

Avaliação de Planos de Manejo Florestal na Amazônia através de imagens de satélites Landsat

André Luiz Silva Monteiro¹
Carlos Moreira de Souza Jr.¹
Denis Conrado Cruz¹
Dalton Ruy Cardoso¹

¹ Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia - Imazon
Rua Domingos Marreiros 2020 – 66.060-160 - Belém - PA, Brasil
andreluiz@imazon.org.br

Abstract. The objective of this study was to demonstrate the use of NDFI images (Normalized Difference Fraction Index) for assessing forest management plans in the Amazon region. To do this, we combined the digital maps of forest management plans from the States of Pará and Mato Grosso with NDFI images. This procedure allowed us to identify authorized (forest management) and non-authorized (illegal logging) timber harvesting, and to integrate this information with information from the forest control systems to assess the status of the forest management plans. Finally, we assessed the quality of the forest management plans using field-calibrated NDFI thresholds: $NDFI \leq 0.84$ indicating low quality (predatory logging); $NDFI$ between 0.85 and 0.89, intermediate quality (there was an attempt at adopting management, but the configuration of roads, log landings and clearings reveals serious harvest planning problems); and $NDFI \geq 0.90$, good quality, reduced impact logging as a result of better forest management. Our analyses reviewed that 85% of the logged area in Pará was unauthorized, while only 15% authorized by the environmental agency. As for Mato Grosso, the unauthorized logged area represented 39% against 61% of authorized. Intermediate quality in forest management was predominant in Pará (65%) and in Mato Grosso (52%). Yet, large areas of the authorized forest management in Pará (23%) and Mato Grosso (41%) showed low quality for timber harvesting. We also identified several problems in execution of forest management plans in those States, such as logging carried out before logging authorization, area deforested before logging authorization, logged area beyond the authorized boundaries, among others. As a result of the effectiveness of the methods presented in this study, environmental agencies are using them to monitor, enforce and control logging in those states.

Palavras-chave: ndfi, forest management, monitoring, Amazon, manejo florestal, monitoramento, Amazônia.

1. Introdução

Vários estudos avaliaram a capacidade de imagens de satélite para detectar e monitorar a exploração madeireira, usando diferentes sensores, métodos e escalas (Stone & Lefebvre, 1998; Souza Jr & Barreto, 2000; Asner et al, 2002; Read et al, 2003; Souza Jr. et al, 2005; Asner et al, 2005; Graça et al, 2005, dentre outros). Alguns estudos demonstraram que é possível detectar e avaliar a qualidade da exploração madeireira com imagens de satélite, e estimar os impactos da exploração na biomassa florestal (Souza Jr. et al, 2005; Monteiro & Souza Jr, 2006; Souza Jr. et al, 2009).

O amadurecimento dessas técnicas de processamento de imagem permitiu testar o uso de imagens de satélite no monitoramento operacional de planos de manejo florestal, capaz de avaliar a legalidade do manejo florestal, se o mesmo está sendo executado de acordo com a licença ambiental, e o nível de qualidade da exploração. Nesse estudo, apresentamos os resultados desse teste operacional para o monitoramento e controle de planos de manejo nos Estados do Pará e Mato Grosso. Para isso, combinamos imagens NDFI (Normalized Difference Index - Índice Normalizado de Diferença de Fração; Souza Jr. et al, 2005) com informações dos sistemas de controle florestal desses estados. Os resultados permitiram identificar se a exploração madeireira foi autorizada ou não pelo órgão ambiental, a qualidade dos planos, se os limites geográficos dos planos foram respeitados, e a situação das florestas antes e após a execução da exploração madeireira. Os resultados mostraram que essa ferramenta de

monitoramento é eficaz para o controle dos planos de manejo florestal, e a sua adoção pelos órgãos ambientais pode ser feita rapidamente.

2. Metodologia

2.1 Áreas de estudo

As áreas de estudo são os Estados do Pará e Mato Grosso, localizados na Amazônia Legal (Figura 1). Esses Estados foram escolhidos por serem os maiores produtores de madeira da Amazônia, onde a produção do Pará representou 6.599 m³ (47% do total) e do Mato Grosso 4.004 m³ (28% do total) em 2009 (Pereira et al. 2010).

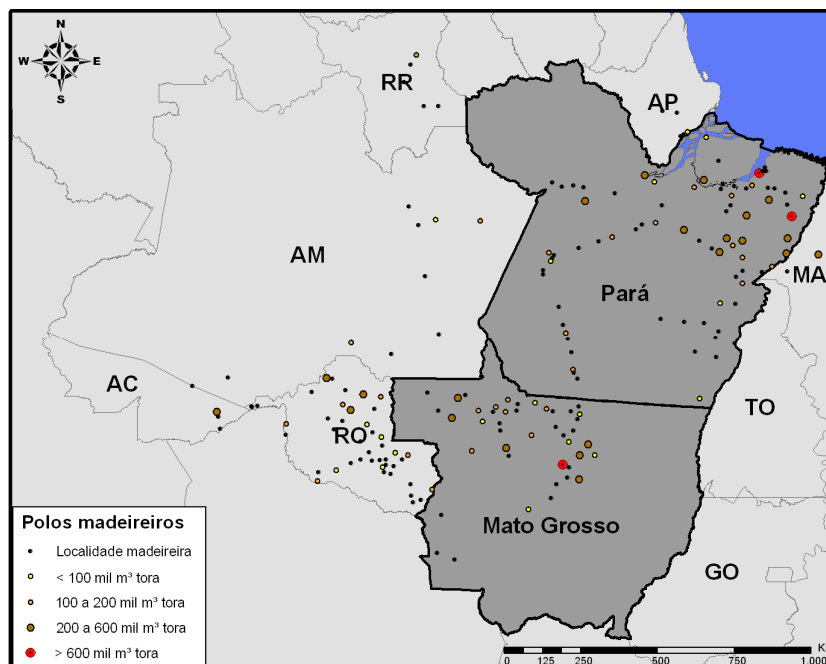


Figura 1. Localização das áreas de estudo (modificado de Pereira et al, 2010).

2.2 Processamento das imagens de satélite

Utilizamos imagens Landsat TM 5 de 2008 e 2009 cobrindo as áreas de floresta dos Estados do Pará e Mato Grosso. Primeiramente, aplicamos às imagens a correção geométrica e atmosférica. Em seguida, aplicamos o modelo de mistura espectral para obter as frações vegetação, solos e npv (do inglês *non-photosynthetic vegetation*- vegetação seca) e sombra. Por último, a partir do modelo de mistura espectral geramos o NDFI (Índice Normalizado de Diferença de Fração; Equação 1), o qual realça as cicatrizes do corte seletivo de madeira nas imagens de satélite (Souza Jr et al, 2005). O NDFI varia de -1 a 1, sendo que quanto mais próximo de -1 maior a degradação na floresta e quanto mais próximo de 1 menor a degradação.

$$\text{NDFI} = \frac{(\text{VEGnorm} - (\text{NPV} + \text{Solos}))}{\text{VEGnorm} + \text{NPV} + \text{Solos}} \quad (1)$$

Onde VEGnorm é a fração de vegetação normalizado para sombra (Equação 2).

$$\text{VEGnorm} = \frac{\text{VEG}}{1 - \text{Sombra}} \quad (2)$$

2.3 Mapeamento e avaliação do manejo florestal

Para mapear a exploração madeireira utilizamos interpretação visual das imagens NDFI delimitando diretamente no tela do computador a área afetada pela atividade. Em seguida, plotamos a base digital dos planos de manejo florestal nas imagens, tal que cicatrizes de exploração identificadas dentro dos planos de manejo foram classificadas como exploração autorizada (manejo florestal) e cicatrizes de exploração plotando fora desses planos foram classificadas como exploração não autorizada (exploração ilegal).

Para cada área explorada sob manejo florestal definimos 5 amostras de 10 x 10 pixels na imagem NDFI. Em seguida, extraímos os valores médios dessas amostras e classificamos a qualidade do manejo florestal em função da resposta espectral das imagens NDFI, onde determinamos limiares de qualidade, tal que: $NDFI \leq 0,84$ representa qualidade baixa; $NDFI = 0,85-0,89$, qualidade intermediária; e $NDFI \geq 0,90$, qualidade boa.

2.4 Integração com sistemas de controle florestal

Utilizamos informações de Autorização de Exploração Florestal- AUTEF ou AUTEX e dos créditos de madeira em tora e produtos florestais disponibilizados nos sistemas de controle florestal Simlam (Sistema Integrado de Licenciamento e Monitoramento Ambiental) e Sisflora (Sistema de Comercialização e Transporte de Produtos Florestais) pelas agências ambientais dos Estados do Pará e Mato Grosso. Essas informações foram cruzadas as informações obtidas nas imagens NDFI para avaliar a situação dos planos de manejo florestal licenciados.

2.5 Validação da qualidade do manejo florestal

Validamos no campo a qualidade do manejo florestal baseado em critérios relacionados ao planejamento das atividades e execução do manejo florestal. Medimos a dimensão dos pátios de estocagem e a largura das estradas secundárias e principais. Além disso, tomamos fotos hemisféricas com a câmera digital acoplada a uma lente “olho de peixe” para quantificar a abertura no dossel em clareiras de pátios, estradas e derrubada de árvore (Monteiro & Souza Jr, 2009). Em seguida, de acordo com os resultados, atribuímos uma pontuação e uma classificação correspondente (baixa, intermediária e boa), na qual: pontuação <2 = qualidade baixa; pontuação $2-3$ = qualidade intermediária; pontuação $3-4$ = pontuação boa.

3. Resultados e Discussão

3.1 Mapeamento da exploração madeireira

Mapeamos 543.504 hectares de floresta explorada no Estado do Pará nas imagens de 2008 e 2009, dos quais 466.979 hectares (86%) não tinham autorização (exploração ilegal) e 76.525 hectares (14%) foram autorizados (manejo florestal) (Tabela 1).

Tabela 1. Quantificação da exploração madeireira no Pará nas imagens NDFI de 2008 e 2009.

PARÁ	2008 (ha)	2009 (ha)	Total (ha)
Autorizada	45.354	31.171	76.525
Não autorizada	372.594	94.385	466.979
Total	417.948	125.556	543.504

Os municípios com as maiores áreas explorados ilegalmente no Pará foram: Paragominas (76.598 hectares), Rondon do Pará (40.817 hectares), Goianésia do Pará (35.048 hectares), Tomé-açu (27.752 hectares) e Tailândia (27.394 hectares) (Figura 2).

Mapeamos no Mato Grosso 460.134 hectares de floresta explorada nas imagens 2008 e 2009, dos quais 179.155 hectares (39%) não foram autorizados, contra 280.979 hectares (61%) autorizados (Tabela 2).

Tabela 2. Quantificação da exploração madeireira no Mato Grosso nas imagens NDFI de 2008 e 2009.

MATO GROSSO	2008 (ha)	2009 (ha)	Total (ha)
Autorizada	101.787	179.192	280.979
Não autorizada	125.039	54.116	179.155
Total	226.826	233.308	460.134

Os municípios com as maiores áreas explorados ilegalmente no Mato Grosso foram: Aripuanã (19.536 hectares), Juara (19.098 hectares), Marcelândia (17.968 hectares), Nova Maringá (12.730 hectares) e Juína (10.046 hectares) (Figura 2).

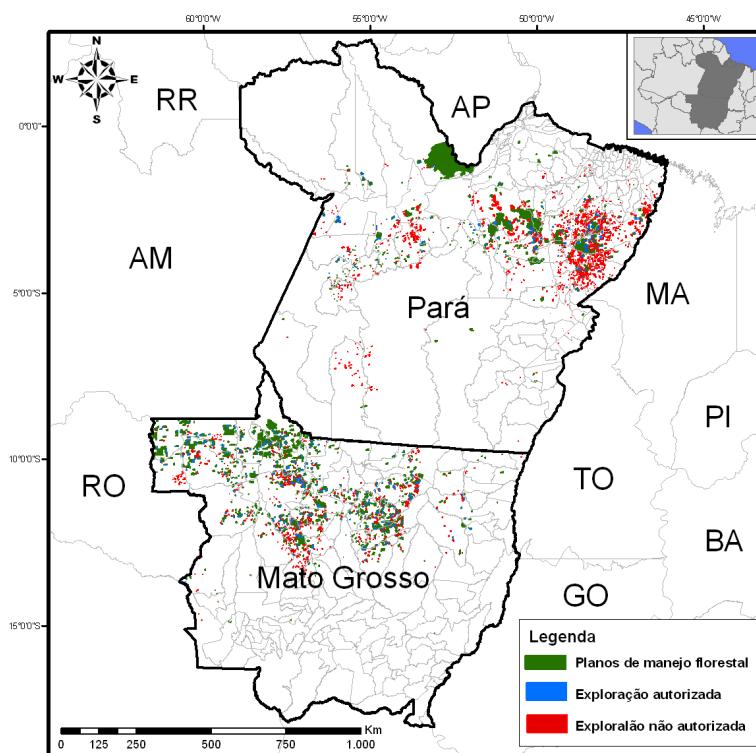


Figura 2. Distribuição espacial da exploração madeireira autorizada (manejo florestal) e não autorizada (ilegal) nos Estados do Pará e Mato Grosso mapeado nas imagens NDFI de 2008 e 2009.

3.2 Integração com os sistemas de controle florestal

Os resultados da integração das informações dos sistemas de controle florestal com as obtidas nas imagens NDFI de 2008 e 2009 revelaram vários problemas de execução do manejo florestal no Pará (Figura 3) e no Mato Grosso (Figura 4). Dentre esses problemas destacamos: (i) ausência de sinais de exploração na área autorizada (embora tenha sido verificada comercialização de madeira referente a essa autorização); (ii) exploração executada

antes da autorização; (iii) área desmatada antes da autorização; (iv) área explorada acima do limite autorizado; (v) plano de manejo sobrepondo área protegida. A maioria desses problemas diminuiu em 2009 comparado a 2008, exceto a área desmatada antes da autorização no Mato Grosso que aumentou em 2009 (Figura 3 e 4).

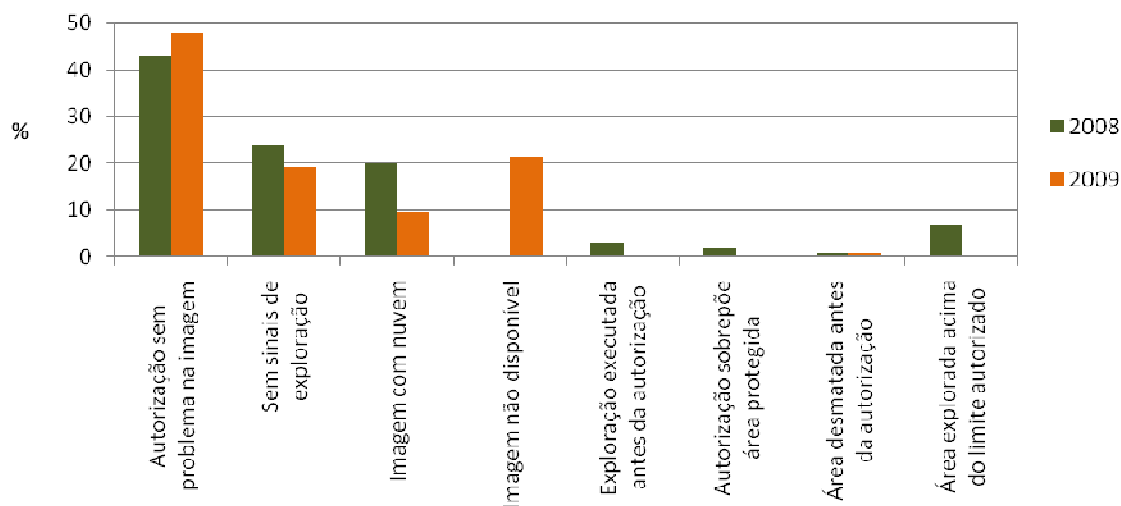


Figura 3. Situação do manejo florestal no Estado do Pará avaliado nas imagens de 2008 e 2009.

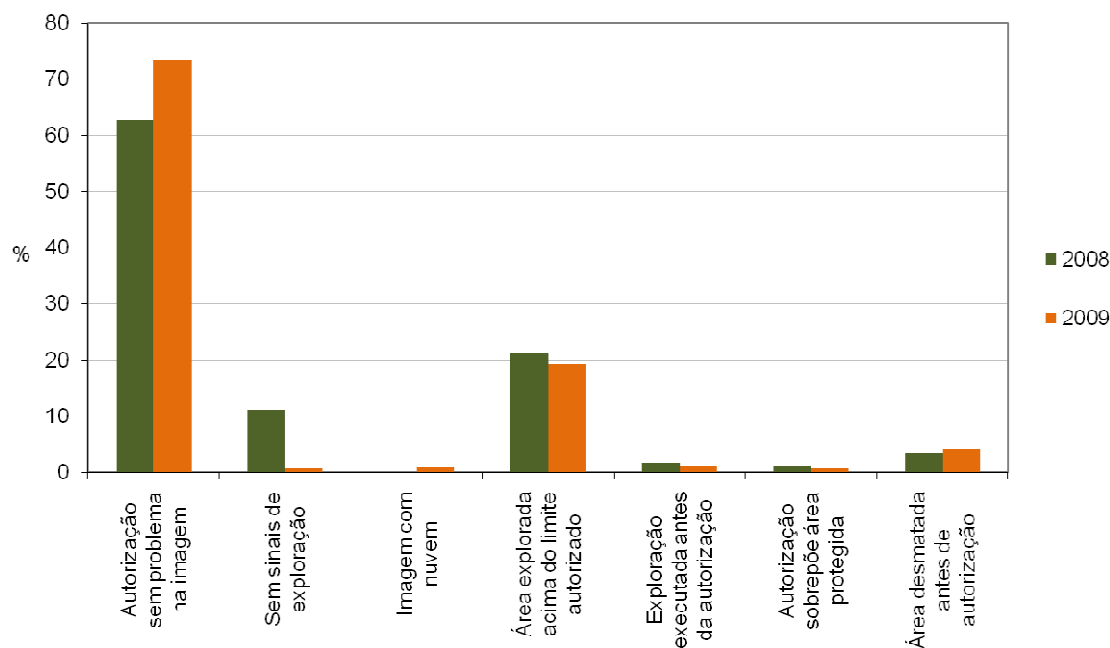


Figura 4. Situação do manejo florestal no Estado do Mato Grosso avaliado nas imagens de 2008 e 2009.

3.3 Qualidade do manejo florestal

Avaliamos 59 (55.689 hectares) planos de manejo florestal do Pará, os quais foram possíveis visualizar cicatrizes da exploração madeireira e avaliar a qualidade do manejo florestal nas imagens. Destes, 12% (6.781 hectares) apresentaram boa qualidade, 65% (36.155 hectares) apresentaram qualidade intermediária e 23% (12.753 hectares) foram classificados como de baixa qualidade (Figura 5a).

No manejo florestal de boa qualidade a configuração de estradas, pátios e clareiras têm a conformação de uma exploração manejada. No manejo de qualidade intermediária houve tentativa de adoção de manejo, mas a configuração de estradas, pátios e clareiras revela sérios problemas de execução. Finalizando, o manejo de baixa qualidade significa que a exploração foi feita de forma predatória.

Observamos na imagem NDFI que o manejo de boa qualidade deixa visível, praticamente, somente os pátios de estocagem (pontos amarelos na imagem) e as estradas (linhas em verde claro). Pequenas variações de verde são percebidas em decorrência das clareiras devido à derrubada das árvores. Por outro, no manejo baixa qualidade é possível observar grandes aberturas de pátios e estradas (pontos e linhas amarelos na imagem), além de extensa área perturbada devido a aberturas de grandes clareiras (mancha verde clara na imagem) (Figura 5b).

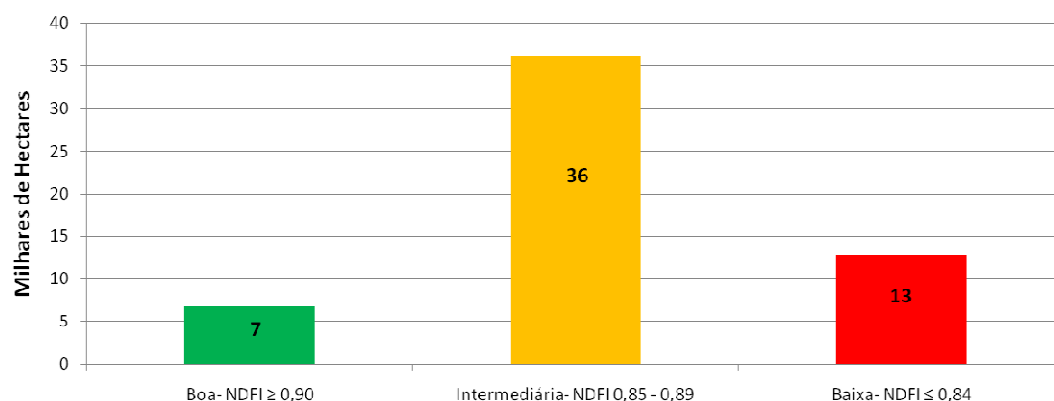


Figura 5a. Qualidade, em área, de 59 planos de manejo florestal do Estado do Pará, avaliada nas imagens NDFI.

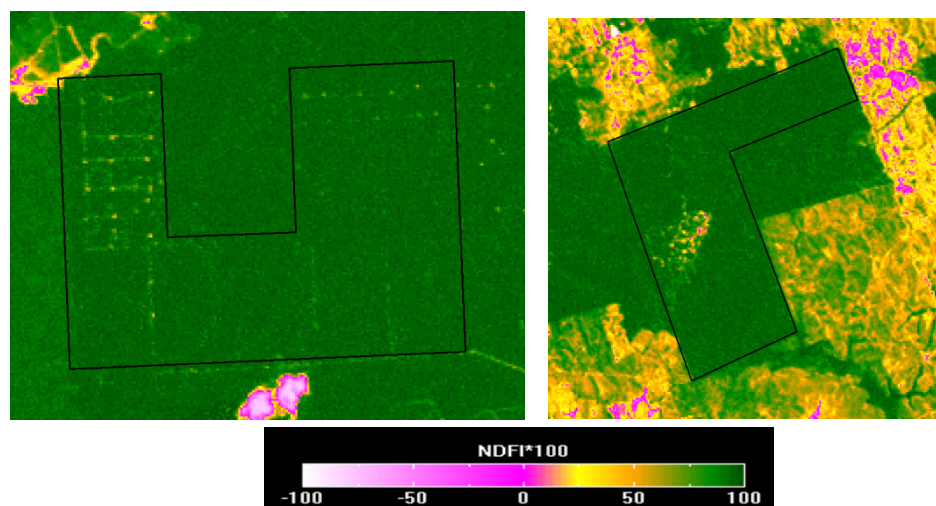


Figura 5b. Qualidade de manejo florestal boa (esquerda) e baixa (direita) do Pará vistos nas imagens NDFI.

Para o Mato Grosso avaliamos a qualidade de 300 (268.369 hectares) planos de manejo florestal nas imagens. Destes, 7% (12.543 hectares) apresentaram boa qualidade, 52% (93.178 hectares) apresentaram exploração intermediária e 41% (72.952 hectares) foram classificados como de baixa qualidade. (Figura 6a e 6b).

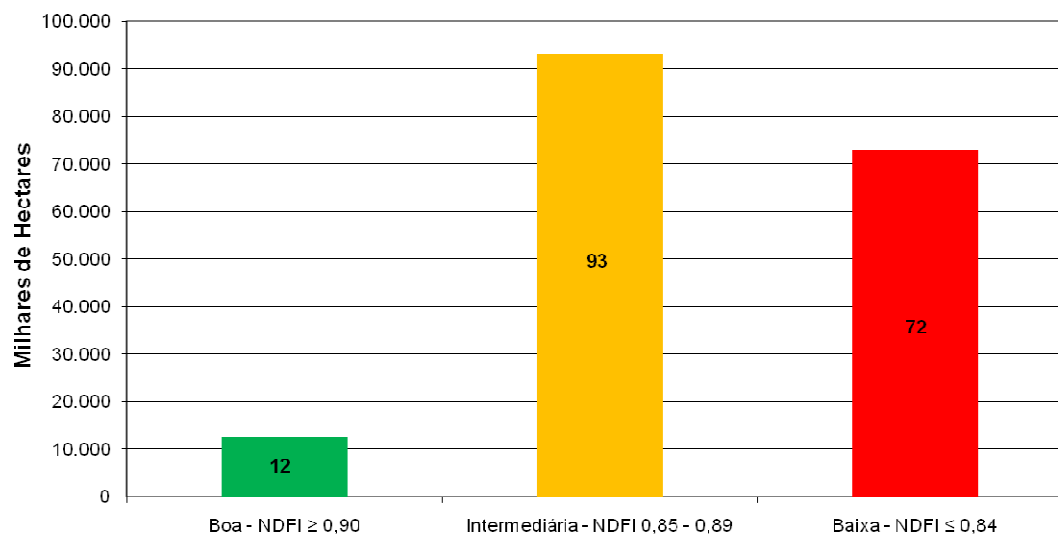


Figura 6a. Qualidade, em área, de 300 planos de manejo florestal do Estado do Mato Grosso, avaliada nas imagens NDFI.

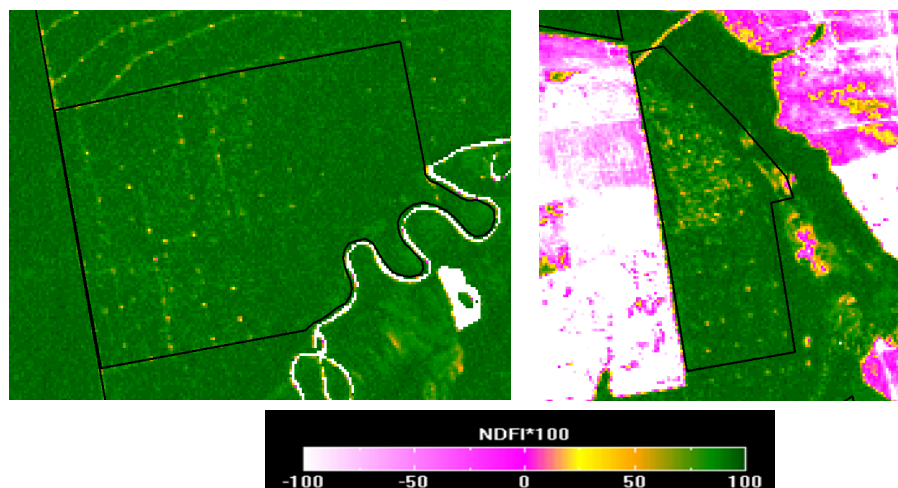


Figura 6b. Qualidade de manejo florestal boa (esquerda) e baixa (direita) do Mato Grosso vistos nas imagens NDFI.

A qualidade intermediária de manejo florestal, predominante no Pará e Mato Grosso, pode significar necessidade de capacitação dos técnicos das empresas madeireiras em práticas de manejo florestal de baixo impacto. Por outro lado, a extensa área explorada com baixa qualidade, principalmente no Mato Grosso, indica baixa adoção do manejo florestal pelas empresas madeireiras. Neste caso, temos maior impacto na floresta o que contribui para o aumento do ciclo de corte, ou seja, do tempo mínimo de retorno a mesma área para se extrair madeira.

3.4 Validação

Validamos a avaliação da qualidade do manejo florestal nas imagens NDFI em 26 amostras dos planos de manejo. A qualidade do manejo florestal avaliado na imagem de satélite foi na maioria consistente com o que foi verificado no campo (Tabela 3; em **negrito**). Do total de amostras verificadas no campo a maioria (14) apresentou a mesma qualidade do manejo florestal avaliada na imagem; enquanto que 12 amostras apresentaram qualidade diferente da imagem. A diferença da qualidade do manejo florestal entre imagem e campo

pode estar relacionada ao fato de que a área avaliada no campo não ter sido geograficamente a mesma área avaliada na imagem, ou seja, amostramos no campo a área mais perturbada do plano, contudo, no campo, devido a dificuldade de acesso a essa área, avaliamos outra área no mesmo plano.

Tabela 3. Avaliação da qualidade do manejo florestal na imagem e no campo.

Amostra	Imagem		Campo	
	Qualidade	NDFI	Qualidade	Pontuação
1	intermediária	0,86	intermediária	2,77
2	intermediária	0,89	intermediária	2,66
3	intermediária	0,86	boa	3,43
4	boa	0,90	boa	3,18
5	intermediária	0,85	intermediária	2,42
6	intermediária	0,88	intermediária	2,26
7	boa	0,90	boa	3,22
8	boa	0,90	boa	3,00
9	boa	0,90	intermediária	2,54
10	intermediária	0,88	intermediária	2,72
11	boa	0,91	intermediária	2,81
12	boa	0,90	boa	3,09
13	boa	0,91	boa	3,09
14	boa	0,90	boa	3,36
15	boa	0,90	intermediária	2,81
16	boa	0,91	boa	3,45
17	boa	0,90	intermediária	2,45
18	boa	0,90	intermediária	2,45
19	intermediária	0,89	intermediária	2,45
20	boa	0,91	intermediária	2,90
21	boa	0,91	boa	3,27
22	boa	0,91	boa	3,18
23	boa	0,91	intermediária	2,45
24	boa	0,90	intermediária	2,54
25	boa	0,91	boa	3,09
26	boa	0,90	boa	3,27

4. Conclusão

O método deste estudo mostrou que é possível avaliar planos de manejo florestal utilizando imagens de satélites. Além disso, a metodologia tem grande aplicação em programas de monitoramento e controle da atividade madeireira na Amazônia. A detecção da exploração madeireira legal (manejo florestal) e ilegal pode ser utilizada no planejamento das operações de fiscalização das agências ambientais estaduais e federais.

Utilizando esse método no licenciamento é possível identificar se a área licenciada encontra-se em floresta primária com potencial de produção e em situação fundiária legal. É possível também prevenir que planos de manejo florestal sejam aprovados sobrepondo áreas irregulares tais como: áreas desmatadas, terras indígenas e unidade de conservação de proteção integral.

No monitoramento é possível identificar irregularidades na execução dos planos de manejo, tais como: planos executados antes da autorização, área de manejo desmatada antes da autorização, área explorada acima do limite autorizado, entre outros. Finalmente, o método

pode ser usado para monitorar as Florestas Públicas sob concessão florestal e áreas certificadas na Amazônia.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro da Fundação Gordon & Betty Moore, da Agência Americana para o Desenvolvimento (USAID-USFS) e do Fundo Vale. Agradecemos também a Martins Agropecuária e a Cikel Brasil Verde pelo acesso as suas áreas para o trabalho de validação.

Referências bibliográficas

Asner, G., Keller, M., Pereira, R., Zweede, J. Remote Sensing of selective logging in Amazonia Assessing limitations based on detailed Field observations, Landsat ETM⁺, and textural analysis. **Remote Sensing of Environment**, 80, p. 483-496, 2002.

Asner, G., Knapp, D., Broadbent, E., Oliveira, P., Keller, M., Silva, N (2005) Selective logging in the Brazilian Amazon. **Science**, 310 (5747): 480-482.

Graça, P. M. L. A., Santos, J. R., Soares, J. V., Souza, P. E. U. Desenvolvimento metodológico para detecção e mapeamento de áreas florestais sob exploração madeireira: estudo de caso, região norte do Mato Grosso. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE**, p. 1555-1562.

Monteiro, A & Souza Jr, C. 2006. **Imagens de satélite para avaliar planos de manejo florestal**. *O Estado do Amazônia N^o 9*. Belém: Imazon, 4p.

Monteiro, A & Souza Jr, C. Fotografias hemisféricas para validar o monitoramento da qualidade do manejo florestal na Amazônia Legal. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE**, p. 6013-6020.

Pereira, D., Santos, D., Vedoveto, M., Guimarães, J., Veríssimo, A. **Fatos Florestais da Amazônia 2010**. Belém: Imazon. 2010. 126p.

Read, J., Clark, D., Venticinqu, E., Moreira, M. Application of merged 1-m and 4-m resolution satellite data to research and management in tropical forests. **Journal of Applied Ecology**, 40, p. 592-600, 2003.

Souza Jr, C., Roberts, D., Cochrane, M (2005). Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. **Remote Sensing of Environment**. 98: 329-343.

Souza Jr, C & Barreto, P. Na alternative approach for detecting and monitoring selective logged forests in the Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, 21, p. 173-179, 2000.

Souza Jr, C., Cochrane, M., Sales, M., Monteiro, A., Mollicone, D. Integrating forest transectos and remote sensing data to quantify carbon loss due to forest degradation in the Brazilian Amazon- Case Studies on Measuring and Assessing Forest Degradation. **Forest Resources Working Paper 161**. FRA/FAO, Rome, Italy, 2009. 17p.

Stone, T & Lefebvre, P. Using multi-temporal satellite data to evaluate selective logging in Para, Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, 19, p. 2517-2526, 1998.