

DEFINIÇÃO DE UNIDADES DE PAISAGEM NATURAL ATRAVÉS DE CRUZAMENTOS ENTRE MAPAS: ABORDAGEM CRÍTICA E APLICABILIDADE

Haron Abraham Magalhães Xaud
Embrapa Roraima
BR-174, km 8 - Distrito Industrial, CP: 133
CEP: 69301-970, Boa Vista - RR, Brasil
Tel: (095) 626-7125 Fax: (095) 626-7104
haron@cpafrr.embrapa.br

Vitor Celso de Carvalho
INPE
Av. dos Astronautas 1758, Jardim da Granja
CP: 515, CEP: 12201-970, São José dos Campos - SP, Brasil
Tel: (012) 345-6441 Fax: (012) 345-6449
vitor@ltd.inpe.br

Resumo

Este trabalho baseia-se na definição de unidade de paisagem natural (UPN) como uma área geográfica homogênea quanto às características de vegetação, pedologia e geomorfologia. O objetivo principal constitui-se em verificar os resultados da separação de UPN's a partir de cruzamentos entre mapas, em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). No tratamento quantitativo das relações de associação existentes entre os temas envolvidos, utilizou-se Teste do X², Coeficiente de Contingência e razão simples entre a frequência observada e frequência esperada (Fo/Fe) das classes obtidas através dos cruzamentos. O produto resultante revela algumas áreas confusas para análise, devido ao efeito de bordas dos polígonos após execução dos cruzamentos. Mesmo assim, as UPN's contém informações úteis para inferências quanto às associações mais comuns entre as classes dos temas envolvidos. Foi detectado que algumas classes de vegetação têm maior grau de associação com classes específicas de geomorfologia ou de solos, indicando que cada um desses temas pode ter sido mais determinante na distribuição geográfica daquela classe de vegetação.

Abstract

This work is based on natural landscape units, defined as geographic area with same characteristics by vegetation, pedology and geomorphology. The objective is investigate the results of determination of natural landscape units using maps intersection going on at Geographic Information System (GIS). For the quantitative approach of relationships between themes, it was used X² test, Contingency Coefficient and simple fraction between observed and expected frequency (Fo/Fe) of classes generated through map operation (cross). The product show some confuse areas, referring to the lips of polygons after crosses. Even so, the natural landscapes units contain useful informations for inferences as for commons associations between classes of themes engaged. It was observed some vegetation classes with high association degree with especifics geomorphological and pedological classes, showing that each one of this themes could have more influence in geographic distribution of that vegetation classes.

Introdução

As unidades de paisagem natural (UPN) vêm constituindo-se numa das bases conceituais para execução de zoneamentos, ordenamentos territoriais, e estudos ambientais diversos. Existem alguns métodos diferenciados para se chegar a sua definição dentro de uma determinada área geográfica, o que depende não só da técnica de obtenção, mas do próprio conceito de UPN utilizado.

Este trabalho baseou-se na UPN como sendo uma área geográfica de tamanho variável que apresentasse as mesmas características quanto às classes temáticas, como indicado em Assad (1996). Para efeito deste trabalho, foram utilizados os temas vegetação, pedologia e geomorfologia. O objetivo do mesmo foi o de verificar os resultados da separação de UPN's a partir de cruzamentos entre mapas, em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Neste caminho de investigação é inerente que sejam valorizados pontos relevantes para os usuários de Sistemas de Informação Geográfica, os dois primeiros preconizados por Burrough (1986):

1. utilização de dados preexistentes para extração de novas informações;
2. a potencialização da extração de informações através de SIG;
3. utilização de critérios de decisão objetivos, quantificáveis, quanto às associações de classes mais significantes entre os diversos temas.

A área de estudo situa-se na porção Centro-Norte do Estado de Roraima entre os meridianos 61° 00' e 61° 30' de longitude Oeste e 03° 00' e 03° 30' de latitude Norte (Figura 1), apresentando condições variadas de elementos de vegetação, solos e relevo.

A vegetação pode ser dividida em dois grandes grupos: florestas, que ocupam cerca de 40 % e savanas com 60 %. A floresta dominante é a Estacional Semidecidual e as savanas formam complexos de savanas parque + savanas gramíneo-lenhosas, com um ou outro tipo dominando, aparecendo também áreas onde ocorrem capões de mata associados às fisionomias de savanas.

Os solos Podzólicos (PVA, PE) dominam a área em numerosos tipos de associações com subclasses destes e com outras classes de solos, conforme levantamento de solos realizado pela EMBRAPA/SNLCS (1983), podendo-se afirmar que ocorrem em 59,8 % da área. Latossolos (18,8 %) aparecem em segundo plano, seguidos de Terra Roxa (6,4 %), Areias Quartzosas (5,6), Plintossolos (1,4), Planossolos (1,1) e Solos Gley (ocorrem somente dentro de associações).

A geomorfologia está representada por um relevo predominantemente plano com ondulações pouco acentuadas devido à ação dos cursos d'água constituídos de igarapés intermitentes, em sua maioria. A parte mais movimentada do relevo é constituída de colinas, raramente apresentando cristas e pontões, ocasionados por dissecações efetuadas por drenagens mais aprofundadas.

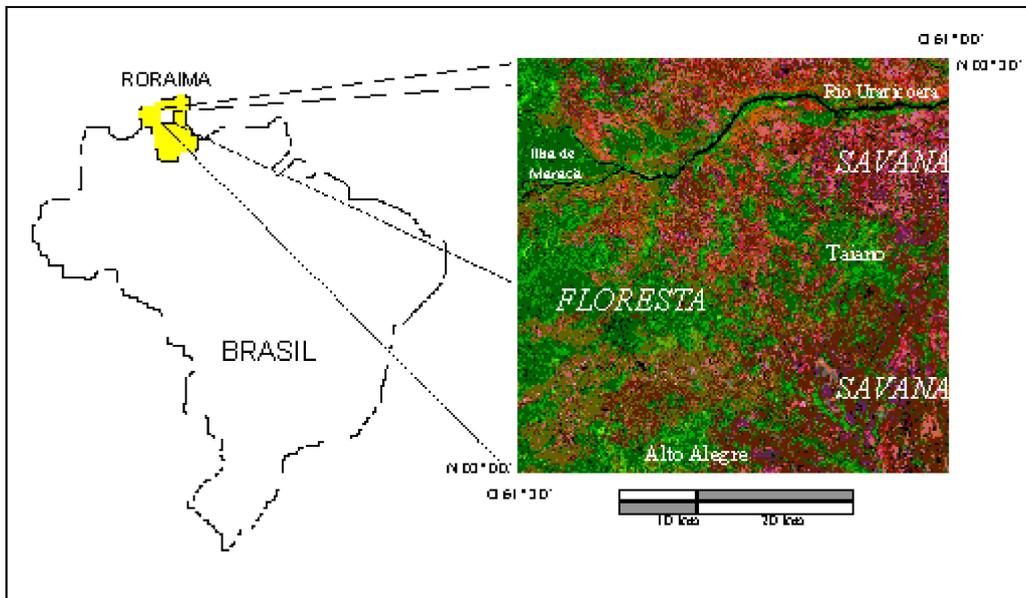


Fig. 1- Localização da área de estudo.

Material e métodos

O material básico utilizado neste trabalho foi proveniente de dados temáticos de Vegetação, Pedologia e Geomorfologia gerados em etapas anteriores ao mesmo. O mapa de vegetação (Figura 2, Tabela 1) foi obtido a partir de interpretação visual realizada sobre as bandas realçadas (aumento de contraste linear): 3, 4, 5 do sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat-5 e imagens-proporções de Solo, Sombra e Vegetação obtidas através de Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), e ainda, dados de levantamento de campo.

O mapa de geomorfologia (Figura 3, Tabela 2) foi gerado a partir de mapa do projeto RADAMBRASIL, digitalizado (BRASIL, 1975), complementado por interpretação visual sobre

as mesmas bandas utilizadas para a geração do mapa de vegetação.

O mapa de solos (Figura 4, Tabela 3) foi digitalizado a partir do mapa de solos da Embrapa (EMBRAPA/SNLCS, 1983), levantamento de média intensidade. Os três temas formaram a base de informações georreferenciadas para este trabalho, e a escala utilizada foi de 1:250.000.

Os dados georreferenciados, armazenados sob formato "temático" em três planos de informação (PI's), no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas – SPRING, foram cruzados, gerando-se novos dados:

- a. mapas resultantes de cruzamentos parciais: Vegetação x Solos e Vegetação x Geomorfologia;
- b. mapa resultante de unidades de paisagem natural: Vegetação x Solos x Geomorfologia.

A partir de operação de consulta no SPRING foram gerados dados de área das classes para todos os temas originais e resultantes. Estes dados foram, então, analisados estatisticamente, com intuito de verificar a significância entre as associações de classes resultantes dos cruzamentos. Este procedimento consistiu em averiguar a relação entre frequência observada (Fo) e frequência esperada (Fe) para cada classe resultante.

A análise de dados deste tipo remeteu à aplicação de Estatística Não-Paramétrica, com uso de testes de Qui-quadrado (X^2), de Coeficiente de Contingência (C) e da razão simples entre a frequência observada e frequência esperada (Fo/Fe).

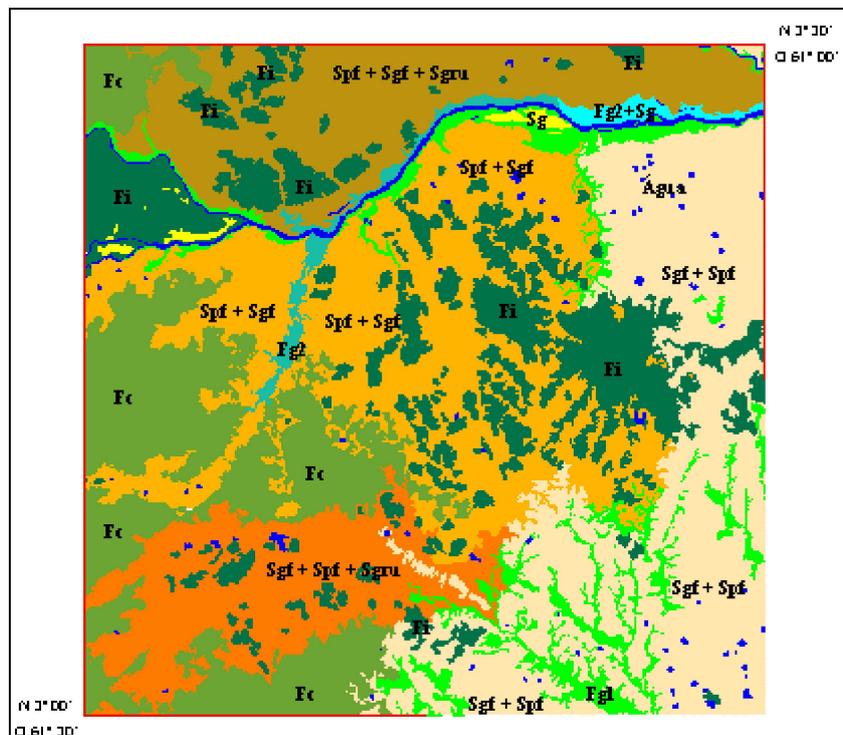


Fig. 2 – Mapa de Vegetação.

TABELA 1 - CLASSES DE VEGETAÇÃO OCORRENTES NA ÁREA

SÍMBOLO	NOME	ÁREA (km ²)	ÁREA (%)
Sg	Savana Gramíneo-lenhosa	10,0	0,3
Sgf + Spf	Savana Gramíneo-lenhosa com veredas + Savana Parque com veredas	642,0	20,9
Spf + Sgf	Savana Parque com veredas + Savana Gramíneo-lenhosa com veredas	636,5	20,7
Sgf + Spf + Sgru	Savana Gramíneo-lenhosa com veredas + Savana Parque com veredas + Capões de Mata	288,8	9,4
Spf + Sgf + Sgru	Savana Parque com veredas + Savana Gramíneo-lenhosa com veredas +	349,7	11,4

	Capões de Mata232-3170		
Fg1	Floresta de Galeria 1 (dossel fechado)	172,1	5,6
Fg2	Floresta de Galeria 2 (dossel aberto)	30,5	1,0
Fg2 + Sg	Floresta de Galeria 2 + Savana Gramíneo-lenhosa	17,1	0,5
Fi	Floresta isolada	411,5	13,4
Fc	Floresta contínua	475,3	15,5
Água	Corpos d'água	38,5	1,3
TOTAL		3072,0	100,0

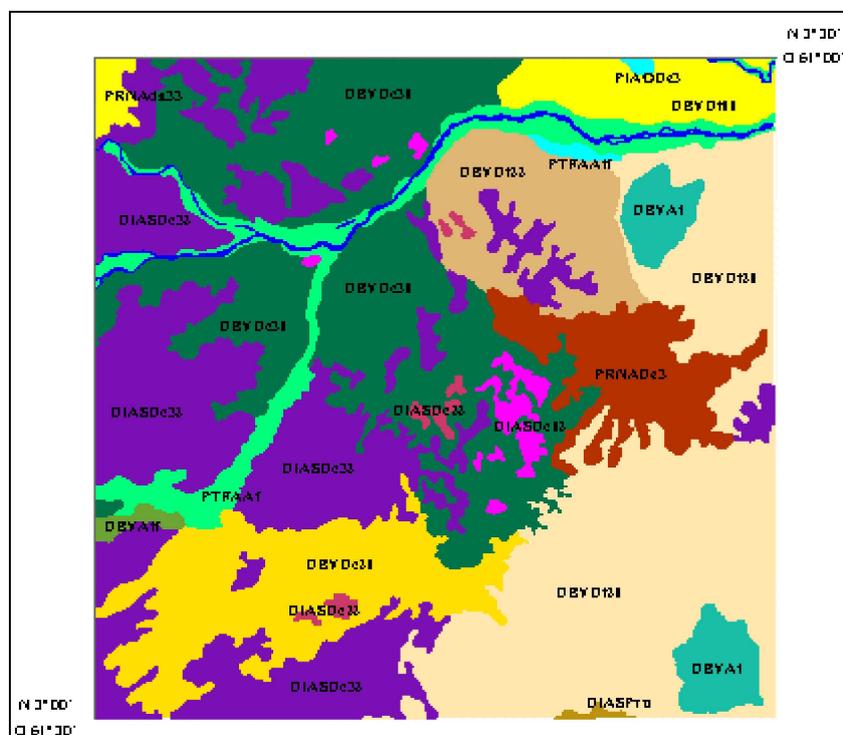


Fig. 3 – Mapa de Geomorfologia

TABELA 2 - CLASSES DE GEOMORFOLOGIA DO MAPA ADAPTADO

Classes	Descrição: Unidades de relevo, modelado (mod.)	Área Km ²	Área %
PTFAAf	Planícies e Terraços Fluviais da Amazônia, mod. de acumulação <i>planície fluvial</i>	156,7	5,1%
DBVAi	Depressão Boa Vista, mod. de acumulação de <i>inundação</i>	85,8	2,8%
PIAODe3	Planalto do Interflúvio Amazonas - Orinoco, mod. de <i>dissecação estrutural</i> , aprofundamento das incisões 3 (<i>médio</i>)	3,1	0,1%
DIASPrU	Depressão Interplanáltica da Amazônia Setentrional, mod. de aplanamento, <i>pediplano</i> retocado desnudado	3,9	0,1%
DBVDt11	Depressão Boa Vista, mod. de <i>dissecação tabular</i> , aprofundamento <i> muito fraco</i> , densidade de drenagem <i> muito grosseira</i>	99,8	3,3%
DBVDt21	Depressão Boa Vista, mod. de <i>dissecação tabular</i> , aprofundamento <i> fraco</i> , densidade de drenagem <i> muito grosseira</i>	664,5	21,6%
PTFAAft	Planícies e Terraços Fluviais da Amazônia, mod. <i>terraço fluvial</i>	6,7	0,2%
PRNAd33	Planaltos Residuais do Norte da Amazônia, mod. de <i>dissecação aguçado</i> aprofundamento e densidade <i>médios</i>	18	0,6%
DIASDc12	Depressão Interplanáltica da Amazônia Setentrional, mod. de <i>dissecação</i> em colinas, aprofundamento <i> muito fraco</i> , densidade de drenagem <i> grosseira</i>	31,6	1,0%
DIASDc32	Depressão Interplanáltica da Amazônia Setentrional, mod. de <i>dissecação</i> em colinas, aprofundamento <i>médio</i> e densidade <i>grosseira</i>	716,7	23,3%
DBVDc31	Depressão Boa Vista, mod. de <i>dissecação</i> em colinas, aprofundamento <i>médio</i> e densidade <i> muito grosseira</i>	633,9	20,6%
DIASDc22	Depressão Interplanáltica da Amazônia Setentrional, mod. de <i>dissecação</i> em colinas, aprofundamento <i> fraco</i> e densidade <i>grosseira</i>	15	0,5%
Água	Rio	30,8	1,0%
DBVAft	Depressão Boa Vista, mod. de acumulação <i>terraço fluvial</i>	10,6	0,4%
PRNAd33	Planaltos Residuais do Norte da Amazônia, mod. de <i>dissecação estrutural</i> , aprofundamento médio das incisões	150,6	4,9%
DBVDc21	Depressão Boa Vista, mod. de <i>dissecação em colinas</i> , aprofundamento <i> fraco</i> , densidade de drenagem <i> muito grosseira</i>	280	9,1%

DBVDt22	Depressão Boa Vista, mod. de <i>dissecação tabular</i> , aprofundamento <i>fraco</i> , densidade de drenagem <i>grosseira</i>	164,3	5,4%
Total		3072,0	100,0

Obs: As características mais marcantes de cada classe estão destacadas em *itálico*.

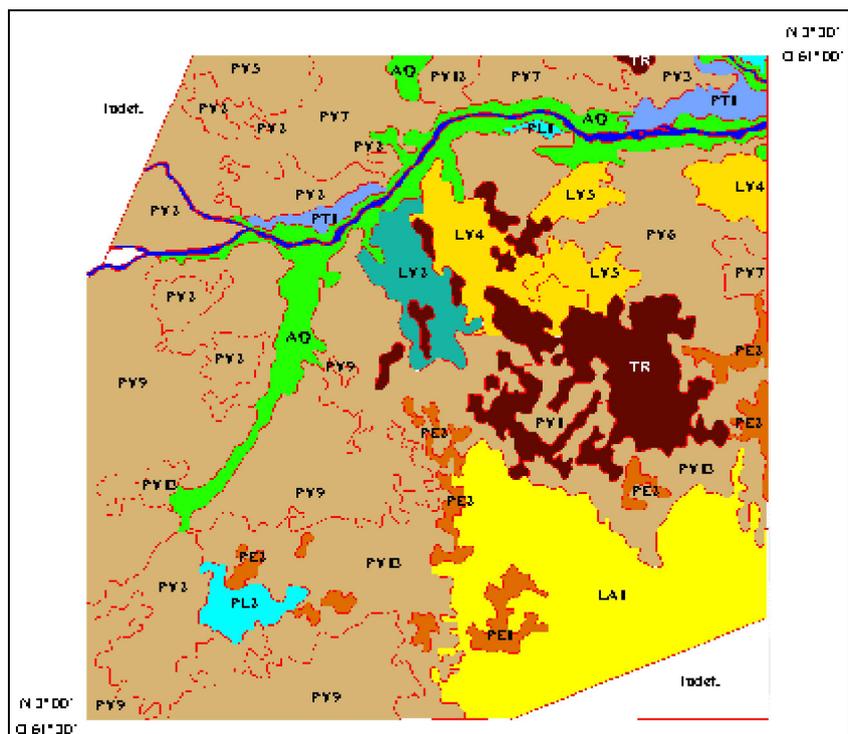


Fig. 4 – Mapa de Pedologia.

TABELA 3 - ÁREA OCUPADA PELAS CLASSES DE SOLO

Classe	Descrição	(km ²)	(%)
LA1	Associação de LATOSSOLO AMARELO podzólico textura média fase campo cerrado + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb textura arenosa/média fase campo e campo cerrado, ambos <i>ÁLICOS A</i> moderado relevo suave ondulado.	364,7	11,9
LV2	Associação de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO textura argilosa fase campo e campo cerrado relevo plano e suave ondulado + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO textura argilosa com cascalho fase campo relevo suave ondulado + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb textura arenosa/média fase campo e campo cerrado relevo plano e suave ondulado, todos <i>ÁLICOS A</i> moderado.	59,5	1,9
LV4	Associação de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO textura argilosa fase campo cerrado relevo plano e suave ondulado + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO podzólico textura média/argilosa fase campo cerrado relevo suave ondulado + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO Tb textura média/argilosa fase campo cerrado relevo suave ondulado + AREIAS QUARTZOSAS <i>ÁLICAS</i> fase campo relevo plano, todos <i>A</i> moderado.	100,1	3,3
LV5	Associação de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO podzólico fase campo cerrado relevo suave ondulado + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO Tb fase campo cerrado relevo suave ondulado + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO <i>ÁLICO</i> Tb fase campo relevo plano e suave ondulado, todos <i>A</i> moderado textura média/argilosa.	51,5	1,7
TR	Associação de TERRA ROXA ESTRUTURA EUTRÓFICA textura argilosa + TERRA ROXA ESTRUTURADA DISTRÓFICA textura muito argilosa + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO Tb textura média/argilosa, todos <i>A</i> moderado fase floresta equatorial subperenifólia relevo suave ondulado e ondulado.	196,3	6,4
PV1	Associação de PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb plíntico <i>A</i> moderado textura arenosa/média + AREIAS QUARTZOSAS <i>A</i> fraco, ambos <i>ÁLICOS</i> fase campo relevo plano.	25,8	0,8
PV2	Associação de PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO textura arenosa/argilosa + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO textura arenosa/média, ambos <i>ÁLICOS</i> Tb <i>A</i> moderado fase floresta equatorial subperenifólia relevo suave ondulado.	218,0	7,1
PV3	Associação de PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO textura média muito cascalhenta/argilosa muito cascalhenta fase pedregosa <i>I</i> campo cerrado relevo suave ondulado + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO plíntico textura arenosa/média fase campo relevo plano e suave ondulado, ambos <i>ÁLICOS</i> Tb <i>A</i> moderado.	33,3	1,1
PV5	Associação de PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO fase floresta equatorial subcaducifólia relevo plano + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO fase campo cerrado relevo suave ondulado, ambos DISTRÓFICOS Tb <i>A</i> moderado textura arenosa/média.	38,0	1,2
PV6	Associação de PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO plíntico textura arenosa/média fase campo relevo plano e suave ondulado + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO textura arenosa/média fase campo e campo cerrado relevo plano e suave ondulado + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO textura média/argilosa com cascalho fase campo cerrado relevo suave ondulado, todos <i>ÁLICOS</i> Tb <i>A</i> moderado.	221,7	7,2
PV7	Associação de PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb textura arenosa/média fase campo cerrado + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb plíntico textura arenosa/média fase campo e	199,8	6,5

	campo cerrado + AREIAS QUARTZOSAS fase campo cerrado, todos ÁLICOS A moderado relevo plano e suave ondulado.		
PV9	Associação de PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO ÁLICO Tb textura média/argilosa relevo suave ondulado e ondulado + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO Tb textura média/argilosa relevo suave ondulado + TERRA ROXA ESTRUTURADA EUTRÓFICA textura argilosa relevo suave ondulado, todos A moderado fase floresta equatorial subperenifólia.	490,0	16,0
PV12	Associação de PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb textura média cascalhenta/argilosa muito cascalhenta fase pedregosa I campo cerrado relevo suave ondulado e ondulado + LATOSSOLO AMARELO podzólico textura média/argilosa fase campo relevo plano e suave ondulado + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb plintico textura arenosa/média fase campo relevo plano e suave ondulado, todos ÁLICOS A moderado.	87,8	2,9

PV13	Associação de PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO latossólico textura média/argilosa fase campo cerrado + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb textura média/argilosa fase campo cerrado + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb textura média muito cascalhenta/argilosa muito cascalhenta fase pedregosa I campo, todos DISTRÓFICOS A moderado relevo suave ondulado.	431,8	14,1
PE1	Associação de PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO textura média/argilosa relevo suave ondulado + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO textura argilosa relevo plano e suave ondulado, ambos Tb A moderado fase floresta equatorial subperenifólia.	19,6	0,6
PE2	Associação de PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO textura média + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO textura média cascalhenta/argilosa cascalhenta fase pedregosa III + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO textura média/argilosa, todos Tb A moderado fase floresta equatorial subcaducifólia relevo suave ondulado.	70,2	2,3
PL1	Associação de PLANOSSOLO EUTRÓFICO Tb A moderado textura arenosa/argilosa fase campo + AREIAS QUARTZOSAS ÁLICAS A moderado fase campo + GLEI POUCO HÚMICO ÁLICO textura argilosa fase campo higrófilo de várzea, todos relevo plano.	5,5	0,2
PL2	Associação de PLANOSSOLO EUTRÓFICO Tb solódico textura arenosa/média fase campo e campo cerrado + AREIAS QUARTZOSAS ÁLICAS podzólicas fase campo e campo cerrado + PLINTOSSOLO ÁLICO Tb textura arenosa/média fase campo, todos A moderado relevo plano.	28,9	0,9
PT1	Associação de PLINTOSSOLO DISTRÓFICO Tb A moderado textura média/argilosa fase campo + GLEI POUCO HÚMICO ÁLICO textura argilosa fase campo de várzea, ambos relevo plano.	44,4	1,4
AQ	Associação de AREIAS QUARTZOSAS ÁLICAS A moderado fase floresta equatorial subperenifólia com palmeiras + PLINTOSSOLO DISTRÓFICO Tb A moderado textura arenosa/média fase campo + PLANOSSOLO EUTRÓFICO Tb A moderado textura arenosa/argilosa fase campo + GLEI POUCO HÚMICO ÁLICO textura argilosa fase campo de várzea, ambos relevo plano.	173,5	5,6
Indet.	Área não mapeada no levantamento	181,0	5,9
Água	Rio	30,6	1,0
Total		3072	100

As questões que foram testadas neste trabalho, estão abordadas a seguir, acompanhadas da descrição das estatísticas utilizadas para cada uma delas e das limitações impostas pelas mesmas:

1ª Questão- Existe relação entre as classes do PI de Vegetação e as classes dos demais PI's?

H0= Não existe relação entre as classes dos PI's testados.

H1=Existe relação entre as classes dos PI's testados.

O teste aplicado foi o X², que avalia a significância do afastamento entre frequências esperadas e frequências observadas para o resultado do cruzamento dos PI's. A frequência observada é um dado real obtido dos mapas resultantes, a unidade utilizada como medida foi o km², mas poderia ter sido no. de pixels, ou ainda, hectares. Já a frequência esperada é um dado teórico, como o próprio nome já enfatiza: frequência esperada. Tal frequência é esperada, caso uma hipótese de comportamento de um dado seja verdadeira.

Neste estudo, a hipótese que condicionou as frequências esperadas, quando do cruzamento dos mapas foi que: a probabilidade de ocorrência de determinada classe (AB) em um PI resultante é função apenas das probabilidades relacionadas às áreas de ocorrência das classes (A e B) envolvidas nos PI's básicos. Quando isto é verdadeiro, a distribuição espacial de uma determinada classe (A) em um PI, não depende da distribuição espacial da outra classe (B) do outro PI. A classe resultante (AB) acontece por acaso (aleatoriedade) e não por interações entre às classes básicas que lhe deram origem. Supondo um PI formado pelas classes a1, a2, e outro formado pelas classes d1, d2, a seguir é exposto um exemplo estatístico (Tabelas 4 e 5) da aplicação do teste do X²:

Tabela 4 - Frequências esperadas para as classes resultantes do cruzamento, caso A hipótese da aleatoriedade fosse verdadeira

Classes dos PI's	a1 (500km ²)	a2 (2500km ²)
d1 (1000 km ²)	a1d1 = 166,6 km ²	a2d1 = 833,3 km ²
d2 (2000km ²)	a1d2 = 333,3 km ²	a2d2 = 1666,6 km ²

Tabela 5 - Frequências observadas para as classes resultantes do cruzamento (dado simulado)

Classes dos PI's	a1 (500km ²)	a2 (2500km ²)
d1 (1000 km ²)	a1d1 = 400	a2d1 = 600
d2 (2000km ²)	a1d2 = 100	a2d2 = 1900

O X² calculado para este cruzamento é de 588,3. O grau de liberdade é 1, pois (2-1) (2-1) = 1. Para este grau de liberdade o X² tabelado é 10,83 para nível de significância de 0,1%. Como o valor calculado é maior que o valor tabelado, a hipótese H₀ de aleatoriedade na distribuição das classes de um PI em função do outro é rejeitada, ou seja, pode-se afirmar ao nível de 0,1% de significância que a distribuição de classes destes PI's não é independente. Uma restrição ao teste do X², é que não deve haver números menores que a unidade na tabela de frequências esperadas, e o número de células na tabela com frequências abaixo de 5 não deve exceder 20%. Caso ao menos uma dessas limitações existam ao se montar uma tabela, deve-se agrupar classes para que isto não mais ocorra. Porém, o agrupamento de classes deve ser feito de forma a não provocar incoerência na junção das mesmas (Siegel, 1975). A fórmula utilizada para o cálculo do X² é a seguinte:

$$X^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

onde:

X^2 = representa o valor calculado para aplicação do teste X²;

O_{ij} = número de casos observados na linha i da coluna j;

E_{ij} = número de casos esperados, sob H₀, na linha i da coluna j;

$$\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k$$

= somatório sob as r linhas e as k colunas, ou seja, sobre todas as células da tabela.

2ª Questão - O PI de Vegetação tem maior grau de associação com qual dos PI's do ambiente físico?

A resposta a esta questão foi obtida pelo Coeficiente de Contingência (C), que segundo Siegel (1975): "é uma medida do alcance da associação entre dois conjuntos de atributos". O Coeficiente de Contingência C é dado pela fórmula:

$$C = \sqrt{\frac{X^2}{N + X^2}}$$

onde:

X^2 = valor calculado através das frequências observadas (F_o) e esperadas (F_e),

N = número total de observações feitas; para o caso da tabela exemplificada anteriormente o N seria 3.000.

Porém esta estatística também apresenta suas limitações, segundo Siegel (1975). Um coeficiente de correlação deveria zerar quando não houvesse associação entre os conjuntos ou grupos testados e igualar-se a um quando houvesse completa associação. O C zera quando não há associação alguma, porém quando as classes de dois conjuntos testados têm 100% de coincidência, a estatística não se iguala a um como deveria acontecer. Outro fator importante é que dois coeficientes C não podem ser comparados a menos que provenham de tabelas de contingência de mesmo tamanho.

3ª Questão -Cada classe de vegetação está mais associada com qual ou quais classes dos demais PI's?

Para responder a esta questão foi feita a determinação da razão entre a frequência observada e frequência esperada (F_o/F_e) para cada classe resultante de cada cruzamento. Esta razão indica o quanto uma frequência de determinada classe foi maior em relação ao que era esperado, caso as classes não tivessem relação alguma.

4ª Questão –Plotar um mapa de unidades de paisagem natural significativas quanto ao grau de associação entre as classes de Vegetação, Geomorfologia e Solos?

Inicialmente cada cruzamento foi analisado em separado: vegetação x geomorfologia e vegetação x solos, na fase descrita anteriormente. As classes com maior grau de associação (F_o/F_e) entre vegetação x geomorfologia foram cruzadas com as classes de solo com maior grau de associação com as classes de vegetação., gerando-se o mapa final, onde as unidades de paisagem natural tem alto grau de associação entre os componentes: vegetação, geomorfologia, pedologia. Foi realizado um cruzamento Geomorfologia x Solos, para que classes que não acontecessem neste cruzamento fossem suprimidas do cruzamento final, diminuindo o trabalho de montagem da etapa final de processamento. Todos os cruzamentos foram gerados no SPRING, conforme programação em Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – LEGAL (INPE, 1997).

Para facilitar a montagem dos programas em LEGAL e a compreensão das inúmeras tabelas geradas nas operações de manipulação e consulta realizadas, as classes dos PI's de Vegetação, Geomorfologia e Solos foram renomeadas conforme Tabela 6, a seguir:

TABELA 6 – Relação de índices (nomes) simplificados para as classes dos PI's.

Classes de vegetação	Índice	Classes de geomorfologia	Índice	Classes de solos	Índice
Fl. de galeria 1 (Fechada)	d1	PTFAAf	a1	LA1	c1
Fl. de galeria 2 (Aberta)	d2	DBVAi	a2	LV2	c2
Sgf + Spf	d3	PIAODe3	a3	LV4	c3
Spf + Sgf + Sgru	d4	DIASPru	a4	LV5	c4
Spf + Sgf	d5	DBVDt11	a5	TR	c5
Sgf + Spf + Sgru	d6	DBVDt21	a6	PV1	c6
Água	d7	PTFAAtf	a7	PV2	c7
Florestas Isoladas	d8	PRNADa33	a8	PV3	c8
Floresta Contínuas	d9	DIASDc12	a9	PV5	c9
Sg	d10	DIASDc32	a10	PV6	c10
Fg1 + Sg	d11	DBVDc31	a11	PV7	c11
		DIASDc22	a12	PV9	c12
		Água	a13	PV12	c13

		DBVAf	a14	PV13	c14
		PRNADe3	a15	PE1	c15
		DBVDc21	a16	PE2	c16
		DBVDt22	a17	PL1	c17
				PL2	c18
				PT1	c19
				AQ	c20
				Água	c21
				Indet	c22

Resultados e discussão

A primeira questão a respondida foi: existe relação entre as classes do PI de Vegetação e as classes dos demais PI's?

Para isto foram analisados os cruzamentos, Vegetação (11 classes) x Geomorfologia (17 classes), Vegetação (11 classes) x Solo (22 classes), segundo as hipóteses: H0 = Não existe relação entre as classes dos PI's testados; H1 = Existe relação entre as classes dos PI's testados. Para o cruzamento Vegetação/Geomorfologia o X2 calculado foi de 7867,55 significativo ao nível de 0,1%, ou seja: existe relação entre o PI de Vegetação e PI de Geomorfologia. Para Vegetação/Geologia o x2 calculado foi de 2726,05 e para Vegetação/Solos o x2 foi de 5566,5, ambos significativos ao nível de significância de 0,1%.

A pergunta que vem logo a seguir é: o PI de Vegetação tem maior grau de associação com qual dos PI's do ambiente físico, geomorfologia ou solos?

Para a aplicação do teste, as classes muito pequenas dos PI's básicos foram agrupadas, devido às restrições estatística do teste do x2. O PI de vegetação ficou com 8 classes, o de geomorfologia, solos com 10. Para o cruzamento Vegetação/Geomorfologia o x2 ficou em 7867,55 e o C em 0,848, para vegetação/solos o x2 foi de 5566,50 e o C foi de 0,803. Isto quer dizer que o PI de Vegetação como um todo, estaria mais correlacionado com o PI de Geomorfologia, que com o PI de Solos. Uma vez que a escala do coeficiente de contingência varia de 0, quando não há associação) e aproximadamente 1, quando a associação é total, pode-se observar que o PI de vegetação guarda alto grau de correlação tanto com ambos. Resta saber como se comportam as classes dos PI's cruzados, respondendo a próxima questão: cada classe de vegetação tem mais associação com qual ou quais classes dos demais PI's?

Esta questão envolve um grande número de dados, assim, é apresentada na forma de duas tabelas que mostram o resultado da análise estatística dos cruzamentos da informação temática de Vegetação com Geomorfologia (Tabela 6), e Solos (Tabela 7), respectivamente. Para cada classe de vegetação (1ª coluna) foram listadas as classes dos outros PI's que apresentaram maiores valores Fo/Fe. O valor entre parênteses representa Fo/Fe. a1, a2, a3, ..., etc, são índices (nomes) para as classes de geomorfologia, para facilitar sua busca nas outras tabelas; o mesmo vale para solos: c1, c2,c3, ..., etc.

TABELA 7 - RELAÇÃO ENTRE CLASSES DE VEGETAÇÃO E CLASSES DE GEOMORFOLOGIA: RESUMO

Classes de Vegetação	áreakm2	Importância em relação à Fo/Fe				Observações
		PTFAAaf	DIASPrU	PTFAAf	DBVDt21	
Fl. de galeria 1 (Fechada)	172,1	a7 (15)	a4 (3,2)	a1 (3,0)	a6 (2,7)	Na classe DBVDt21 (tabular) ocorreram 100 km2; em PTFAAaf (terraços fluviais) ocorreram 5,7 km2 da classe
Fl. de galeria 2 (Aberta)	30,5	RIO a13 (16)	PTFAAf a1 (11,8)	----	----	Área em PTFAAf (planícies fluviais) foi de 18,4 km2; houve forte efeito de borda entre esta classe de vegetação e a

						classes Rio (a13) do PI de Geomorfologia: erros cartográficos.
Sgf + Spf	642,0	DBVAi a2 (4,6)	DIASPr a4 (3,9)	DBVDt21 a6 (3,6)	----	Em DBVDt21 (tabular) ocorre 498,8 km ² desta classe de vegetação; a classe DBVAi (área de inundação) só ocorre associada a esta classe de vegetação
Spf + Sgf + Sgru	349,7	DBVDt11 a5 (8,2)	DBVDc31 a11 (3,0)	----	----	A maior expressão em área é relacionada com a classe DBVDc31 (colinas) com 214,9 km ²
Spf + Sgf	636,5	DBVDt22 a17 (3,51)	DBVDc31 a11 (2,6)	DIASDc12 a9 (1,8)	DIASDc22 a12 (1,4)	As maiores áreas ocorrem relacionadas à DBVDc31 (colinas) em 339,5 km ² e DBVDt22 (tabular) em 119,4 km ²
Sgf + Spf + Sgru	288,8	DBVDc21 a16 (9,37)	DIASDc22 a12 (2,21)	----	----	Esta classe teve estreita relação com DBVDc21 (colinas)
Água	38,5	RIO a13 (45,4)	PTFAAf a1 (4,6)	DBVAi a2 (3,17)	----	A classe Rio do PI vegetação só deveria ser cruzada com a classe Rio do PI de Geomorfologia, o que não se verificou.
Florestas Isoladas	411,5	PIAODE3 a3 (7,1)	PRNADE3 a15 (5,7)	DIASDc12 a9 (4,3)	DIASDc22 a12 (3,8)	A maior associação desta classe em área, mantendo-se alta Fo/Fe, foi com PRNADE3 (relevo acidentado, submontano) em 114,9 km ² ; a área associada com DIASDc32 (colinas) foi grande, 166,5 km ² , porém sua razão Fo/Fe é baixa.
Floresta Contínuas	475,3	PRNADa33 a8 (67,7)	DBVAf a14 (67,7)	DIASDc32 a10 (38,5)	PTAAf a1 (5,8)	A associação com DIASDc32 (colinas) foi de 407,6 km ² , a razão alta Fo/Fe para PRNADa33 (acidentado, submontano) e DBVAf (terraço fluvial da formação Boa Vista) foi devido a essas só ocorrerem, sob esta classe de vegetação
Sg	10,0	PTFAAf a1 (15,7)	PTFAAf a7 (7,7)	----	----	Apesar da área total pequena, há uma forte associação desta principalmente à PTFAAf (planícies fluviais) com 8,0 km ²
Fg1 + Sg	17,1	PTFAAf a1 (14,4)	RIO a13 (6,9)	DBVDt11 a5 (6,0)	---	PTFAAf (planícies fluviais) tem área de 12,6 km ² , e alta relação Fo/Fe, na associação à classe RIO comprova-se efeito de borda, quanto à classe DBVDt11 (tabular) acontece uma área de

						transição para um mosaico de Fg1 e Sgf.
--	--	--	--	--	--	---

Os dados demonstram que a avaliação de um cruzamento entre temas a partir apenas da visualização do mapa resultante em ambiente de SIG, ou análise de área das classes, pode induzir o usuário a erros de interpretação, uma vez que nem sempre as classes de maior área correspondem àquelas de maior grau de associação entre as classes dos temas que lhe deram origem, o que fica demonstrado nestes quadros resumos (Tabelas 7 e 8). Neste contexto, a razão Fo/Fe permite quantificar quantas vezes a frequência de ocorrência (observada) de uma determinada classe foi maior em comparação ao que seria esperado se o cruzamento entre suas classes de origem fosse totalmente aleatório.

**TABELA 8 - RELAÇÃO ENTRE CLASSES DE VEGETAÇÃO E CLASSES DE SOLOS:
RESUMO**

Classes de Vegetação	áreakm ²	Importância em relação à Fo/Fe				Observações
Fl. de galeria 1 (Fechada)	172,1	PE1 c15 (7,3)	AQ c20 (3,7)	LA1 c1 (2,8)	PL1 c17 (2,7)	A maior ocorrência em termos de área está associada à classe LA1, embora não seja a de maior relação Fo/Fe
Fl. de galeria 2 (Aberta)	30,5	AQ c20 (14,3)	---	---	---	A unidade Fg2 tem uma relação direta com esta classe de solos
Sgf + Spf	642,0	PV6 c10 (3,3)	LA1 c1 (3,2)	---	---	As importâncias em relação à área são próximas para PV6 e LA1
Spf + Sgf + Sgru	349,7	PV3 c8 (8,5)	PV7 c11 (7,7)	PT1 c19 (7,2)	PV5 c9 (5,5)	Todas as classes listadas tem alta Fo/Fe, e em termos gerais, a classe de solo com mais área associada a esta formação é PV7
Spf + Sgf	636,5	LV2 c2 (3,5)	PV12 c13 (3,5)	PV1 c6 (2,9)	LV4 c3 (2,4)	PV12 além do Fo/Fe significativo tem boa representatividade de área para esta classe
Sgf + Spf + Sgru	288,8	PL2 c18 (9,8)	PV2 c7 (3,8)	PV13 c14 (3,0)	---	PL2 ocorre praticamente associado só a esta classe, indicando alto grau de associação
Água	38,5	água c21 (38,5)	AQ c20 (4,4)			Apresentou algum cruzamento com a classe AQ de solos, indicando ocorrência de efeito de borda.
Florestas Isoladas	411,5	TR c5 (5,0)	PE2 c16 (3,45)	PV1 c6 (2,9)	PV2 c7 (2,6)	TR foi a classe mais significativa nesta associação com Fl. Isoladas, tanto no valor Fo/Fe, quanto na representatividade em área
Floresta Contínuas	475,3	PV9 c12 (59,3)	PV2 c7 (11,5)	---	---	Em termos de importância de área e relação Fo/Fe, esta associação com PV9 é muito significativa
Sg	10,0	PL1 c17	PV2 c7	AQ c20	---	Apesar da área de cruzamento efetivo de PV2 ser maior, a importância do

		(158,9)	(4,4)	(2,7)		cruzamento com PL1 tem maior significância em Fo/Fe
Fg1 + Sg	17,1	PT1 c19 (24,3)	AQ c20 (10,1)	---	---	AQ tem mais expressão em área que PT1, apesar da razão Fo/Fe ser maior para o primeiro.

Em relação aos dados utilizados, verificou-se que quando se trabalha com fontes diferenciadas de informações, a serem cruzadas em SIG, existem problemas devido a não coincidência de linhas de contorno de polígonos correspondentes contidos nos diversos temas. Por exemplo, o polígono do Rio deveria ser coincidente em diversas fontes, desde que a base cartográfica e projeção utilizada fosse a mesma mas isto raramente acontece. A falta de precisão cartográfica na produção de mapas temáticos numa época em que os SIG's não eram tão difundidos, pode ter influenciado produtos com nítida imprecisão cartográfica. Pode-se dizer que quanto maior for o erro cartográfico contido nas informações básicas, menos áreas úteis para análise restarão após operações de cruzamento. O prejuízo disto na análise é que uma classe "Rio" de um PI que deveria cruzar apenas com a classe "Rio" de outro PI, cruza também com classes adjuntas a esta, mascarando os resultados, como observado nos dados aqui exposto. Este efeito que aparece após as realizações de operações de cruzamento foi denominado neste trabalho como "efeito de borda".

A partir dos quadros resumos foram separadas as classes de geomorfologia e solos que deveriam ser cruzadas com as classes de vegetação para obtenção do mapa final de unidades de paisagem natural, significativas quanto ao grau de associação vegetação/geomorfologia/solos (Tabela 9). Algumas classes de geomorfologia e solos que apareceram nos quadros anteriores, foram excluídas do cruzamento final quando foi verificado a não ocorrência de associação das mesmas no cruzamento geomorfologia x Solos. Pode-se citar como exemplo deste caso a classe a4 de geomorfologia cujos cruzamentos com as classes de solos c1, c15, c17 e c20, zeraram em termos de área; a mesma não aparece na tabela abaixo para o cruzamento com a classe d1 (Fl. de galeria 1) e as respectivas classes de solo.

TABELA 9 - Classes a serem cruzadas para geração do Plano de Informação de unidades de paisagem natural

Classes de vegetação	Classes de geomorfologia	Classes de solos	Total de Classes derivadas da combinação
Fl. de galeria 1 (Fechada) - d1	a1, a6, a7	c1, c15, c17, c20	12
Fl. de galeria 2 (Aberta) - d2	a1	c20	1
Sgf + Spf - d3	a2, a6	c1, c10, c15	6
Spf + Sgf + Sgru - d4	a5, a11	c8, c9, c11, c19	8
Spf + Sgf - d5	a9, a11, a12, a17	c2, c3, c6, c13	16
Sgf + Spf + Sgru - d6	a12, a16	c7, c14, c18	6
Água - d7	não houve interesse nos cruzamentos com esta classe		
Florestas Isoladas - d8	a3, a9, a12, a15	c5, c6, c7, c16	16
Floresta Contínuas - d9	a1, a8, a10, a14	c7, c12	8
Sg - d10	a1, a7	c7, c17, c20	6
Fg1 + Sg - d11	a1, a5, a13	c19, c20	6
Total			85 classes

Para a primeira linha (d1) da tabela, as combinações de classes para o cruzamento final foram: d1a1c1, d1a1c15, d1a1c17, d1a1c20, d1a6c1, d1a6c15, d1a6c17, d1a6c20, d1a7c1, d1a7c15, d1a7c17, d1a7c20, num total de 12 classes. O programa em LEGAL para geração do produto final conteve estas 85 classes. As áreas em branco do mapa final representam áreas cuja associação entre os três temas não foi relevante, ou seja, tais associações aconteceriam naturalmente por acaso.

Discute-se a operacionalidade do SPRING para a realização de cruzamentos de mapas temáticos. Sua estrutura de banco de dados, obriga o usuário a criar em seu "Esquema Conceitual", as 85 classes que devem aparecer no mapa final, o que demanda muito tempo. Com a implementação da "tabulação cruzada" nas versões mais recentes do SPRING, ao menos pode-se verificar previamente se determinada classe, proveniente de cruzamentos

entre dois planos, ocorrerá, com área diferente de (zero). Assim, para um cruzamento de um plano de 11 classes com outro de 17, não seria necessária no "Esquema Conceitual" do SPRING, a criação das 187 classes possíveis de acontecer, seria feita a operação de tabulação cruzada anteriormente para selecionar aquelas que realmente ocorrem.

A seguir é apresentado o mapa de unidades de paisagem natural gerado (Figura 5):

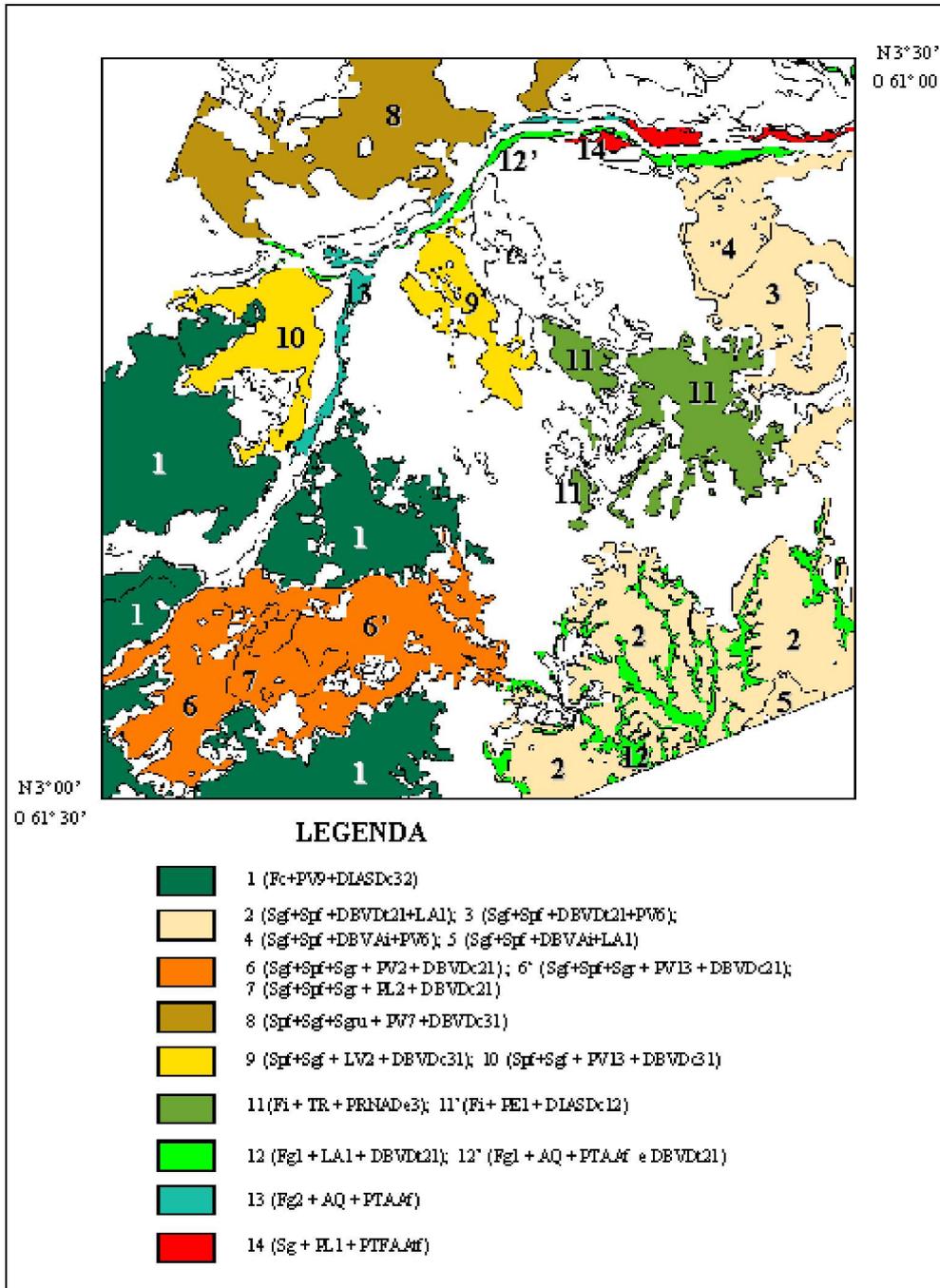


Fig. 5 - Mapa de Unidades de Paisagem Natural

Obs: As áreas em branco correspondem a áreas cujas associações de classes não foram significativas, ou no caso do Rio (classe Água), desejadas.

Com base no mapa de unidades de paisagem natural é possível que sejam feitas observações sobre o que está ocorrendo na área em termos de associações de classes de vegetação, geomorfologia e solos.

Caso das Savanas Gramíneo-lenhosas: Solos com hidromorfismo como principal agente pedogenético, indicam o grau de umidade a que está sujeita esta vegetação durante ao menos parte do ano. Os principais solos associados foram Planossolo Eutrófico, Areias Quartzozas Álicas, e Gleis Pouco Húmicos, que correspondem a unidade PL1. A UPN (14) que contém esta vegetação, mostrou que houve associações mais fortes com planícies fluviais e com solos hidromórficos (PL1 e AQ).

Caso das Savanas Gramíneo-lenhosas com florestas de galeria (ou veredas): Esta vegetação esteve principalmente relacionada às áreas com relevo tabular com baixa densidade de drenagem (DBVDt21) e com solos LA1 e PV6, ambos com alto grau de alumínio. Na maioria das áreas esta savana ocorre em mosaico com a savana parque. As UPN's relacionadas foram principalmente as de número: 2, 3, 4, 5 no mapa.

Caso das Savanas Parques com florestas de galeria (ou veredas): os cruzamentos mais significantes em termos de área para esta vegetação foram com as classes de relevo de colinas (DBVDc31) de densidade de drenagem média associadas a solos PV13 e LV2, e relevo tabular (DBVDt22) com incisões de aprofundamento levemente acentuado em relação a área como um todo, este relevo estando mais associado a solo LV4. É importante notar que para esta vegetação de forma geral, houve aumento na drenagem: densidade e/ou profundidade, em comparação a estes mesmos parâmetros para áreas de Savana Gramíneo-lenhosa. As UPN's relacionadas foram: 9 e 10.

Os mosaicos de savana (Sgf+Spf+Sgru; Spf+Sgf+Sgru) os quais apresentam os Capões de Mata, ocorrem numa grande diversidade de solos mas estão relacionados a relevos do tipo DBVDc21 e 31. Os mosaicos entre Sgf e Spf, com a dominância de um ou de outro, são comuns ao longo das áreas onde a savana domina. As UPN's relacionadas foram: 6, 6', 7, 8.

Florestas de galeria (Fg1 e Fg2): ocorrem ao longo dos rios da área, estando associadas a planícies fluviais e solos hidromórficos. O fato desta vegetação aparecer também sobre solos da unidade LA1 nos cruzamentos, não revela erro ou oposição a afirmação acima, mas somente que os solos hidromórficos não foram mapeados para os canais de drenagem de importância secundária. Não há diferenças entre as unidades de geomorfologia e solos associadas à Floresta de galeria tipo 1 (Fg1) e Floresta de galeria tipo 2 (Fg2). As UPN's relacionadas são 12, 12' e 13..

Florestas Isoladas (Fi): Esta vegetação florestal separada apenas contextualmente da classe Fc, apresentou associação com relevo do tipo PRNADe3 (relevo de dissecção estrutural com densidade de drenagem média) e com DIASDc12 (colinas com reduzida densidade e aprofundamento da drenagem). Os solos dominantes foram, TR e PE1, indicando as melhores condições de fertilidade relacionadas aos solos da região. Além do forte efeito "tampão" que as florestas exercem sobre as condições ambientais, nestas UPN's tem-se esta característica associada a maiores capacidades de armazenamento de água no solo mais argiloso e mais estruturado, maior quantidade de nutrientes disponíveis às plantas, fatores que oferecem alta capacidade de manutenção e regeneração para a vegetação florestal associada. UPN': 11 e 11'.

Florestas Contínuas (Fc): Esta vegetação está associada à classe de relevo DIASDc32 e a solos PV9. A unidade de paisagem natural que relaciona fortemente estes três elementos (Fc+DIASDc32+PV9). É muito semelhante às unidades descritas anteriormente para Fi, apresentando-se mais pobre em fertilidade dos solos, com um relevo menos movimentado. UPN associada: 1.

Conclusões

A análise estatística aplicada neste trabalho ajudou a responder objetivamente três questões:

- a. A distribuição das classes do PI vegetação é independente da distribuição das classes do PI de geomorfologia/solos?
- b. A distribuição das classes de vegetação tem maior relação com a distribuição das classes de qual PI do ambiente?
- c. Quais são as classes com maior grau de associação entre o PI de vegetação e os demais PI's.

Esta metodologia de geração de UPN's pode ser recomendada como uma estratégia para potencializar os esforços iniciais nos estudos de ecossistemas, recursos naturais e áreas afins que necessitem de integração de dados espaciais. Já para utilização em zoneamentos e ordenamentos territoriais, a mesma pode servir apenas na fase de estudos preliminares, uma vez que nestes, não é desejável a existência de áreas não mapeadas devido às restrições quanto ao efeito de borda evidenciado nos cruzamentos.

Podem ser acrescentados ou substituídos os temas utilizados na análise de acordo com a especificidade de cada estudo.

Referências Bibliográficas

Assad, E.D. Geoprocessamento e análise ambiental. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8. Salvador, BA, 14-19 de abril, 1996. Tutorial: aplicações de geoprocessamento com ênfase em meio ambiente. São José dos Campos, INPE, 1996. 93p.

Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha NA.20 Boa Vista e parte das folhas NA.21 Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1975. 428p. (Levantamento de Recursos Naturais, 8).

Burrough, P.A. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford: Clarendon Press, 1986. 193p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos - SNLCS. Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras da área do Pólo Roraima. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SNLCS, 1983. 368p. Boletim de Pesquisa, 18).

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Divisão de Processamento de Imagens. Manual do usuário do SPRING: release 2.0.4. [online]. <[http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/ indice.htm](http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/indice.htm)>. 15 junho 1997.

Siegel, S. Estatística não-paramétrica: para as ciências do comportamento. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. 350p.