

## Utilização de Informações Orbitais no Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal

Valdir Moura <sup>1,2</sup>  
Luis Marcelo Tavares de Carvalho <sup>1</sup>  
José Aldo Alves Pereira <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Lavras – UFLA/DCF  
Campus Universitário – CP. 3037- CEP. 37200-000 – Lavras - MG, Brasil  
{passarinho, j.aldo}@dcf.ufla.br

<sup>2</sup> IFRO – Instituto Federal de Educação Básica, Técnica e Tecnológica de Rondônia  
Rod. RO-399 km 05, Zona Rural - 78996-000 – Colorado do Oeste - RO, Brasil  
valdir.moura@ifro.edu.br

### Abstract

This work aimed to study the dynamics of deforestation of the vegetation in Nova Monte Verde, Mato Grosso, be within the period of the year 1984 to 2008. The municipality is located under the coordinates 10°25'30,11"S Latitudes and 9°25'7,68"S and Longitude 57°48'45,08"W and 56°46'15,01" W. The approach used consisted in comparing the percentage cleared with environmental laws and their amendments. We used images obtained by the sensor Landsat TM for the years 1984, 1997, 1999, 2002, 2005 and 2008, the images were geometrically corrected with the help of letters from the DSG / IBGE 1:100.000 scale were later processed using routines implemented in software v. SPRING 5.1. The values were tabulated and compared with the percentage of deforestation allowed by environmental laws prevailing in the respective years. It was found that in 1984 only 1.82% of total area of the city had been cleared, this percentage was increased to 51.24% in 2008. It was found that there was an acceleration of deforestation, which contrasts so with the Provisional 2.166-67/00, which supplanted the registration of legal reserves in areas classified as forest vegetation type in 80%, however, the increase deforestation rates, had facts of interest which occurred simultaneously to the years used as reference for the study.

**Keywords:** *Remote Sensing; Geographic Information System; Landsat; Deforestation; Image Processing*

### Introdução

A ocupação das terras da Amazônia e o uso dos seus recursos naturais têm sido uma realidade expressiva a mais de 400 anos. Da necessidade de assegurar o domínio territorial português no século XVI e XVII, passando por diversos ciclos de exploração de determinados recursos naturais, chega-se à década de 70 do século passado quando o governo brasileiro implantou a Política de Integração Nacional que visava interligar e desenvolver as diversas regiões do país, e a Política de Ocupação das Terras da Amazônia, que visava a sua colonização para assegurar a posse e domínio da região, assim como diminuir os focos de pressão social nas regiões nordeste e centro-sul do país.

A estratégia utilizada era a de proporcionar oportunidades para o desenvolvimento de atividades produtivas por meio da disponibilidade de grandes extensões de terra a custo extremamente baixo, renúncia fiscal, financiamento e implantação de infra-estrutura. A premissa era a de que a floresta tropical exuberante que recobria a região tinha por origem solos fértil, e que estes eram propícios à agricultura e pecuária. Dentro desse escopo, no que diz respeito ao Estado de Mato Grosso. Diversas empresas de colonização foram incentivadas a se instalar no decorrer da década de 70 e início da década de 80 do século passado. Com isso, estabeleceu-se um forte fluxo migratório para a região e conseqüentemente a aceleração da substituição da cobertura vegetal original (Floresta), por coberturas de culturas agrícolas e/ou pastagens. Entretanto, a implantação dos diferentes sistemas de produção agrícola e/ou pecuária ocasionava no desmatamento de imensas áreas de floresta, tornando a prática comum e descontrolada (FEARNSIDE, 1987; OLIVEIRA et al., 2003).

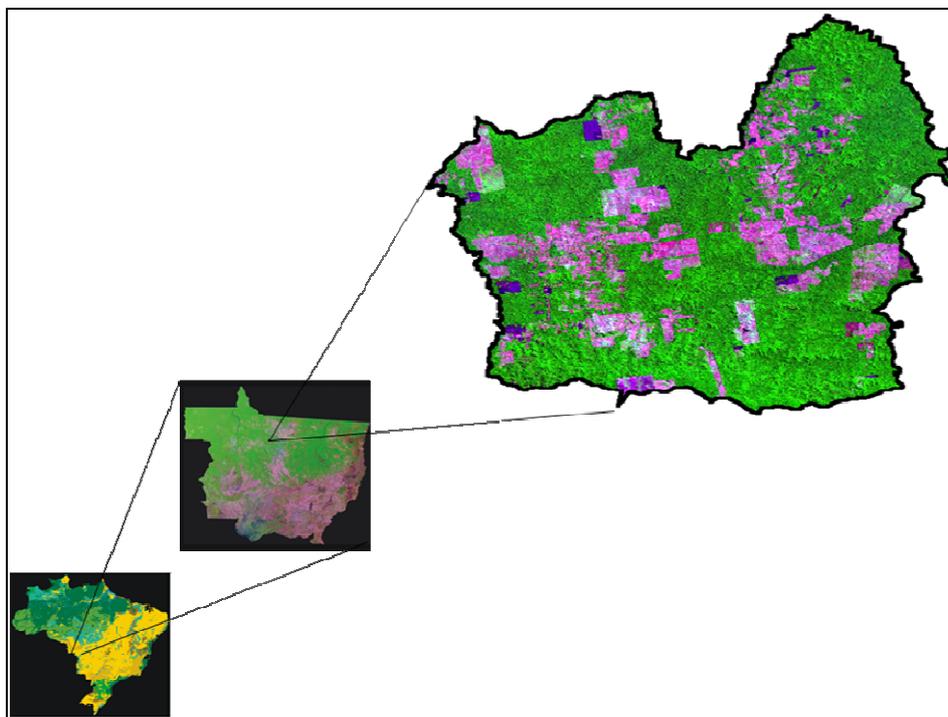
Neste período a preocupação com meio ambiente não despertava interesses nas autoridades e nem mesmo na população que começava a ocupar a vasta floresta amazônica, extraindo e destruindo valiosos materiais genéticos. Outras épocas vieram e com elas, novas leis ambientais e a preocupação com a preservação do meio ambiente, mudaram a tônica de ocupação da floresta, tornando este tipo de atividade inviável para os grandes investimentos agropecuários.

O Estado de Mato Grosso faz parte da chamada Amazônia Legal apresentando três regiões distintas: *Floresta (52%)*, *Cerrado (41%)* e *Pantanal (7%)*, sendo imprescindível enxergar de perto o que vem ocorrendo no imenso território verde que o Estado tem o privilégio de abrigar. Devido aos elevados índices de desmatamento ilegais nos últimos anos, a Secretaria Estadual do Meio Ambiente (FEMA), criou e programou o Sistema de Controle Ambiental em Propriedades Rurais, e tem alcançado uma excepcional redução de áreas desmatadas. Os números comprovam esta redução de 32% na taxa de desmatamento e 53% no número de queimadas. Este é um projeto pioneiro no Brasil que, utilizando dados orbitais de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica (SIG) para cadastrar, autorizar e autuar as propriedades que apresente irregularidade quanto às áreas de desmate.

Devido à preocupação que o meio ambiente desperta na população, este projeto tem como objetivo avaliar a dinâmica do desmatamento no município de Nova Monte Verde, Estado de Mato Grosso, no período entre 1984 a 2008, utilizando imagens multitemporais Landsat 5, bem como analisar de maneira comparativa com o trabalho que vem sendo desenvolvido pela Fundação Estadual do Meio Ambiente.

### Área de Estudo

Situado na região Norte do Estado de Mato Grosso, o Município de Nova Monte Verde (**Figura 1**), é formado pelas coordenadas geográficas de 57°48'45,08" e 56°46'15,01" de longitude WGR e 10°25'30,11" e 9°25'7,68" de latitude Sul, e abrange uma área de 5.136.42 Km<sup>2</sup> (IBGE,2000). Distante aproximadamente 960 km de Cuiabá.



**Figura 1. Localização da Área de Estudo**

Na área abrangida pelo município de Nova Monte Verde – MT ocorre a unidade Litoestratigráfica Complexo Xingu, com rochas predominantemente granitóides de composição granítico-adamezítica, com textura variando de inequigranulares a equigranulares, médias a grosseiras e subordinadamente finas a pegmatóides, tendo como minerais primários o quartzomicroclinio e plasioplasio, com feições lineares cuja direção predominante é NE-SO. Essas rochas originaram solos do grupo Gley Pouco Húmico, unidades de mapeamento Gley Pouco Húmico Distrófico (HGPd), com argila de atividade baixa, textura indiscriminada, associada a solos Aluviais Distróficos com argila de atividade baixa, textura indiscriminada, distribuído em relevo plano; grupo Podzólico Vermelho-Amarelo, unidade de mapeamento Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico (PVd), com argila de atividade baixa, textura argilosa, associada a classe dos podzólicos Vermelho-Amarelo Álico com argila de atividade baixa em relevo suavemente ondulado (PVd5), e associado a Podzólico Vermelho-Amarelo Álico, argila de atividade baixa com textura argilosa e solos Litólicos Distróficos com argila de atividade baixa em relevo ondulado a fortemente ondulado (PVd13), e Grupo Litólico, unidade de mapeamento solos Litólicos Distróficos (Rd), com argila de atividade baixa e textura indiscriminada associados a Podzólicos Vermelho-Amarelo Álico, raso, com argila de atividade baixa e textura argilosa e afloramento rochosos em relevo fortemente ondulado a montanhoso.

### **Metodologia**

O estudo de desmatamento da cobertura vegetal no município de Nova Monte Verde – MT, foi efetuado através da identificação de unidades homogêneas do terreno que tiveram a sua cobertura florestal (classe de uso da terra da categoria natural) substituída por classes de uso da categoria antrópica no tempo e no espaço. Constituída de uma análise espacial dos dados geográficos em ambiente de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) e explorando as ferramentas de processamento digital de imagens, através do qual procurou selecionar as diferentes informações armazenadas no banco de dados para posteriormente manipular as informações por meio de álgebras de mapas. Neste estudo, fez-se o uso de imagens orbitais obtidas pelo sensor TM/Landsat nos anos de 1984, 1997, 1999, 2002, 2005 e 2008, seqüencialmente, estas imagens foram submetidas a um pré-processamento (construção e organização do banco de dados, correção geométrica e registro, verificação da acurácia desta etapa). Posteriormente, iniciou a fase do processamento dos dados orbitais (segmentação e classificação), obtidos os resultados, estes foram analisados e comparados com a legislação ambiental vigente para os respectivos períodos. A precisão do processo de classificação foi avaliada através do índice *kappa*.

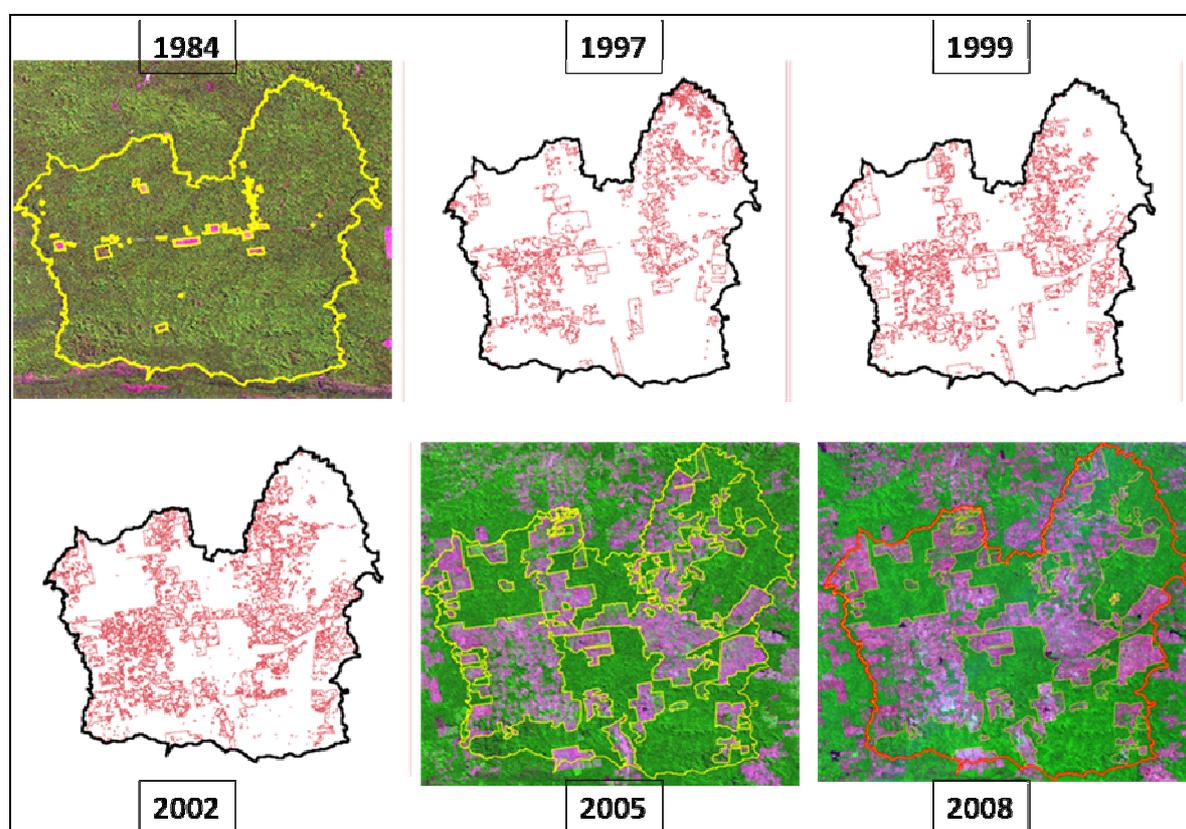
### **Resultados e discussões**

Os resultados foram analisados por comparação entre os valores espaciais quantitativos obtidos na série temporal composta pelos anos de 1984, 1997, 1999, 2002, 2005 e 2008, e destes com as informações oriundas da cobertura vegetal original e do uso potencial da terra.

Abordagem utilizada na análise foi do tipo simples na qual as modificações que ocorreram no tempo e no espaço através da incorporação de novas unidades homogêneas de categoria de uso do solo, ou seja, natural e antrópica, e um nível intermediário de complexidade, o qual culminou com a agregação de valores sobre o uso àqueles já existentes. As imagens orbitais foram submetidas a uma rigorosa correção geométrica e registro, garantindo assim uma fidelidade nos resultados encontrados. As imagens orbitais foram corrigidas através do método do *vizinho mais próximo* e apresentou erros inferiores a 0,2 *pixels* e sendo considerados satisfatórios, segundo o critério proposto por MILNE (1988).

As imagens foram segmentadas e rotuladas através do método do *crescimento por regiões* utilizando os parâmetros de *similaridade* e *área* de 30 e 50 respectivamente, gerando

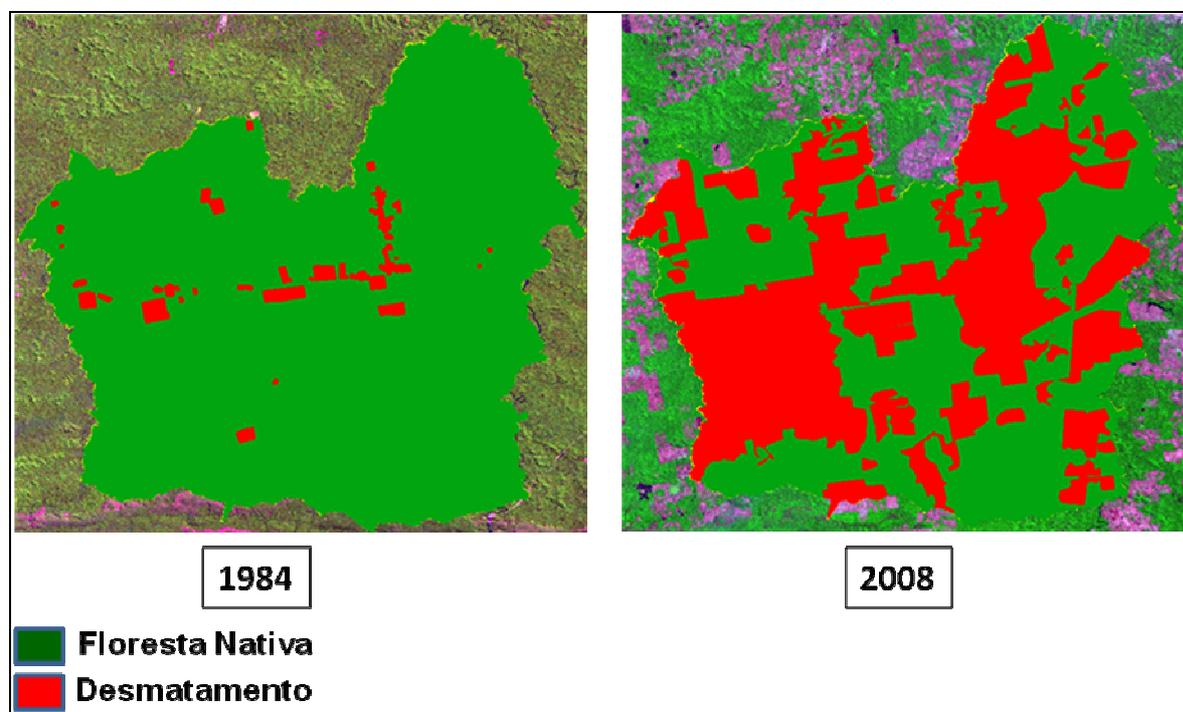
um produto satisfatório, mesmo havendo um pouco de confusão, o que é considerado normal para o algoritmo. Após a extração das regiões, as imagens foram submetidas à classificação não supervisionada utilizando o classificador *ISOSEG a 95%*, após a classificação as imagens foram agrupadas em duas classes, (floresta e desmatamento) na qual possibilitou a quantificação das áreas desmatadas nos diferentes anos em análise. A **Figura 2** apresenta os resultados obtidos através da segmentação das imagens compreendidas pelo período de estudo, destacando principalmente os polígonos do desmatamento. Já a **Figura 3** ilustra de maneira simplificada a antropização no ano de 1984 e 2008, obtidas através da classificação não supervisionada das imagens orbitais, coletadas pelo sensor TM (*Thematic Mapper*) do satélite Landsat5 nos respectivos anos, destacando apenas duas categorias compreendidas pelas categorias denominadas como floresta nativa e desmatamento. O resultado do processo de classificação teve a sua qualidade avaliada através do uso do coeficiente *kappa*, proposto por Landis e Koch (1977), e apresentou um valor de ( $K= 0,73$  ou 73%), sendo considerada segundo o coeficiente uma classificação *muito boa* para as classes de uso do solo.



**Figura 2. Resultado do processo de segmentação das imagens orbitais.**

Analisando as imagens orbitais, constatou-se que o processo de desmatamento encontra-se vinculado à rede viária, obedecendo ao padrão fundiário denominado “espinha de peixe”, padrão este muito utilizado nas décadas de 70 e 80 do século passado. Nota-se ao longo da rede viária uma grande concentração de áreas sob usos antrópicos. Esta concentração deve-se ao fato de que a expansão dos usos da terra pela distribuição da cobertura vegetal original requer a geração de oportunidades (BUTCHER, 1999), e ao mesmo tempo uma estrutura tridimensional composta por atividades, pela infra-estrutura necessária para as atividades e pelo papel que os valores sociais representam para as instituições, comunidades ou indivíduos que regulamentam as atividades em relação espaço considerado e aos padrões de uso da terra

(BARRETO, 1981). Nesse sentido, as oportunidades foram geradas através da disponibilização de terras a baixo preço, de renúncia fiscal e de financiamentos governamentais, e através da implantação de rede viária para o acesso e escoamento da produção.



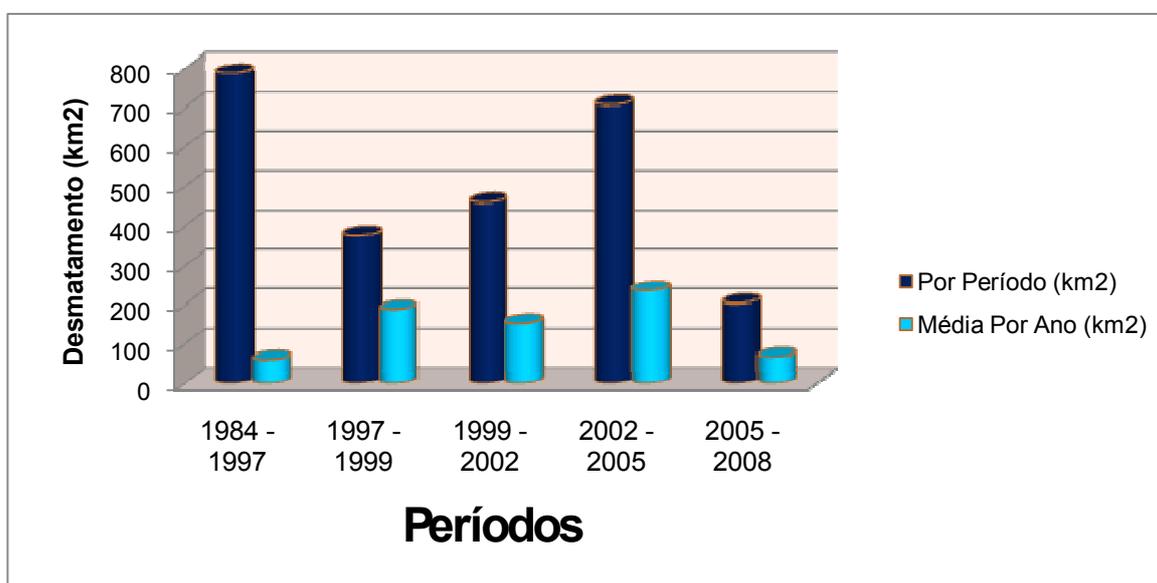
**Figura 3. Classificação não supervisionada (*Isoseg 95%*).**

A **Tabela 1** demonstra de maneira comparativa o avanço da ação antrópica do homem no período entre 1984 a 2008 e, analisando-a nota-se que em relação ao ano de 1984, estava iniciando o processo de ocupação neste município específico. Analisando o desmatamento de maneira temporal e definindo-os em períodos distintos (**Figura 4**), ou seja, de 1984-1997, 1997-1999, 1999-2002, 2002-2005 e 2005-2008, verifica-se que o incremento da área desmatada foi de 882,44 Km<sup>2</sup> (17,18%), 376,50 Km<sup>2</sup> (7,33%), 460,22 Km<sup>2</sup> (8,96%), 707,84 Km<sup>2</sup> (13,78%) e de 204,52 Km<sup>2</sup> (3,99%), respectivamente, que em igual medida correspondeu à retração das classes de uso da categoria natural. Destaca-se o período compreendido entre os anos de 2002-2005, onde houve um aumento nas taxas de desmatamento, fato este relacionado com a flexibilização nas leis ambientais do Estado de Mato Grosso sobre a reserva legal. Portanto, adotou-se o zoneamento ecológico econômico como base para autorizações de desmate em tipologia vegetal classificada como *transição*, nesta base, o percentual de reserva legal era de 50%, divergindo e ao mesmo tempo sobrepondo a MP 2166-67/2000, que determina o percentual de 20% para a reserva legal em regiões que apresente tipologia vegetal classificada como *floresta e transição*.

Assumindo-se com as devidas e necessárias ressalvas que a expansão das áreas desmatadas foi linear e uniforme, obtêm-se taxas de expansão de 60,69 Km<sup>2</sup>/ano (1,18% a.a.), 188,25 Km<sup>2</sup>/ano (3,66% a.a.), 153,41 Km<sup>2</sup>/ano (2,99% a.a.), 236,10 Km<sup>2</sup>/ano (4,59% a.a) e de 68,14 Km<sup>2</sup>/ano (1,33% a.a). Pode-se considerar que a taxa estimada para o período de 1984/1997 encontra-se subestimada em função da inexistência momentânea de registro referente ao início efetivo do processo de desmatamento. Dado ao pequeno intervalo de tempo que compõe os dois períodos subsequentes, é razoável considerar que as taxas estimadas encontram-se próximas dos valores reais anuais. Os períodos foram selecionados devido a fatos de relevância que aconteceram no Estado de Mato Grosso.

**TABELA 1. Avanço da ação antrópica no município de Nova Monte Verde-MT, no período de 1984 a 2008.**

Categoria	Período Analisado (Anos)											
	1984		1997		1999		2002		2005		2008	
	Área (km <sup>2</sup> )	%	Área (km <sup>2</sup> )	%	Área (km <sup>2</sup> )	%	Área (km <sup>2</sup> )	%	Área (km <sup>2</sup> )	%	Área (km <sup>2</sup> )	%
Natural	5.042,94	98,18	4.253,98	82,82	3.877,48	75,49	3.417,26	66,53	2.708,95	52,74	2.504,52	48,76
Antrópica	93,48	1,82	882,44	17,18	1.258,94	24,51	1.719,16	33,47	2.427,47	47,26	2.631,90	51,24
TOTAL	5.136,42	100	5.136,42	100	5.136,42	100	5.136,42	100	5.136,42	100	5.136,42	100

**Figura 4. Análise do avanço da antropização nos diferentes períodos.**

Apesar do pleno sinergismo proporcionado pelos vetores de expansão das atividades sócio-econômicas, vetores estes oriundos de políticas estaduais de desenvolvimento que em tese deveria aumentar o valor da taxa de incremento, a mesma foi negativa. Alguns fatores colaboraram para com a inversão da tendência tais como o Licenciamento Ambiental Único (LAU) da propriedade rural implantado e implementada pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEMA), atualmente denominada de Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA), e que na atualidade constitui-se em documento necessário para obtenção de financiamento agrícola e para acesso a linhas de créditos e incentivos fiscais proporcionados por programas e fundos setoriais em nível estadual e federal. Colaborou também as campanhas de fiscalização efetuadas pelos órgãos ambientais no decorrer do período, e o monitoramento do desmatamento da cobertura vegetal do Estado de Mato Grosso efetuado pela SEMA.

No entanto a que se ressaltar que a expansão da ocupação da terra e do uso dos recursos e não linear e provavelmente apresenta forte componente variância em relação ao tempo posto sofrer influências de variáveis independentes externas no sistema produtivo local, tais como: preço de mercado (commodities), disponibilidade de financiamento, taxas de juros, sazonalidade, políticas públicas, preços de insumos, entre outros.

Outra análise pertinente a ser efetuada em relação a essa tendência de incremento do desmatamento no município é perante a legislação pertinente. Considerando-se a série temporal de 20 anos, a Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e a Medida Provisória MP 1511, de 25 de julho de 1996 e suas reedições até a presente data, verifica-se que, por força desta última, a área disponível para desmate, em termos legais, não somente diminuiu como também foi suplantada no ano de 1999, conforme resultados apresentados na **Tabela 2**.

Verifica-se que, no ano de 1984, neste trabalho considerado como ano inicial da ocupação no qual a cobertura vegetal original encontrava-se pouco alterada (Tabela 1), mediante a Lei 4.771 (Código Florestal) havia disponibilidade de 2.568,21 Km<sup>2</sup> de área para ser utilizada com classes de usos da categoria antrópica, e que representava 50% da extensão territorial do município. Em função da Medida Provisória, MP 1.511, no ano de 1996, a área disponível sofreu retração para 20% da extensão territorial (1.027,84 Km<sup>2</sup>). Considerando a taxa linear anual de desmatamento de 188,25 Km<sup>2</sup>/ano estimada para o período de 1997-1999, verifica-se que já no ano de 1998 não havia mais área disponível, passando o município a partir de então, apresentar balanço negativo. Em 1999 o valor permitido por Lei havia sido suplantado em 231,10 Km<sup>2</sup> (22,48%), e em 1.604,24 Km<sup>2</sup> (156,16%) em 2008.

Essas informações devem ser consideradas e analisadas com a devida parcimônia em função de que as propriedades rurais apresentam limites próprios que, via de regra, não são coincidentes com os limites político-administrativo dos municípios. Isto pode gerar situação na qual uma dada propriedade, ao estar inserida entre dois municípios tenha sua reserva legal em um e o sistema produtivo agrícola e/ou pecuário em outro. Neste caso, em termos legais, a propriedade encontra-se perfeitamente enquadrada nos dispositivos. Dessa forma, uma análise mais detalhada da situação há a necessidade da elaboração do mosaico fundiário da região.

Caso vigorasse o percentual de substituição da cobertura vegetal original prevista no Código Florestal Brasileiro (50%) haveria ainda disponibilidade de área para tal, conforme se pode verificar na **Tabela 3**.

**TABELA 2. Balanço do total das áreas desmatadas na série temporal frente ao percentual permitido pela lei**

Instrumento Legal	Supressão Permitida (%)	Ano	Disponível para supressão (km <sup>2</sup> )	Suprimido até o ano considerado (km <sup>2</sup> )	Área total Disponível (km <sup>2</sup> )
Lei 4.771/65	50	1984	2.568,21	93,42	2.474,79
MP 1.511/96	20	1996	2.474,79	1.540,93 (*)	933,86
.		1997	933,86	882,44	51,42
.		1999	51,42	376,50	- 325,08
MP 2.166-67/00		2002	- 325,08	460,22	- 785,30
		2005	- 785,30	707,84	-1.493,14
		2008	-1.493,14	204,52	-1.697,66

Nota: (\*) Alteração da Lei 4.771/65, de 50% para 80% de Reserva Legal.

OLIVEIRA et al (2003) afirmaram que se fosse considerado a taxa de expansão do desmatamento estimada para o período de 1999-2002, haveria disponibilidade de área para expansão das classes de uso da categoria antrópica para mais 5,5 anos, ou seja até 2007. Analisando as taxas de desmatamento ocorrido no município no período posterior a 2002, observa-se que no ano de 2008 o município já não dispunha mais de áreas remanescentes.

**TABELA 3. Área disponível para desmatamento em função da lei nº 4.771 e da medida provisória nº 1.511 e reedições posteriores**

Instrumento Legal	Reserva Legal (%)	Reserva Legal (km <sup>2</sup> )	Desmate Até 2002 (km <sup>2</sup> )	Remanescente em 2002 (km <sup>2</sup> )	Desmate até 2008 (km <sup>2</sup> )	Remanescente (km <sup>2</sup> )
Lei 4.771/65	50	2.568,21	1.791,61	+ 848,60	2.631,52	- 63,31
MP 1.511/96	80	1.027,28	1.791,61	- 691,32	2.631,52	- 1.604,24
MP 2.166-67/00						

Nota: (+) significa disponibilidade de cobertura para desmatamento  
 (-) suplantação do valor máximo permitido

### Conclusões

Os dados obtidos neste período constituíram em uma série temporal de dados de desmatamentos e mostrou-se de fundamental importância para monitoramento ambiental.

Análise dos dados apontou que os fatores que originaram a substituição da cobertura vegetal original por uso da categoria antrópica são interativos e as respostas são complexas.

O uso de Leis vigente e daquela pretérita no âmbito da série temporal considerado foi básico para efeitos da análise da dinâmica do desmatamento e para interferências futuras.

Dinâmica de expansão da substituição da cobertura apresenta padrão de forte aceleração no período de 1997 a 1999 e de desaceleração no período de 1999-2002, mudando novamente o sentido após 2002.

Área desmatada de 1998 extrapolou os limites estabelecidos em Lei quando se considera somente a área do município e não o mosaico fundiário.

Projetos como o Sistema de Controle Ambiental desenvolvido pela FEMA no monitoramento de propriedades rurais, auxiliam no controle do desmatamento regional.

### Referências

Allegretti, M. H. Extractive Reserves: an Alternative for Reconciling Development and Environmental Conservation in Amazonia. In: ANDERSON, A. B. (ed.). *Alternatives to Deforestation Step Toward Sustainable Use of the Amazon Rain Forest*. Columbia University Press, New York, 1990. 253-264p. (Capítulo 16).

Barreto, M.L.D.F. Aproximaciones teoricas y fatores socio-economicos de la población de la region de Guanare-Masparro que incidem en la planificación del uso de la terra y en el manejo ambiental. Merida; Universidade de los Andes, 1981. 89 p.

Butcher, J. B. Forecasting future land use for watershed assessment. *Journal of the American Resources Association*, Washington, 35(3): 555-565, 1999.

Fearnside, P. M. Summary of progress in quantifying the potential contribution of Amazonian deforestation to the global carbon problem. In: ATHIE, D.; LOVEJOY, T. E.; OWENS, P. M. (eds.), *Workshop on Biogeochemistry of Tropical Rain Forests: Problems for Research*. Piracicaba, 1987. *Anais*. Piracicaba, CENAUSP, 1987.

Landis, J.R.; Koch, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v.33, n.1, p.159-174, 1977.

Milne, A. Change detection analysis using Landsat imagery: a review of methodology. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM (IGARSS'88), Edinburgh, 1988. *Proceeding*. Edinburgh: European Espace Agency, 1988

Oliveira, C.A.A.; Moura, V.; Chiaranda, R. *Avaliação multitemporal da dinâmica do desmatamento da cobertura vegetal no município de Nova Monte Verde-MT*. IN: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. *Anais*. Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 2845 – 285.