índices médios de 175,50 e desvio padrão de 2,46, enquanto os pátios de estocagem tiveram média de 174,55 e desvio padrão de 1,46. Essas duas feições foram as que apresentaram menores valores de NDVI e isto está fortemente relacionado com o dano ao nível do solo, causado pela retirada da vegetação, inclusive as de grande porte, quando da construção destas infraestruturas e a consequente exposição do mesmo.



As estradas secundárias apresentam característica espacial linear e sua detecção é favorecida pela abertura causada na floresta em decorrência da retirada de vegetação, esta abertura é necessária para o tráfego de máquinas e caminhões da exploração florestal e também para permitir a entrada de luz com fins de evitar possíveis encharcamentos no solo, o que dificultaria o tráfego dos veículos e provocaria uma maior compactação do solo.

Os pátios de estocagem são mais facilmente detectáveis por conta de sua forma poligonal, onde as aberturas no dossel tornam-se bem evidentes nas imagens de satélite e favorecem a obtenção de índices de vegetação mais baixos, já que a resposta espectral da atividade fotossintética é superada pela exposição do solo.

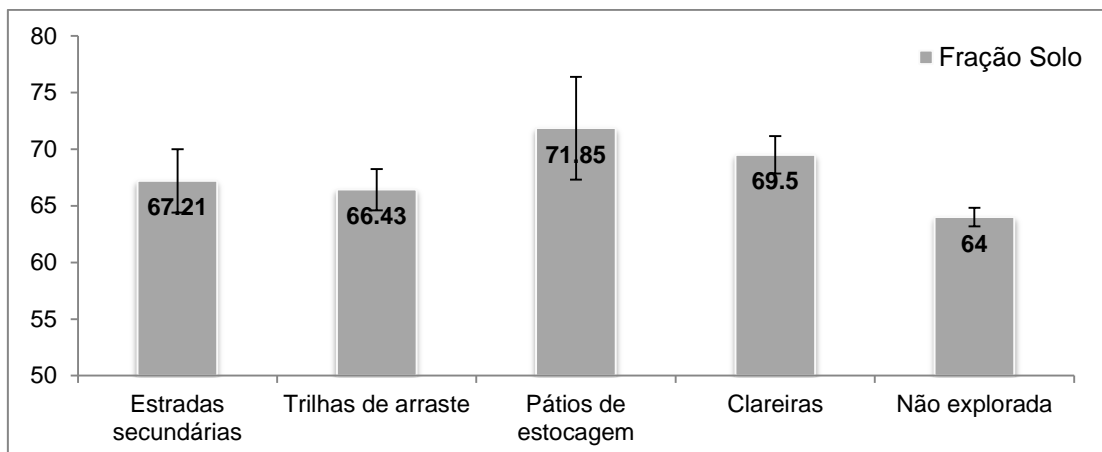
### **6.2.2 Modelo linear de mistura espectral - MLME**

Os valores de abundância de solo exposto identificados através da imagem fração solo, gerada pelo Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) mostraram-se, de maneira geral, coerentes com os dados obtidos com o levantamento de campo, em especial quanto às medições no solo para as diferentes feições (Gráfico 7).

Para as amostras de áreas não exploradas os valores médios de abundância de solo foram os menores, assim como também o menor desvio padrão, que foi de 0,82. Nesta feição a resposta do dossel florestal foi dominante, refletindo na pouca contribuição do solo exposto, já que não sofreu dano pela atividade florestal.

Os valores médios para as amostras de estradas secundárias e trilhas de arraste foram relativamente próximos, sendo que as estradas tiveram valor maior, 67,21, assim como o seu desvio padrão, que foi de 2,80, ao passo que para as trilhas de arraste a média foi de 66,43 e o desvio padrão de 1,82. Um fator que pode ter contribuído para a aproximação dos valores destas duas feições pode ser a influência das áreas de clareira nas amostras de trilha de arraste, principalmente quando este se tratar de um ramal principal.

Gráfico 7. Média e desvio padrão de fração solo, ano 2013, para as feições amostradas em campo.

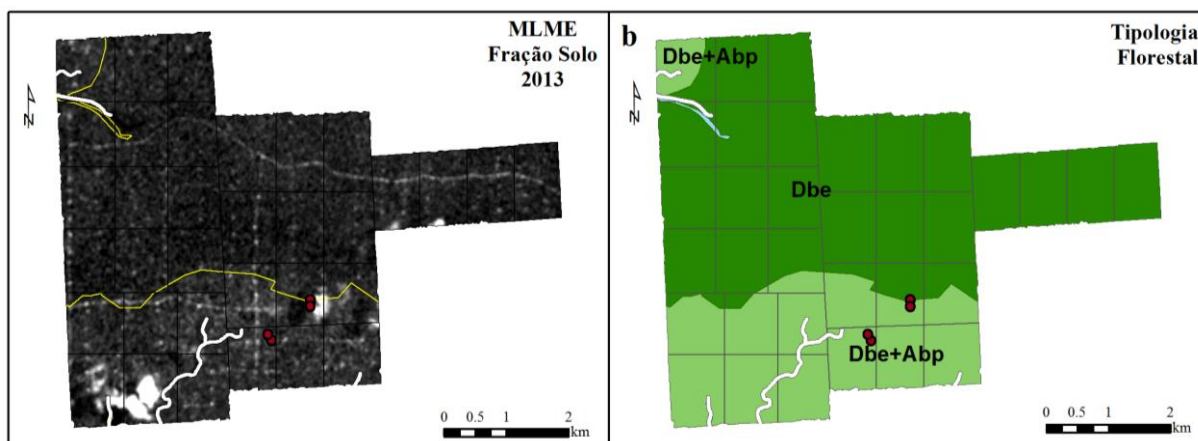


O pátio de estocagem foi a feição que apresentou a maior média de abundância de solo exposto para as áreas amostradas, assim como o maior desvio padrão, sendo este de 4,54. A forma poligonal e a retirada de vegetação para sua construção tornam o pátio de estocagem a feição de mais fácil detecção remota da exploração florestal, favorecida principalmente pela resposta espectral do solo que foi exposto pela atividade.

Conforme os dados da imagem fração solo, as clareiras amostradas apresentaram um desvio padrão de 1,66 e tiveram valores médios de abundância de solo superiores aos verificados para as estradas secundárias e trilhas de arraste. Cabe pontuar que as áreas de clareiras amostradas em campo e para as quais foram obtidos os valores médios de abundância de solo, estavam unicamente localizadas em área de floresta do tipo Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas dossel emergente mais Floresta Ombrófila Aberta com palmeiras (Dbe+Abp). (Figura 12)

A tipologia florestal Dbe+Abp é marcada por árvores de grande porte bastante dispersas, com frequentes agrupamentos de palmeiras e enorme quantidade de cipós, o que possivelmente torna este tipo de floresta mais suscetível aos danos decorrentes da atividade florestal, registrando assim uma maior abertura do dossel e consequente maior exposição do solo.

Figura 12. Localização das clareiras amostradas em campo em relação a imagem fração solo (a) e a tipologia florestal da UPA 01 (b)



Pode ser verificado através da imagem fração solo (figura 7.5.a) que nas áreas de floresta tipo Dbe+Abp os valores de abundância de solo apresentam-se ligeiramente maiores (cinza mais claro) que em áreas de floresta do tipo Dbe (cinza mais escuro), sugerindo uma maior exposição do solo.

### 6.3 OS IMPACTOS PELA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA E A GOVERNANÇA PARA CONSERVAÇÃO DAS FLORESTAS

Os dados obtidos tanto em campo, quanto pelas imagens de satélite permitiram quantificar as características dessas aberturas nos diferentes tipos de feições, principalmente quanto ao dossel, já que foram trabalhados dados de fração de abertura de dossel (foto hemisférica), índice de vegetação (NDVI) e abundância de solo (MLME).

Estas variáveis estão todas relacionadas à vegetação aérea que compõem os dosséis florestais, que quanto maior sua presença, mais denso será este dossel e menor será a fração de radiação solar que atingirá o solo, garantindo que a temperatura permaneça baixa e a umidade relativa do ar permaneça alta, já que pouca luz penetra no interior da floresta.

Os métodos utilizados nesta pesquisa para quantificação de abertura de dossel utilizaram como princípio a interação da radiação solar com a floresta. A fotografia hemisférica quantificou a fração do dossel, em porcentagem, em que foi possível ver o céu por conta da entrada de luz solar.

Os valores obtidos pelo processamento NDVI geraram valores que representaram o comportamento da vegetação pela sua atividade fotossintética e pela disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), de modo que,

quanto maiores os valores obtidos, mais sadia e fotossintética estava a vegetação analisada (MONTEIRO *et al*, 2003; MONTEIRO *et al*, 2007).

Quanto à imagem-fração solo gerada pelo MLME, esta expressou os valores de abundância de solo, sendo que quanto maiores os valores obtidos, maior a exposição do solo à radiação solar e conseqüentemente, menor a cobertura florestal e mais aberto foi o dossel (MONTEIRO *et al*, 2009).

De maneira geral os valores obtidos mostraram-se coerentes para quantificação de cada uma das feições analisadas, permitindo inferir qual feição está associada a uma maior ou menor abertura no dossel e exposição do solo, conforme sua natureza, forma espacial e impacto causado.

A Tabela 8 apresenta as médias obtidas para cada feição amostrada a partir dos diferentes métodos adotados, nela percebe-se que o pátio de estocagem é a feição cujos valores evidenciam uma maior abertura, isto se comprova pelos maiores valores obtidos na fração de abertura de dossel e na abundância de solo (MLME), assim como nas medidas de abertura no solo para o cálculo da área. Como houve a retirada de vegetação para sua construção, os valores NDVI manifestaram-se conseqüentemente como o menor de todos.

Tabela 8. Médias de fração de abertura de dossel (foto hemisférica), imagem-fração-solo (MLME), NDVI e medidas no solo (área e largura) para cada feição amostrada.

Feição	Fração de abertura de dossel (%)	Imagem-fração solo-MLME	NDVI	Área (m <sup>2</sup> )	Largura (m)
Área não explorada	11,19	64,00	188,67	-	-
Trilhas de arraste	19,34	66,43	178,87	-	3,88
Estradas secundárias	29,58	67,21	175,50	-	4,04
Clareira	49,18	69,50	176,75	325,85	-
Pátio de Estocagem	61,9	71,85	174,55	481,96	-

Os valores para as trilhas de arraste refletiram as menores aberturas que esta feição causa à floresta, isto está diretamente relacionado ao impacto causado mais ao nível de sub-bosque da floresta do que em relação ao seu dossel, uma vez que não são derrubadas árvores de grande porte. Esta característica manifesta-se nos baixos valores de fração de abertura de dossel e abundância de solo, enquanto que no de NDVI, mostra-se o mais próximo do valor para área não explorada.

É possível estabelecer, em linhas gerais, uma ordem para as feições estudadas conforme os valores de abertura de dossel obtidos, de modo que

ordenando da maior para a menor abertura, tem-se: 1º) pátio de estocagem, 2º) clareira, 3º) estradas secundárias, 4º) trilha de arraste e, por fim, 5º) área não explorada.

Cabe ainda observar que a relação entre a fração de abertura de dossel e a imagem-fração solo do MLME possui uma natureza diretamente proporcional, pois quanto maior a abertura do dossel, maior a exposição do solo. Diferente do que ocorre com relação ao NDVI, onde a relação é inversamente proporcional, quanto maior a abertura no dossel, menor o NDVI (Gráficos 8 e 9).

Gráfico 8. Relação Fração de abertura de dossel vs. Imagem-fração solo.

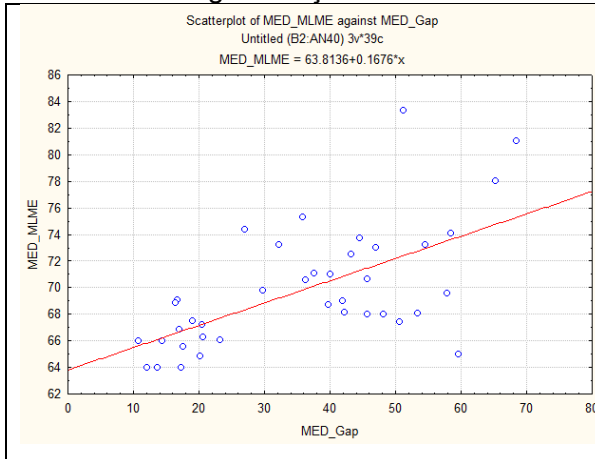
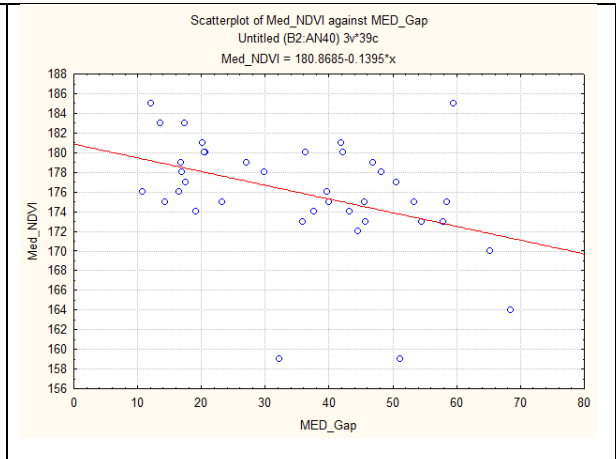


Gráfico 9. Relação Fração de abertura de dossel vs. NDVI.



Onde:

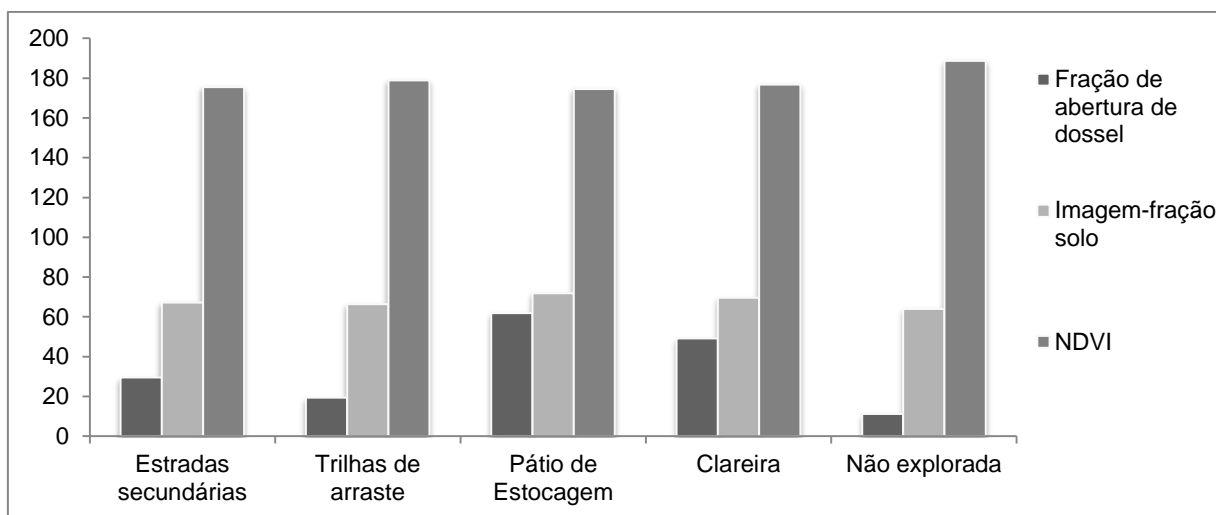
MED\_Gap= Fração de abertura de dossel;

MED\_MLME= Imagem-fração solo;

Med\_NDVI= NDVI.

A escala de variação dos valores obtidos para cada um dos métodos utilizados é bastante distinta, conforme pode ser observado pelo Gráfico 10, sendo que a fração de abertura de dossel é a variável que apresenta a maior amplitude, com 50,71, seguida pelo NDVI com 14,12 e então pela imagem-fração solo com 7,85 de amplitude.

Gráfico 10. Valores de abertura de dossel para cada feição amostrada conforme o método utilizado.



Embora a imagem-fração solo seja a variável que apresenta a menor amplitude, há evidências de que esta possua uma forte relação de covariância com a fração de abertura de dossel ( $p= 0,006876$ ), que possui a maior amplitude, porém quanto ao NDVI, a relação de covariância para os dados amostrados não se mostrou representativa ( $p>0,05$ ). Assim, esta análise sugere que a fração de abertura de dossel possui uma maior e mais significativa aderência com os valores da imagem-fração solo do que com os valores de NDVI (Tabela 9).

Tabela 9. Análise de covariância para fração de abertura de dossel, imagem-fração solo e NDVI.

Effect	Univariate Results for Each DV (Untitled (B2:AN40)) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	Degr. Of freedom	Gap SS	Gap MS	Gap F	Gap p
Intercept	1	1102,09	1102,089	5,854978	0,023841
MLME	1	1658,99	1658,993	8,813596	0,006876
NDVI	14	2160,15	154,297	0,819719	0,642909
Error	23	4329,32	188,231		
Total	38	10502,22			

Onde:

Gap= Fração de abertura de dossel;

MLME= Imagem-fração solo.

Esta maior aderência dos valores de fração de abertura de dossel com a imagem-fração solo pode estar relacionada com a característica do processamento digital de MLME, que decompõem em imagens-fração os componentes misturados da paisagem (vegetação, solo e sombra) que dividem a resposta espectral para um mesmo pixel da imagem. No caso da imagem-fração solo, somente os valores de

abundância de solo presentes em cada pixel da imagem original foi gerado (SOUZA *et al*, 2005; PONZONI; SHIMABUKURO, 2007; PANTOJA, 2010).

Neste sentido, o modelo linear de mistura espectral, em especial a imagem-fração solo, mostrou-se válido para detectar a exploração madeireira através de imagens de satélite com resolução espacial moderada (30 m), assim como possibilita obter uma melhor aproximação quanto aos impactos causados à floresta em decorrência da atividade madeireira.

A possibilidade de avaliar os impactos decorrentes das atividades de exploração madeireira, através de imagens de satélite de média resolução espacial e obtidas de forma gratuita, pode proporcionar uma melhor aplicação das leis ambientais, através de ações de monitoramento e fiscalização pelo governo, principalmente para as prefeituras municipais, que carecem de um aporte técnico e tecnológico mais eficaz.

Possibilita ainda melhor acompanhamento dos processos de mudança de uso do solo na Amazônia, uma vez que estes não estão resumidos à simples lógica de conversão da floresta em solo exposto pelo desmatamento associado ao agronegócio, existe uma gama de outros fatores que estão associados à exploração madeireira, degradação e fragmentação florestal, abertura de estradas, queimadas e uso do fogo, que tornam estes processos bem mais complexos (VERÍSSIMO *et al*, 2002; SCHULZE; ZWEEDE, 2006; TRANCOSO *et al*, 2009).

As estimativas de abertura de dossel associadas à atividade de exploração madeireira, revelam fortemente a interferência e distúrbios causados a floresta em decorrência da atividade, que fragmenta o dossel foliar, permitindo que uma grande quantidade de luz solar penetre no interior da floresta, alterando seu microclima, em particular pelo aumento de temperatura e redução da umidade relativa do ar, sua dinâmica de regeneração, a ciclagem de nutrientes, revelando desta forma nuances da degradação florestal (FONSECA, 2009; GRIGORYAN *et al*, 2010; LIU *et al*, 2012).

Outro ponto está associado a grande quantidade de material seco que fica disponível no piso da floresta após a atividade, funcionando como combustível orgânico. Quanto maior a intensidade de exploração, maior as áreas de clareira e maior a quantidade de combustível orgânico disponível no solo, favorecendo os eventos de queimada já que o ambiente florestal está mais seco (MARTINS *et al*, 1988; MONTEIRO *et al*, 2004).

A fragmentação e os efeitos de borda influenciam positivamente a frente de pressão do desmatamento sobre áreas florestadas, da mesma forma que agravam a situação de susceptibilidade ao fogo das florestas exploradas ou não (GERWING; VIDAL, 2002). A fragmentação aumenta os efeitos de borda, associados aos colapsos de biomassa, penetração de vento e luz, deixando as florestas ao longo das bordas mais susceptíveis ao fogo (COCHRANE *et al*, 2005). Assim, áreas de florestas exploradas que estão em contexto de fragmentação florestal estão ainda mais susceptíveis ao fogo, uma vez que facilitam sua penetração nas áreas remanescentes da floresta.

As aberturas de estradas para acessar as áreas remotas de florestas com potencial madeireiro funcionam também como um vetor para o desmatamento e o fogo, já que passa a permitir o acesso de pessoas onde antes não era possível, gerando o interesse por novas áreas “produtivas” (FERREIRA *et al*, 2005; PEREIRA *et al*, 2010).

As interações entre a exploração madeireira e o fogo, associadas à fragmentação florestal e seu efeito de borda, decorrentes das frentes de desmatamento, criam uma densidade de processos envolvendo a floresta e as mudanças de uso da terra de modo que, uma análise da paisagem, observando as atividades de entorno, é fundamental para as estratégias de conservação da floresta amazônica.

Considerar a Amazônia como a maior reserva de madeira tropical do mundo (UHL *et al*, 1997 *apud* NEPSTAD *et al*, 2005) requer estabelecer discussões que estão para além da simples disponibilidade ou não do recurso florestal. Deve-se entender o cenário internacional de produção de madeira, a dinâmica de ocupação da Amazônia, os modelos e técnicas de exploração utilizadas, a legalidade, a propriedade da terra, as pressões e taxas de desmatamento, as dinâmicas de mercado, a agregação de valor e a indústria madeireira, a certificação florestal, a oferta de mão-de-obra, os conflitos com comunidades tradicionais, enfim, uma gama de tantos outros fatores que estão associados à atividade madeireira na Amazônia.

Esta complexa conjuntura está vinculada a diferentes atores sociais que possuem os mais variados interesses, passando por madeiros, empresários do setor de agronegócios, especuladores de terra, comunidades tradicionais, pequenos produtores rurais, compradores de madeira, e claro, o próprio Estado, enquanto instância reguladora que busca através da governança defender os interesses



públicos nas florestas da Amazônia (RIBEIRO; CASTRO, 2008; SCHULZE *et al*, 2008; SANTOS *et al*, 2009).

O Estado, através da promoção de políticas públicas, necessita criar condições de desenvolvimento econômico para a região, levando em consideração seu potencial florestal, ao mesmo tempo em que precisa, através de mecanismos de comando e controle, coibir práticas degradantes ao meio ambiente que afetam a conservação e sustentabilidade da floresta.

É neste cenário que as ações de monitoramento e fiscalização de atividades ambientais, como a exploração madeireira, tornam-se importantes, porém muitas vezes o alcance destas ações em campo são limitadas pelas condições de acesso, distância e até mesmo recurso financeiros e humanos. A utilização de imagens de satélite pode proporcionar um monitoramento remoto destas atividades, principalmente através das estimativas geradas pelo modelo linear de mistura espectral – MLME, em particular através da imagem-fração solo, conforme esta pesquisa apontou.

A preocupação com a floresta amazônica não está somente ligada à conversão da floresta em corte raso pela pressão do desmatamento, também está associada ao uso sustentável da floresta para exploração de madeira, que é uma atividade que precisa ser melhor monitorada.

Esta pesquisa demonstrou que é possível através de imagens de satélite de média resolução espacial distribuídas gratuitamente, obter estimativas de abertura de dossel em área de floresta explorada, que podem servir como alerta para entidades governamentais, principalmente aquelas de pequena escala como as prefeituras municipais que geralmente são escassas de recursos financeiros, humanos e tecnológicos, mas que através de imagens e softwares gratuitos podem ser capazes de monitorar e fiscalizar suas florestas.

As ações de monitoramento e fiscalização mais atuantes e eficientes tendem a reduzir as práticas pouco sustentáveis de uso da floresta, em particular exploração madeireira de alto impacto e o desmatamento, bem como a ilegalidade associada a estas atividades.

As únicas maneiras de ofertar madeira legal no mercado são através da aprovação de plano de manejo florestal sustentável (PMFS) e da autorização de desmatamento (referente aos 20% da propriedade conforme o código florestal) emitidos pelos órgãos ambientais competentes. Acontece que, ainda um grande

volume de madeira disponibilizado no mercado tem origem ilegal e estão assentadas em práticas corruptas, como a falsificação de guia de transporte florestal, e que espacialmente estão sendo extraídas de áreas que não foram autorizadas (NEPSTAD *et al*, 2005).

A possibilidade de acesso às grandes áreas de florestas públicas através do sistema de concessões permite ao setor madeireiro que dinamize a economia pela maior oferta de madeira legal no mercado, podendo ainda agregar valor aos seus produtos pela certificação florestal, haja vista a constituição de um mercado consumidor cada vez mais exigente quanto à origem da madeira, fazendo frente assim à madeira ilegal, ao tempo em que a sustentabilidade da floresta e os direitos das comunidades tradicionais são resguardados.

#### 6.4 ESTOQUES DE CARBONO E EXPLORAÇÃO MADEIREIRA

Os cenários apresentados nos quatro relatórios de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC (IPCC FAR/1990, IPCC SAR/1996, IPCC TAR/2001, IPCC AR4/2007) mostram que a tendência de mudanças climáticas é significativamente provável, esta afirmação apresenta-se mais evidente em seu último relatório (IPCC AR4), o qual aponta ser muito possível que o aumento observado nas concentrações antrópicas de gases de efeito estufa seja o responsável pela maior parte do aumento observado nas temperaturas globais médias desde meados do século XX. Neste sentido, o modelo de desenvolvimento, considerado como não sustentável, configura-se como a principal causa das mudanças climáticas e ainda, as formas de desenvolvimento serão determinantes no grau de vulnerabilidade dos sistemas sociais a essas mudanças. (BRASIL, 2008)

As medidas de mitigação surgem como elemento de destaque na construção de cenários futuros toleráveis no ponto de vista de aumento de temperatura. Uma série de políticas, em especial quanto a mudança do clima, segurança na oferta de energia e desenvolvimento sustentável, têm sido eficaz na redução das emissões de gases de efeito estufa em diferentes setores e em muitos países. (BRASIL, 2008).

Neste sentido, a adoção de políticas públicas ambientais e a gestão de recursos naturais se fazem necessárias por parte do Estado, que diante da pressão das mudanças climáticas e do uso inevitável dos recursos naturais lançam mão de

instrumentos de gestão buscando conciliar a perspectiva de conservação com o uso sustentável. No Brasil, o Governo Federal vem adotando medidas regulatórias e também econômicas como forma de conter a degradação florestal, como é o caso da Reforma do Código Florestal (Lei 12.651/2012) e da Lei de Gestão de Florestas Públicas (Lei 11.284/2006).

De maneira geral, a exploração madeireira pode resultar em perdas ou benefícios líquidos de carbono em função da atividade que se deseja evitar: floresta não explorada, exploração insustentável de madeira ou desmatamento; assim como em função das técnicas utilizadas no manejo florestal e da biomassa da floresta, uma vez que 48,5% da biomassa seca de uma árvore é carbono (VIANNA, 2011).

No âmbito das concessões florestais, onde a atividade madeireira se realiza principalmente nas florestas tropicais amazônicas, estudar os impactos da atividade florestal, em especial a abertura de dossel, se torna importante para avaliar se há perda ou benefícios de carbono, assim como a sustentabilidade do uso do recurso florestal.

De acordo com Asner *et al* (2005), na Amazônia brasileira são liberadas para atmosfera 0,08 Gt<sup>6</sup> de carbono por ano, decorrente da exploração madeireira. Baseado nesses dados, fazendo-se uma relação com a floresta não explorada, o manejo florestal sustentável representa perda líquida de carbono, no entanto, se comparado com outras formas de uso do solo na Amazônia, tais como a exploração madeira predatória e o desmatamento, o manejo florestal resultaria em ganhos líquidos (FEARNSIDE, 1995).

Tanto as perdas iniciais de carbono, quanto as taxas de regeneração da floresta depois da exploração madeireira estão diretamente relacionadas com a intensidade da extração de madeira, produzindo impactos na fração da abertura do dossel, fragmentação e aumento de luz no ambiente florestal. A maior parte das perdas de carbono para o ecossistema ocorre de imediato ou num período de tempo de 1 ano após a exploração madeireira, já a perda do carbono do ecossistema para a atmosfera, em particular para as florestas quentes e úmidas da Amazônia, o tempo de vida médio dos resíduos de madeira é de 5 a 7 anos (ASNER *et al*, 2009).

A abertura de dossel decorrente da exploração madeireira traz efeitos imediatos quanto à disponibilidade e interceptação da radiação fotossinteticamente

---

<sup>6</sup> Gigatoneladas = 109 toneladas

ativa, fluxos de calor sensível e latente, estresse hídrico e produtividade da floresta, neste sentido, as taxas de regeneração da floresta e o consequente sequestro de carbono podem estar relacionados ao tamanho, número e arranjos espaciais das aberturas de dossel (PEREIRA et al, 2002).

Keller et al, (2005) apontou que a regeneração da floresta está associada a fatores decorrentes da disponibilidade de luz, consequentemente pela fração de abertura de dossel, e pela eficiência dos dosséis em utilizar essa luz disponível, sendo que as taxas de sequestro de carbono tendem a ser maiores em áreas com maior abertura de dossel e portanto maiores volumes de madeiras extraídos, porém são áreas onde também ocorrerá maiores perdas de carbono pela decomposição.

No entanto cabe ponderar que as áreas com maiores frações de abertura de dossel, embora apresentem inicialmente maiores taxas de sequestro de carbono, dadas suas altas taxas de regeneração quando comparadas com outras áreas com menor disponibilidade e aproveitamento de luz, são áreas que apresentam tipologia florestal de regeneração diferente da condição anterior da floresta (intacta), uma vez que, nessas condições, as espécies pioneiras são favorecidas na composição florestas das clareiras, o que em longo prazo tornaria a floresta pobre e diferente de sua estrutura anterior, prejudicando a conservação da biodiversidade e a continuidade produtiva da floresta.

Portanto, o uso de técnicas sustentáveis que diminuam os impactos causados pela exploração madeireira, em especial a abertura no dossel, pode permitir a redução de 32% das emissões em relação às emissões decorrentes da exploração convencional e propiciar uma menor alteração da estrutura populacional das florestas amazônicas, favorecendo a conservação da biodiversidade, a menor degradação do ecossistema florestal e a rentabilidade da produção madeireira para os ciclos atuais e futuros (VIANNA, 2011).

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fração de abertura de dossel obtida a partir das fotografias hemisféricas foi considerada como a variável controle na quantificação da abertura de dossel na área de concessão florestal estudada, sendo que foram estabelecidas análises para verificar a aderência em relação a esta variável, de valores obtidos através do processamento digital de imagens, ou quais sejam, o NDVI e o MLME, em especial a imagem-fração solo.

Na análise de covariância realizada, a imagem-fração solo apresentou melhor aderência, quando comparado com os valores de NDVI, podendo-se considerar que a imagem-fração solo mostrou-se mais representativa, quanto aos seus valores gerados, na obtenção de uma melhor aproximação na quantificação e avaliação da abertura de dossel florestal decorrente da atividade madeireira.

A feição que apresentou menor abertura de dossel foi a trilha de arraste, ao passo que o pátio de estocagem foi a feição que apresentou maior abertura, revelada pela obtenção dos maiores índices em todos os métodos utilizados.

A retirada da vegetação, inclusive a de grande porte, provoca uma maior abertura no dossel e a conseqüente exposição do solo, e não por acaso, o pátio de estocagem, junto com as estradas, são as feições que podem ser detectadas visualmente nas imagens de satélite.

Monitorar a cobertura florestal amazônica, em especial quanto a degradação decorrente da atividade madeireira, pode proporcionar maiores avanços na batalha pela conservação e sustentabilidade das florestas, já que utilizando softwares e imagens gratuitas é possível acompanhar remotamente explorações madeireiras ilegais, assim como aquelas geradoras de alto impacto para a floresta, que refletem em maiores aberturas no dossel.

Ao tempo que a utilização de ferramentas como as imagens de satélite proporcionam um melhor monitoramento e fiscalização das atividades ambientais, em particular a exploração madeireira e o desmatamento, coibindo a produção de madeira ilegal na Amazônia, as concessões florestais assumem importância na conservação e sustentabilidade das florestas, pois se coloca como uma iniciativa governamental para regular e ordenar a exploração madeireira em áreas de florestas públicas, fazendo frente ao desmatamento e aumentando a oferta de madeira legal no mercado.

## REFERENCIAS

- AMARAL, P.; VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; VIDAL, E. **Floresta para sempre: um manual para a produção de madeira na Amazônia**. Belém: Imazon. WWF and USAID, 1998, 130 p.
- ARAÚJO, E. L. S. **Avaliação dos impactos da colheita de madeira em floresta de terra firme no município de Breu Branco – PA**. 2009. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2009.
- ASNER, G. P.; KELLER, M.; PEREIRA R.; ZWEEDE J. C. Remote sensing of selective logging in Amazonia Assessing limitations based on detailed field observations , Landsat ETM + , and textural analysis. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, p. 483-496, 2002.
- ASNER, G. P.; KELLER, M.; SILVA, J. N. M. Spatial and temporal dynamics of forest canopy gaps following selective logging in the eastern Amazon. **Global Change Biology**, v. 10, n. 5, p. 765-783, 2004.
- ASNER, G.P.; KNAPP, D.E.; BROADBENT, E.N.; OLIVEIRA, P.J.C.; KELLER, M.; SILVA, J.N.. 2005. Selective Logging in the Brazilian Amazon. **Science**, 310 (5747): 480-482.
- ASNER, G. P.; KELLER, M.; LENTINI, M.; MERRY, F.; SOUZA Jr, C.. Selective Logging and Its Relation to Deforestation. **Amazonia and Global Change**. Washington, D. C.: American Geophysical Union, 2009. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/GM186>>. Acesso em: 25/05/2014.
- BAITZ, W.; PEREIRA, D.; LENTINI, M. O setor madeireiro da Amazônia brasileira. In: BENSUSAN, N.; ARMSTRONG, G. (Coord.). **O manejo da paisagem e a paisagem do manejo**. Brasília: Instituto Internacional de Educação do Brasil, 2008. p. 89-104.
- BECKER, B. K. **Amazônia: geopolítica na virada do III milênio**. Rio de Janeiro: Garamond, 2007. 172 p.
- BRASIL. **Lei 11.284, de 2 de Março de 2006**. Publicada no Diário Oficial da União em 5 de Junho de 2006.
- CANTINHO, R. Z. **Avaliação de propriedades biofísicas de dosséis de eucalyptus spp. mediante aplicação de técnicas de sensoriamento remoto**. 2012. 132 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.
- CASTRO JUNIOR, E.; COUTINHO, B. H.; FREITAS, L. Gestão da Biodiversidade e Áreas Protegidas. In: GUERRA, A. J. T.; COELHO, M. C. N. (org.). **Unidades de Conservação: abordagens e características geográficas**. Rio de Janeiro: Berthand Brasil, 2009. p. 25-65.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. **Metodologia científica**. São Paulo: Prentice Hall, 2007.
- COCHRANE, M. A.; SKOLE, D. L.; MATRICARDI, A. T.; BARBER, C.; CHOMENTOWSKI, W. Exploração seletiva de madeira, fragmentação florestal e incêndios florestais: as implicações das interações entre esses fatores. In: ZARIN, D. J.; ZARIN, R. P.; SAMPAIO, P. D. **As Florestas produtivas nos neotrópicos: conservação por meio do manejo sustentável?**. Brasília-DF: IEB-Instituto de Educação do Brasil, 2005. p. 391-408.
- CUNHA, C. R. **Avaliação de impactos imediatos da retirada de eucalipto em sub-bosque avançado, na APTA – Pólo Regional Alta Mogiana, município de Colina/SP**. 2012. 134 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, 2012.

- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006, 306p.
- FAO. **Global Forest Resources Assessment 2005**. Rome: Italy. 2005.
- FEARNSIDE, P.M. 1995. Global warming response options in Brazil's forest sector: Comparison of project-level costs and benefits. **Biomass and Bioenergy**, v. 8, n. 5, p. 309-322.
- FERREIRA, A. M. M.; SALATI, E. Forças de transformação do ecossistema amazônico. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 54, p. 25-44, 2005.
- FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008.
- FONSECA, S. A. Modelo de escoamento superficial em bacia experimental da Reserva Florestal Adolpho Ducke. **Acta Amazônica**. v. 39, n.4, p. 907-922, 2009.
- GERWING, J. J.; VIDAL, E. **Degradação de florestas pela exploração madeireira e fogo na Amazônia oriental brasileira**. Belém: IMAZON, 2002. 28 p. (Serie Amazônia Nº 20).
- GIL, A. C. **Como elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2009.
- GIUNTI NETO, C. J. **Calibração do uso de fotos hemisféricas, do LAI – 2000 e do Ceptômetro para estimativa do Índice de Área Foliar em plantações de Eucalyptus**. Relatório de Estágio Profissionalizante em Eng<sup>a</sup> Florestal. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2007. 62 p.
- GONÇALVES, C. W. P. **Amazônia, Amazônia**. São Paulo: Contexto, 2005. 178 p.
- GRAÇA, P. M. L. A. **Monitoramento e Caracterização de Áreas Submetidas à Exploração Florestal na Amazônia por Técnicas de Detecção de Mudanças**. 2006. 177 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.
- GRIGORYAN, G. V.; CASPER, M. C.; GAUER, J.; VASCONCELOS, A. C.; REITER, P. P. Impact of climate change on water balance of forest sites in Rhineland-Palatinate, Germany. **Adv. Geosci.**, 27, p. 37-43, 2010.
- HUMMEL, A. C.; ALVES, M. V. da S.; PEREIRA, D.; VERÍSSIMO, A.; SANTOS, D. **A atividade madeireira na Amazônia brasileira : produção, receita e mercados**. Belém: Imazon, 2010, 32p.
- IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 92 p.
- IDEFLOR. **Contrato de Concessão Florestal da UMF I**. Belém: 2011. 67 p.
- IDEFLOR. **Plano Anual de Outorga Florestal do Estado Do Pará**. Belém: 2012. 59 p.
- INPE. **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite – Projeto PRODES**. Disponível em <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>>. Acesso em 11/02/2013.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Trad. Epiphany, J. C. N. (Coord.). São José dos Campos, SP: Parênteses. 2009. 597 p.
- JOHNS, J. S.; BARRETO, P.; UHL, C. **Os Danos da Exploração de Madeira com e sem planejamento na Amazônia Oriental**. Belém: Imazon. 1998. 42 p. (Série Amazônia, n. 16).
- JONCKHEERE, I.; FLECK S.; NACKAERTS, K; MUYS, B.; COPPIN, P.; WEISS, M.; BARET, F. Review of methods for in situ leaf area index determination. Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 121, n. 1-2, p. 19-35, jan. 2004.

- KELLER, M.; ASNER, G. P.; SILVA, N.; PALACE, M. A sustentabilidade da exploração seletiva de madeira nas florestas da Amazônia brasileira: os balanços de carbono e o sensoriamento remoto como ferramentas para avaliar os efeitos da exploração madeireira. In: ZARIN, D. J.; ZARIN, R. P.; SAMPAIO, P. D. **As Florestas produtivas nos neotrópicos: conservação por meio do manejo sustentável?**. Brasília-DF: IEB-Instituto de Educação do Brasil, 2005. p. 67-94.
- LENTINI, M. PEREIRA, D., CELENTANTO, D.; PEREIRA, R. **Fatos Florestais da Amazônia**. Belém: Imazon, 2005, 123 p.
- LIU, M.; TIAN, H.; LU, C.; XU, X.; CHEN, G.; REN, W. Effects of multiple environment stresses on evapotranspiration and runoff over eastern China. **Journal of Hydrology**, v. 426-427, p. 39-54, 2012.
- LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Uniderp, 2006.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 2011. 312 p.
- MARQUES FILHO, A. O.; FERREIRA, S. J. F.; MARTINS, S. S.; COUTO, L.; TORMENA, C. A.; MACHADO, C. C. Impactos da exploração madeireira em florestas nativas sobre alguns atributos físicos do solo. **Revista Árvore**, v. 22, n. 1, p. 69 – 76. 1998.
- MARTINS, S. S.; COUTO, L.; TORMENA, C. A.; MACHADO, C. C. Impactos da exploração madeireira em florestas nativas sobre alguns atributos físicos do solo. **Revista Árvore**. Viçosa: v. 22, n. 1, p. 69 – 76. 1998.
- MONTEIRO, A. L. S. **Monitoramento de indicadores de manejo florestal na Amazônia legal utilizando sensoriamento remoto**. 2005. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Florianópolis, 2005.
- MONTEIRO, A. L. S.; SOUZA JR, C. M. de; BARRETO, P. G.; PANTOJA, F. L. de S.; GERWING, J. J. Impactos da exploração madeireira e do fogo em florestas de transição da Amazônia Legal. **Scientia Forestalis**, n. 65, p. 11-21, 2004.
- MONTEIRO, A. L. S.; SOUZA, C. M. DE; LINGNAU, C. Avaliação de imagens LANDSAT para o monitoramento do manejo florestal na Amazônia. **Scientia Forestalis**, v. 75, p. 95-104, 2007.
- MONTEIRO, A. L. S.; SOUZA, C. M. Fotografias hemisféricas para validar o monitoramento da qualidade do manejo florestal na Amazônia Legal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...Natal: INPE**, 2009. p. 6013-6020.
- MONTEIRO, A. L.; SOUZA, C.; BARRETO, P. Detection of logging in Amazonian transition forests using spectral mixture models. **International Journal of Remote Sensing**, v.24, n.1, p.151-159, Jan. 2003.
- MONTEIRO, L. C. **Os contratos de concessão de florestas públicas no Pará: uma análise crítica e proposições para a gestão sustentável**. 2011. 88 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local Na Amazônia), Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.
- NEPSTAD, D.; ALENCAR, A.; BARROS, A. C.; LIMA, E.; MENDONZA, E.; RAMOS, C. A.; LEFEBVRE, P. Governando a indústria madeireira na Amazônia. In: ZARIN, D. J.; ZARIN, R. P.; SAMPAIO, P. D. **As Florestas produtivas nos neotrópicos: conservação por meio do manejo sustentável?**. Brasília-DF: IEB-Instituto de Educação do Brasil, 2005. p. 481-511.
- NEPSTAD, D.; VERÍSSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P., SCHLESINGER et al. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **Nature**, v. 398, n. 6727, p. 505-508, 1999.
- PANTOJA, N. V.. **Técnicas de processamento de imagens digitais para detecção de feições associadas ao corte seletivo de madeira na Amazônia**. 2010. 90 f. Dissertação



(Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

PARÁ. **Macrozoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Pará**: Proposta para discussão. Belém: 2004.

PEREIRA, R.; ZWEEDE, J.; ASNER, G. P.; KELLER, M.. Forest canopy damage from conventional and reduced impact selective logging in Eastern Amazon, Brazil. **Forest Ecology and Management**, 168, 77-89, 2002.

PEREIRA, D.; SANTOS, D.; VEDOVETO M.; GUIMARÃES J.; VERÍSSIMO A. **Fatos Florestais**. Belém: Imazon, 2010, 23p.

PINAGÉ, E. R. **Estudos dos impactos da exploração madeireira em áreas de concessão florestal utilizando imagens orbitais**. 2013. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parênteses, 2007. 135 p.

REMOR, A. R. **A concessão florestal como política pública para o desenvolvimento sustentável do setor florestal na Amazônia**. 2009. 106 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

RIBEIRO, A. C.; CASTRO, E. R. de. Lei sobre Gestão de Florestas Públicas e impactos na Br-163. In: CASTRO, E. R. **Sociedade, Territórios e Conflitos: Br-163 em Questão**. Belém: NAEA, 2008. p. 189-222.

SANTOS, N. T.; SILVA, K. E. da; RIBEIRO, C. A. A. S.; MARTINS, S. V. Concessões de florestas públicas na Amazônia: desafios para o uso sustentável dos recursos florestais. **Bioikos**, v. 23, n. 2, p. 91-102, 2009.

SCHULZE, M.; GROGAN, J.; VIDAL, E. O manejo florestal como estratégia de conservação e desenvolvimento socioeconômico na Amazônia: quanto separa os sistemas de exploração madeireira atuais do conceito de manejo florestal sustentável?. In: BENSUSAN, N.; ARMSTRONG, G. **O manejo da paisagem e a paisagem do manejo**. Brasília: Instituto Internacional de Educação do Brasil, p. 163-213, 2008.

SCHULZE, M.; ZWEEDE, J. Canopy dynamics in unlogged and logged forest stands in the eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, 236, p. 56-64, 2006.

SCHWALBE, E. **Geometric modeling and calibration of fisheye lens camera systems**. ISPRS: 2005.

SFB, 2012. **Plano Anual de Outorga Florestal**. Brasília: 2012. 85 p.

SILVA, J. R; MAILARD, P.; COSTA-PEREIRA, P. S.; ANDRADE, C. F. Comparação de métodos indiretos para medição de abertura do dossel no cerrado, utilizando observações obtidas nos trabalhos de campo e fotos hemisféricas digitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...Natal-RN: INPE**, 2009. p. 3059-3064.

SOUZA, C. M. Avanços do sensoriamento remoto para o monitoramento da exploração madeireira na Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2009, Natal. **Anais...Florianópolis: INPE**, 2007. p. 6987-6994.

SOUZA, C. M.; ROBERTS, D. A.; COCHRANE, M. A. Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. **Remote Sensing of Environment**, v. 98, n. 2-3, p. 329-343, out. 2005.

SOUZA, C; BARRETO, P. An alternative approach for detecting and monitoring selectively logged forests in the Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v.21, n.1, p.173-179, Jan. 2000.

TRANCOSO, R.; CARNEIRO FILHO, A.; TOMASELLA, J.; SCHIETTI, J.; FORSBERG, B. R.; MILLER, R. P. Deforestation and conservation in major watersheds of the Brazilian Amazon. **Environmental Conservation**, v. 36, n. 4, p.277-288, 2009.

UFRA. **Pesquisa socioambiental na região Mamuru Arapiuns – Pará**: Relatório Final. Belém: UFRA, 2009. 158 p.

UFRA. **Relatório ambiental preliminar das áreas de concessão florestal do Conjunto de Glebas Mamuru-Arapiuns**. Belém: UFRA, 2010. 123 p.

VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P. Florestas Nacionais na Amazônia Brasileira: Oportunidades e Desafios. In: ZARIN, D. J. (org); ZARIN, R. P. e SAMPAIO, P. D. (Trad.). **As Florestas produtivas nos neotrópicos: conservação por meio do manejo sustentável?**. Brasília-DF: IEB-Instituto de Educação do Brasil, 2005. p. 55-66.

VERISSIMO, A.; UHL, C.; MATTOS, M.; BRANDINO, Z.; VIEIRA, I. Impactos sociais, econômicos e ecológicos da exploração seletiva de madeiras numa região de fronteira na Amazônia oriental: o caso de Tailândia. 1996. In: BARROS, A. C.; VERÍSSIMO, A. **A expansão da atividade madeireira na Amazônia: impactos e perspectivas para o desenvolvimento do setor florestal no Pará**. Belém: Imazon, 2ª ed., p. 1-40. 2002.

VIANNA, A. L. M. **Impacto do manejo florestal comunitário no estoque de carbono da vegetação da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Uatumã, AM**. 2011. 43 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2011.

ZHANG, Y.; CHEN, J. M.; MILLER, J. R. Determining digital hemispherical photograph exposure for leaf area index estimation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 133, n. 1-4, p. 166-181, nov. 2005.