

Aplicação de Técnicas de Geoprocessamento no Monitoramento da Cobertura Florestal na Área de Influência da Ferrovia Carajás-São Luís

Kleber de Faria¹
Thelma Krug²
Yosio Edemir Shimabukuro²

¹FUNCATE - Fundação de Ciências, Aplicações e Tecnologias Espaciais
Av. Dr. João Guilhermino, 429 - 11º andar
12243 - São José dos Campos, São Paulo, Brasil

²INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
12201 - São José dos Campos, São Paulo, Brasil

Abstract. The present study aims at proposing a methodology to evaluate the change in forest cover within the zone of influence of the railway Carajás-São Luís, using orbital images and Geographic Information System. The information about the ground cover was obtained through visual interpretation of LANDSAT MSS and TM images from 1980, 1985 and 1989. The standard work unit consisted of georeferenced cells, which cover the study area, defining a lattice. From the manipulation of lattices it was possible to obtain the rate of change of forest cover. The approach allows for spatial analysis through a Geographic Information System, thus providing a sinoptic view of the study area.

1 - Introdução

O Brasil possui a maior floresta tropical úmida do planeta. O gerenciamento deste recurso natural torna-se complexo em virtude da sua extensão, com aproximadamente 5.000.000 km².

Monitorar a distribuição espacial desta cobertura vegetal, visando um manejo sustentado, requer rapidez na aquisição dos dados e precisão no processamento dos mesmos.

Inúmeras técnicas têm sido empregadas para este fim, com

destaque para os levantamentos realizados com produtos de sensoriamento em nível orbital.

Um dos principais vetores causadores da degradação desta floresta é a implantação de estradas, em virtude da forte componente social e estratégica que possui (Cross, 1990; Malingreau e Tucker, 1988; Woodwell et al., 1983).

A ferrovia Carajás-São Luís foi recentemente construída, visando atender a demanda do transporte de minério de ferro do Pólo da Serra de Carajás, no Estado do Pará.

A aplicação de técnicas de geoprocessamento, que permitem a aquisição, armazenamento e a análise de dados ambientais tem contribuído na elaboração de diagnósticos ambientais causados por empreendimentos desta natureza (Nelson e Holben, 1986; Alves, 1990; Trotter, 1991)

O presente trabalho visa apresentar uma metodologia para monitorar a cobertura florestal, associando técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica (SIG), aplicando-a na área de influência da ferrovia Carajás-São Luis, nos períodos compreendidos entre 1980 e 1985 (período 1), entre 1985 e 1989 (período 2) e entre 1980 e 1989 (período 3). É feita uma avaliação da alteração da cobertura florestal na área equidistante 75 km da ferrovia, e da área compreendida entre 75 e 150 km.

A área de estudo foi analisada de forma espacializada e através de células georeferenciadas, permitindo a identificação pontual de áreas com alteração da cobertura florestal.

2 - Material e Métodos

Localizada nos Estados do Pará, Maranhão e Tocantins, a área de estudo abrange um total de 320.000 km². Seus limites excedem o eixo da ferrovia Carajás-São Luis em aproximadamente 150 km, exceto a leste onde encontra-se extensa faixa litorânea entrecortada pela Baía de São Marcos (Figura 1).

Neste trabalho utilizou-se imagens orbitais de 43

passagens compreendidas no período de junho à novembro fornecidas pelos satélites LANDSAT 3 e 5. Dados do MSS nas bandas 4 (500-600 nm), 5 (600-700 nm) e 7 (800-1100 nm) foram utilizados para produzir composições coloridas falsa cor, na escala de 1:250.000, enquanto os produtos TM empregados constituíram-se de composições coloridas normais utilizando as bandas 3 (630-690 nm), 4 (700-900 nm) e 5 (1550-1750 nm).

Os anos-base considerados na seleção das imagens foram 1980, 1985 e 1989. Permitiu-se, entretanto, uma variação de mais ou menos 3 anos, considerando a dificuldade de se obter imagens úteis na região de estudo, devido à alta incidência de nuvens.

A maior parte das imagens utilizadas foram adquiridas no período seco, quando a ação antrópica é favorecida pela ausência de chuvas. A concentração das imagens em torno de uma mesma época do ano permite melhor confiabilidade nas taxas anuais de alteração da cobertura florestal.

Foram utilizadas 28 cartas planialtimétricas produzidas pelo IBGE ou DSG, na escala de 1:250.000, como forma de dar orientação cartográfica padrão aos temas de interesse nesse estudo, quando da fase de interpretação visual.

Os equipamentos utilizados neste trabalho constituíram-se de uma estação de trabalho baseada em microcomputador PC-IBM 486 com placa gráfica SITIM 340, acoplada a uma mesa digitalizadora, e um monitor de 14".

2.1 - Abordagem Metodológica

Nesta secção discutem-se os passos necessários à implementação da metodologia proposta. Esses passos são sumarizados no fluxograma da Figura 2.

Os dados necessários ao presente estudo foram obtidos a partir de: 1) organização prévia de um sistema de articulação dos produtos orbitais com as cartas planialtimétricas; 2) definição dos temas de interesse; 3) interpretação visual das imagens; e 4) cálculo de área.

Com o propósito de facilitar a aquisição dos dados durante a fase de interpretação visual de imagens, e para permitir a realização de operações em dados adquiridos em passagens distintas, particionou-se cada carta em 24 subunidades, doravante denominadas células. Cada célula tem 15'x15', equivalendo a uma área de aproximadamente 760 km², obedecidos os limites de 150 km a partir do eixo da ferrovia. A escolha do tamanho da célula foi feita visando preservar-se o mesmo padrão cartográfico das cartas na escala de 1:50.000 do IBGE. Objetivou-se também facilitar os serviços de digitalização, agilizando o processo de aquisição de dados e diminuindo a incidência de erros de medida e na posterior digitação dos mesmos.

A Figura 3 mostra as 427 células resultantes da subdivisão das 28 cartas planialtimétricas em subunidades de 15'x15', obedecidos os limites da área de estudo. Os limites foram aqueles definidos por um polígono cujo perímetro tem seus pontos equidistantes 150 km do eixo da ferrovia, exceto

a leste. Esta distância foi baseada no trabalho de Cross (1990), que sugere que a zona de influência de uma rodovia se estende entre 100 e 200 km.

Visando possibilitar a análise da alteração da cobertura florestal na zona de influência da ferrovia Carajás-São Luís, particionou-se a área de estudo em duas subáreas distintas: 1) subárea equidistante 75 km do eixo da ferrovia, a qual passa a ser denominada IR (inner ring), compreendendo 193 células; e 2) subárea compreendida entre 75 e 150 km do eixo da ferrovia, doravante designada OR (outer ring), contendo 234 células.

Os temas Remanescente Florestal, Área Alterada e Não-Floresta foram demarcados em um overlay sobreposto a uma imagem de satélite. A identificação dos temas foi feita a partir das características espectral e espacial dos alvos, associadas à textura fotográfica, bem como considerando-se o contexto onde estavam inseridos. Neste trabalho são apresentados apenas os resultados do tema área alterada.

As áreas demarcadas no overlay foram calculadas separadamente para cada célula, por tema, utilizando o programa CAREA e transportados para planilhas.

Após a obtenção dos dados de área, os mesmos foram digitados na planilha LOTUS 123 versão 2.0, dando origem a um arquivo de trabalho com 45 colunas.

No caso de uma célula estar presente em duas imagens distintas, no mesmo ano-base, considerou-se a data de passagem com maior predominância de área, na

célula.

Com o objetivo de detectar possíveis erros nos dados, algumas operações foram efetuadas no LOTUS. Uma das operações consistiu na subtração das áreas alteradas em 1980, 1985 e 1989 das áreas correspondentes a efetiva floresta (área de floresta menos área de não-floresta). Outra operação envolveu a soma das áreas relativas a floresta de mangue, corpos d'água, dunas, restinga e cerrado, e sua subsequente subtração da área total da célula. Outros indicadores de possíveis erros nos dados, basearam-se em alguns parâmetros estatísticos, obtidos para cada coluna na planilha, como: máximo e mínimo, média, variância e desvio padrão.

Os dados de área foram tratados para compatibilizá-los com o software SGI. O tratamento dos dados consistiu nos seguintes itens: 1) transferência do arquivo grade no formato ASCII oriundo do software LOTUS através da aplicação do software especificamente desenvolvido para esta operação; 2) edição dos arquivos grade no aplicativo NORTON EDITOR R, na forma de matrizes 27 x 36; e 3) formatação dos arquivos grades editados no NORTON EDITOR. As matrizes fornecem a configuração espacial das células, na área de estudo. Para uma matriz específica, os valores correspondem à área do tema investigado, em cada célula.

Para assegurar a entrada adequada dos dados no SGI, alguns procedimentos foram efetuados (ver Faria, 1993).

Como forma de identificar

novamente possíveis erros decorrentes de manipulação dos dados nas diferentes fases envolvidas, procedeu-se ao fatiamento dos dados através da utilização de um programa que forneceu a distribuição da frequência dos dados para cada tema considerado. Como a base de dados consiste de uma coluna regular, possíveis valores aberrantes (outliers) puderam ser rapidamente localizados, conferidos e corrigidos, se constatadas incoerências.

A identificação de possíveis outliers pode também ser feita visualmente, através da imagem gerada a partir das grades contendo os dados de área. Através da associação de diferentes cores à dados contidos em diferentes intervalos de classe (fatiamento dos dados) pode-se identificar aquelas células que tem associadas valores discrepantes, com relação aos valores das células na sua vizinhança (vizinhos mais próximos).

Assim, a partir de um banco de dados confiável, procedeu-se à obtenção das taxas de alteração da cobertura florestal, nos três períodos estudados, para toda a área de estudo, e para as regiões IR e OR.

Visando atender os objetivos propostos neste trabalho foram adotados os seguintes procedimentos de análise: 1) análise espacial, através do SIG; e 2) análise numérica, através de parâmetros estatísticos e histogramas.

De forma a identificar-se a localização espacial das alterações de cobertura florestal na área de estudo, realizou-se um fatiamento no

SGI, associando-se uma cor específica a cada intervalo de classe. No estudo das áreas IR e OR foram utilizadas funções do SGI que permitiram seccionar esta imagem através de uma máscara.

Histogramas da distribuição da frequência em classes também foram obtidos para cada conjunto de dados, de forma a poder-se avaliar a taxa de alteração da cobertura florestal nos três períodos estudados. Em função do número de células compreendido nas áreas IR e OR ser diferente (193 e 234 respectivamente, e conseqüentemente não diretamente comparável), os histogramas apresentam as frequências relativas dos dados, e não suas frequências absolutas.

3 - Resultados e Discussão

A aplicação da metodologia proposta resultou na obtenção das taxas anuais de alteração da cobertura florestal para os três períodos considerados. A taxa é discutida para os dados da área toda de estudo (AE), assim como para as regiões IR e OR.

As taxas anuais de alteração da cobertura florestal nos períodos 1 (de 1980 a 1985), 2 (de 1985 a 1989) e 3 (de 1980 a 1989), para toda a área de estudo, mostra que os valores mais elevados, em todos os períodos considerados, concentraram-se próximo às zonas de pressão antrópica, como por exemplo o Pólo Mineral de Carajás, a Hidroelétrica de Tucuruí e a cidade de Imperatriz.

Junto ao traçado da ferrovia não se verifica a ocorrência

regular de taxas mais elevadas, indicando que a alteração da cobertura florestal não é simétrica ao eixo da ferrovia.

A Tabela 1 mostra algumas estatísticas sumárias e a distribuição de frequência dos dados relativos à taxa anual de alteração da cobertura florestal. São apresentadas tantas as frequências absolutas (ABS) quanto as frequências relativas (REL), que são sumarizadas no histograma apresentado na Figura 4. Nota-se, na Tabela 1, que as taxas médias para os períodos 1, 2 e 3 foram 1,8%, 1,9% e 1,9%, respectivamente. Na Tabela 1 verifica-se que a classe > 10% de taxa anual inclui menos de 5% do total das células. Entretanto, houve um aumento na frequência relativa, de 1% para 4%, entre os períodos 1 e 2, sugerindo a ocorrência de ação antrópica localizada sobre a cobertura florestal, mais concentrada ao sul de Carajás, Marabá e Imperatriz.

A Tabela 2 apresenta a taxa anual de alteração da cobertura florestal para as regiões IR e OR, para os três períodos considerados. Comparando-se os períodos 1 e 2 nota-se que houve, para ambas regiões IR e OR, um aumento na frequência da classe > 10%. Os valores associados à esta classe ocorreram próximos ao Pólo de Carajás e à cidade de Imperatriz.

A expectativa, no que tange a análise das áreas IR e OR, é encontrar taxas mais elevadas de alteração da cobertura florestal na região IR do que na OR, em virtude de incluir, em sua circunscrição, os principais centros urbanos e a rede viária que os interliga. Entretanto pólos como Tucuruí e

parte da zona de influência de Carajás estão localizados na área OR. Assim, nota-se que para o período 1, as taxas médias de alteração foram 1,7% e 1,8%, para as regiões IR e OR, respectivamente. Para o período 2, essas taxas médias foram 2,1% e 1,8%. Este aumento da taxa de alteração na região IR, de um período para outro, pode estar relacionado com o reflexo da implantação, no período 2, do Pólo de Carajás, da ferrovia Carajás-São Luís e pela construção do reservatório de Tucuruí, instalados no período 1. Informações complementares são fornecidas em Faria (1993).

A Figura 5 fornece o histograma das frequências relativas em cada um dos intervalos de classe apresentados na Tabela 2 (relativos à região IR), enquanto a Figura 6 apresenta os histogramas referentes à área OR.

Ressalta-se que no tema áreas alteradas foram incluídas as áreas de florestas inundadas por represas. O reservatório de Tucuruí é o único responsável pelos valores encontrados neste plano de informação, perfazendo aproximadamente 2.091 km² de área de floresta inundadas, somente dentro da área de estudo (representando 0,6% de toda a área estudada).

4 - Conclusões

A metodologia proposta mostrou-se adequada para a avaliação da alteração da cobertura florestal na área de influência da ferrovia Carajás-São Luís, propiciando uma análise multitemporal, sinótica e ao mesmo tempo pontual, através de células georeferenciadas.

Os resultados obtidos com a aplicação desta metodologia mostrou que a implantação da ferrovia não promoveu a alteração da cobertura florestal de forma simétrica ao longo do seu eixo, bem como demonstrou que a região IR apresentou valores de aceleração da taxa maiores, quando comparados à região OR, indicando uma ação antrópica mais efetiva sobre a cobertura florestal.

O tamanho de grade adotado neste estudo guardou uma relação aceitável, considerando-se o número total de células (427), o tamanho da área de estudo (320.000 km²) e o número de temas analisados. Estudos comparativos variando o tamanho da grade poderão ser realizados visando investigar qual o tamanho adequado para o monitoramento da cobertura florestal em grandes extensões. Pequenas áreas poderão ser avaliadas utilizando um tamanho de grade mais refinada. Ressalta-se, entretanto, que uma grade de dimensões muito reduzidas pode acarretar em um aumento considerável no volume de dados a ser manipulado.

A metodologia proposta permite que sejam realizados estudos de prognósticos, estabelecendo-se uma curva de intensidade de desflorestamento para cada célula, observando-se a ocorrência ou não de uma linearidade ao longo do tempo em células mais ou menos alteradas.

A cobertura de nuvens sobre área de estudo foi um fator limitante na aplicação desta metodologia, embora a segmentação da área de estudo em células permitiu adotar-se alguns critérios para contornar

este problema. Produtos orbitais de outros satélites que possuam uma maior periodicidade (SPOT), ou mesmo imagens de radar, certamente serão de utilidade na solução deste problema.

Woodwell, G.W.; Hobbie, J.E.; Hournton, R.A., Helillo, J.M.; Moore, B.; Peterson, B.J; Shaver, G.R. Global deforestation: contribution to atmospheric carbon dioxide. *Science* 222, 1081-1086, 1983.

5 - Referências

Alves, D.S. Sistemas de informação geográfica. In: **Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento**, 1., São Paulo, 23-25 maio, 1990. Anais, São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1990, v.1, p. 66-78.

Cross, A. AVHRR as a data source for a GIS: deforestation in Amazonia. In: *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Washington, DC, May 20-25, 1990. Anais. p. 223-226.

Faria, K. de: **Proposição Metodológica para o Monitoramento da Distribuição Espacial da Cobertura Florestal Aplicando Técnicas de Geoprocessamento na Área da Ferrovia Carajás-São Luís**, Dissertação de Mestrado, São José dos Campos, INPE, 1993 (no prelo)

Nelson, R.; Holben, B.N. Identifying deforestation in Brazil using multi-resolution satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 7 (3),: 4, 29-448, 1986.

Trotter, C.M. Remotely-sensed data as an information source for geographical information systems in natural resource management: a review. *International Journal of Geographical Information Systems*, 5(2):225-239, Fev. 1991.

Anais do VII SBSR, 1993

Figura 1: Localização da área de estudo.

Figura3: Fluxograma da metodologia proposta.

Figura 4: Divisão da área de estudo em 427 células, obtidas da subdivisão de 28 cartas planialtimétricas na escala de 1:250.000.

TABELA 4.4 - ALGUMAS ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS E DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DA TAXA ANUAL DE ALTERAÇÃO NOS TRÊS PERÍODOS CONSIDERADOS

PARÂMETROS	PERÍODO					
	80-85		85-89		80-89	
Mínimo :	- 7,6		- 8,5		- 2,8	
Máximo :	14,3		29,7		10,0	
Média :	1,8		1,9		1,9	
Var. :	7,4		16,5		5,4	
Desvio :	2,7		4,1		2,3	

CLASSES (em %)	FREQUÊNCIA					
	ABS	REL	ABS	REL	ABS	REL
>- 5]	3	1	5	1	0	0
(- 5 , 0]	126	30	167	40	119	28
(0 , 5]	242	57	195	46	253	60
(5 , 10]	46	11	36	9	50	12
> 10)	5	1	19	4	0	0

Figura 10: Histograma de frequência das taxas anuais de alteração para os períodos 1, 2 e 3.

TABELA 4.5 - ALGUMAS ESTATÍSTICAS E DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DAS TAXAS ANUAIS DE ALTERAÇÃO NAS REGIÕES IR E OR, NOS PERÍODOS 1, 2 E

3

PARÂMETROS	PERÍODO 1		PERÍODO 2		PERÍODO 3	
	IR	OR	IR	OR	IR	OR
Mínimo:	-3,3	-7,6	-5,2	-8,5	-1,2	-2,8
Máximo:	9,7	14,3	29,7	21,8	10,0	9,8
Média :	1,7	1,8	2,1	1,8	1,8	1,9
Var. :	5,1	9,3	16,9	16,2	4,3	6,2
Desvio:	2,3	3,1	4,1	4,0	2,1	2,5

REGIÃO ² IR						
CLASSE	PERÍODO 1		PERÍODO 2		PERÍODO 3	
	ABS	REL	ABS	REL	ABS	REL
>- 5]	0	0	1	1	0	0
(- 5 , 0]	48	25	67	35	46	24
(0 , 5]	124	65	102	53	131	68
(5 , 10]	20	10	14	7	15	8
> 10)	0	0	8	4	0	0

REGIÃO OR						
CLASSE	PERÍODO 1		PERÍODO 2		PERÍODO 3	
	ABS	REL	ABS	REL	ABS	REL
>- 5]	3	2	4	2	0	0
(- 5 , 0]	78	34	100	43	73	32
(0 , 5]	118	51	93	40	122	53
(5 , 10]	26	11	22	10	35	15
> 10)	5	2	11	5	0	0

Figura 11: Histograma de frequência das taxas anuais de alteração para a área IR, nos períodos 1, 2 e 3.

Figura 12: Histograma de frequência das taxas anuais de alteração para a área OR, nos períodos 1, 2 e 3.

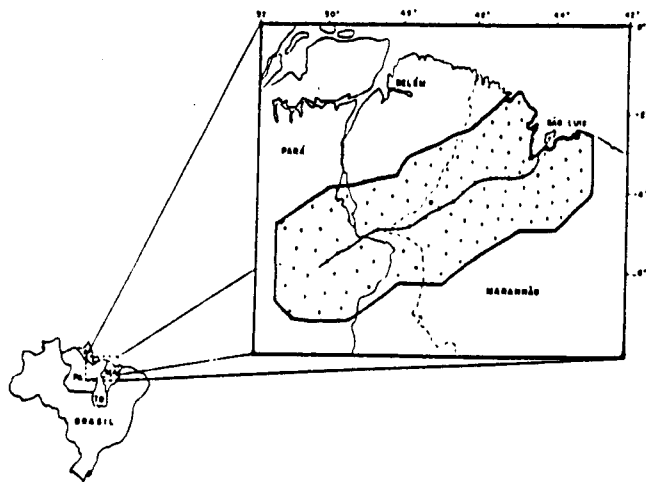


Fig. 1. - Localização da área de estudo.

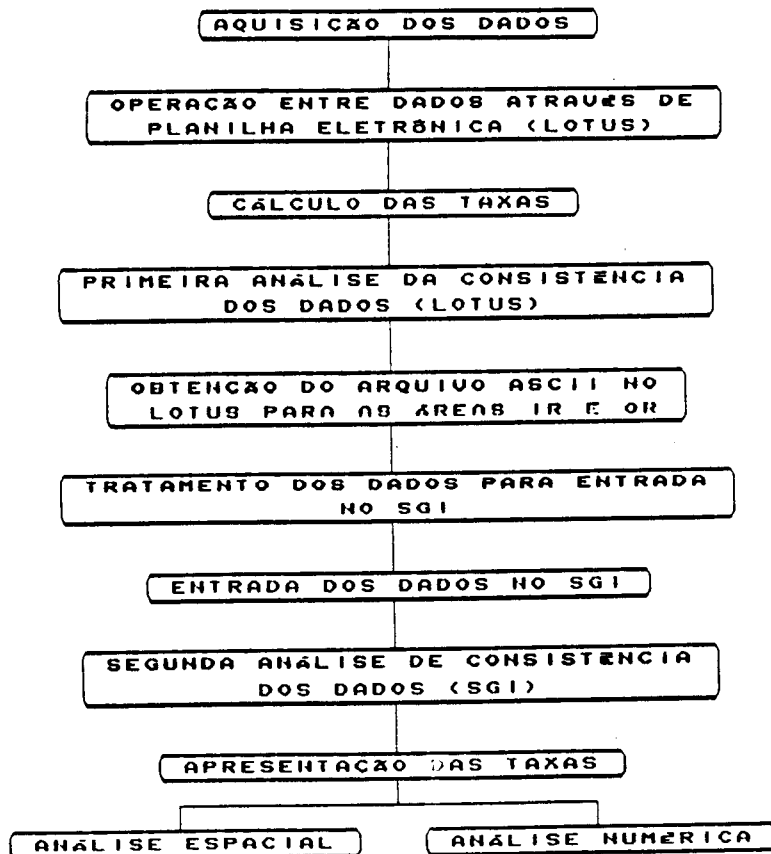


Fig. 2 - Fluxograma da metodologia proposta.

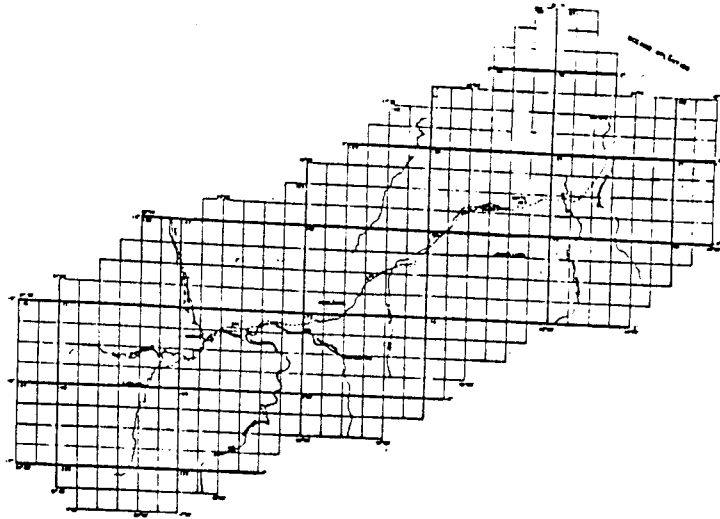


Fig. 3 - Divisão da área de estudo em 427 células, obtidas da sub-divisão de 28 cartas planialtimétricas na escala de 1:250.000.

TABELA 1 - ALGUMAS ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS E DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DA TAXA ANUAL DE ALTERAÇÃO NOS TRÊS PERÍODOS CONSIDERADOS

PARÂMETROS	PERÍODO		
	1	2	3
Mínimo :	- 7,6	- 8,5	- 2,8
Máximo :	14,3	29,7	10,0
Média :	1,8	1,9	1,9
Var. :	7,4	16,5	5,4
Desvio :	2,7	4,1	2,3

CLASSES (em %)	FREQUÊNCIA					
	ABS REL		ABS REL		ABS REL	
>= 5]	3	1	5	1	0	0
(= 5 , 0]	126	30	167	40	119	28
(0 , 5]	242	57	195	46	253	60
(5 , 10]	46	11	36	9	50	12
> 10]	5	1	19	4	0	0

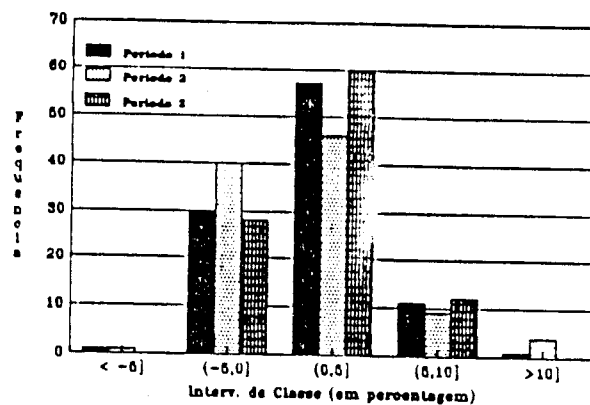


Fig. 4 - Histograma de frequência das taxas anuais de alteração para os períodos 1, 2 e 3.

TABELA 2.2 - ALGUMAS ESTATÍSTICAS E DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DAS TAXAS ANUAIS DE ALTERAÇÃO NAS REGIÕES IR E OR, NOS PERÍODOS 1, 2 E 3

PARÂMETROS	PERÍODO 1		PERÍODO 2		PERÍODO 3	
	IR	OR	IR	OR	IR	OR
Mínimo:	-3,3	-7,6	-5,2	-8,5	-1,2	-2,8
Máximo:	9,7	14,3	29,7	21,8	10,0	9,8
Média:	1,7	1,8	2,1	1,8	1,8	1,9
Var.:	5,1	9,3	16,9	16,2	4,3	6,2
Desvio:	2,3	3,1	4,1	4,0	2,1	2,5

CLASSE	REGIÃO IR					
	PERÍODO 1		PERÍODO 2		PERÍODO 3	
	ABS	REL	ABS	REL	ABS	REL
>= 5]	0	0	1	1	0	0
(- 5 , 0]	48	25	67	35	46	24
(0 , 5]	124	65	102	53	131	68
(5 , 10]	20	10	14	7	15	8
> 10)	0	0	8	4	0	0

CLASSE	REGIÃO OR					
	PERÍODO 1		PERÍODO 2		PERÍODO 3	
	ABS	REL	ABS	REL	ABS	REL
>= 5]	3	2	4	2	0	0
(- 5 , 0]	78	34	100	43	73	32
(0 , 5]	118	51	93	40	122	53
(5 , 10]	26	11	22	10	35	15
> 10)	5	2	11	5	0	0

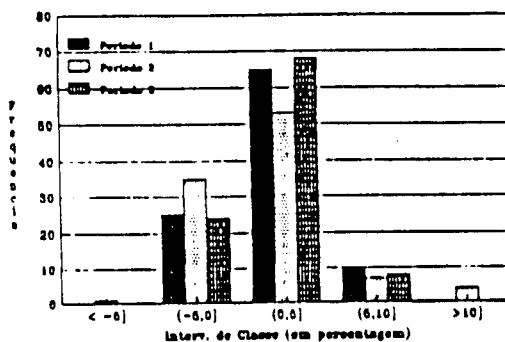


Fig. 5 - Histograma de frequência das taxas anuais de alteração para a área IR, nos períodos 1, 2 e 3.

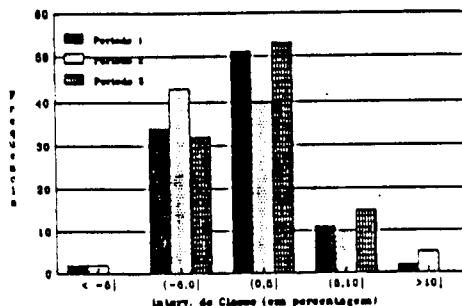


Fig. 6 - Histograma de frequência das taxas anuais de alteração para a área OR, nos períodos 1, 2 e 3.