6
Procedimento experimental

Os experimentos apresentados no presente capítulo foram realizados com o intuito de validar o modelo baseado em conhecimento proposto no capítulo 4. No presente trabalho, utilizam-se os seguintes indicadores de desempenho (Jensen, 1996):

- *matriz de confusão*, onde as linhas correspondem à classificação produzida pelo modelo, enquanto as colunas correspondem à classificação de referência, produzida por interpretação manual. A diagonal principal desta matriz se refere aos segmentos em que há concordância entre os resultados produzidos pelo o modelo e pela referência.
- *taxa de reconhecimento*, percentual dos segmentos pertencente a uma classe ou conjunto de classes na imagem de entrada corretamente classificados pelo modelo.
- *erro de omissão*, corresponde ao percentual dos segmentos de cada classe na referência que o método de classificação atribuiu a outra classe.
- *erro de comissão*, corresponde ao percentual dos segmentos erroneamente atribuídos a uma certa classe relativamente ao total de segmentos que o método proposto atribuiu à classe em questão

As imagens interpretadas nos experimentos, referenciadas a partir de agora como *área 1* e *área 2*, estão situadas no Município de Alcinópolis no Estado do Mato Grosso do Sul. Ambas são cobertas por uma única cena LANDSAT, cena 224-073. A tabela 3 apresenta as coordenadas (latitude e longitude) e dimensões de ambas as áreas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

	Canto superior esquerdo		*Canto inferior direito*		*Dimensões*
	Latitude	***Longitude***	***Latitude***	***Longitude***	
Área 1	18º 12' 01,65" S	53º 51' 23,90" O	18º 21' 23,97" S	53º 37' 29,03" O	17×27 km 690×976 pixels
Área 2	17º 57' 44,47" S	53º 48' 17,56" O	18º 8' 35,90" S	53º 34' 9,09" O	19.9×24,9 km 799×1000 pixels

Tabela 3 – Coordenadas e dimensões das áreas 1 e 2.

Nos experimentos são empregadas imagens da composição das bandas 5, 4 e 3 do sensor ETM carregado pelo satélite LANDSAT 7 nos canais R, G e B respectivamente. As imagens de ambas as áreas foram adquiridas em 5 de agosto de 1999, 7 de agosto de 2000 e 10 de agosto de 2001. Além destas imagens, o modelo digital do terreno e o mapa de drenagem foram utilizados como dados complementares.

Para dar seqüência ao presente capítulo, as próximas seções apresentam a descrição do sítio alvo, os resultados de referência e a modelagem do conhecimento específico empregado na interpretação das imagens de satélite desta região. Em seguida, são apresentados e discutidos os experimentos realizados com o intuito de realçar a contribuição de cada uma das diferentes modalidades de conhecimento específico no resultado da classificação.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

6.1. Município de Alcinópolis – Mato Grosso do Sul

O município de Alcinópolis, localizado na porção nordeste do Estado do Mato Grosso de Sul, foi fundado em 22 de abril de 1992. Atualmente, este município contém uma população de 5608 habitantes, dos quais 3087 vivem na área urbana e 2521 em regiões rurais, distribuídos entre o próprio município e o distrito de Belo Horizonte, envolvendo uma área de 4.399,676 km^2 (UNIDERP, 2004). Alcinópolis está situado próximo ao limite com o estado do Mato Grosso, e faz divisa com o município do Alto Araguaia, localizado no Mato Grosso, e com os municípios de Camapuã, Costa Rica, Coxim, e Figueirão, localizados no Estado do Mato Grosso do Sul. Alcinópolis está localizada nos Trópicos; sua

temperatura média anual é 26^{o}C. Sua maior incidência de raios solares é entre dezembro e fevereiro, ao passo que, os meses de maior incidência de chuva são janeiro, fevereiro e março.

As principais atrações naturais desta região são picos, rios, lagoas, grutas, cavernas e quedas d'água. Por outro lado, como principais atrações culturais e históricas podem ser mencionadas bibliotecas e sítios arqueológicos. Por causa destes atrativos, neste município, o turismo, conforme apresenta a tabela 4, é uma das atividades econômicas com maior potencial. No entanto, problemas de infra-estrutura impedem seu desenvolvimento.

Setor	Atividades econômicas com maior potencial
Primário	***Agricultura e pecuária***
Secundário	***Construção e agroindústria***
Terciário	***Comércio***
Turístico	***Eventos de negócios, esportivos, aventura e eco-turismo***

Tabela 4– Atividades econômicas com maior potencial

A criação extensiva de gado é uma das mais tradicionais atividades econômicas do estado, contribuindo com 5 % do seu PIB. Segundo um relatório publicado em 1998 (IBGE, 2004), 39.960 fazendas realizam pecuária de bovinos no Mato Grosso do Sul numa área de 21.810.708 ha. Considerando o período de 1985 a 1995, o IBGE relata que, embora a dimensão da área utilizada para esta atividade tenha permanecido praticamente inalterada, a população de bovinos cresceu cerca de 31%. Assim, neste período, conforme apresenta a tabela 5, a taxa média de ocupação dos pastos no estado aumentou de 0,7 para 0,9 cabeças por hectare.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Valores	Ano	
	1985	*1995*
Pasto cultivado (há)	***12.144.529***	***15.727.930***
Pasto nativo (ha)	***9.568.224***	***6.082.778***
Total de pastos (há)	***21.802.753***	***21.810.708***
População de bovinos	***15.017.906***	***19.754.356***
Ocupação dos pastos (cabeças/ha)	*0,7*	*0,9*

Tabela 5 – Tipos de pastagem, população de bovinos, ocupação média (1985/1995)

Esta tendência não é contrariada em Alcinópolis, onde o setor primário encontra-se fortemente associado à pecuária extensiva para corte. Por exemplo, dentro da micro-bacia do Córrego da Água Limpa (situado na área 1) todos os fazendeiros praticam esta atividade. Como conseqüência, a taxa de ocupação média dos pastos é de 1,2 cabeças por hectare, um valor superior à média do estado. Infelizmente, o manejo impróprio das pastagens somado ao fraco potencial nutricional das gramíneas empregadas contribui para uma baixa produtividade. Além disso, o excesso de animais no pasto causa sua rápida degradação, resultando em sérias conseqüências ambientais. Pastos degradados não suportam a quantidade excessiva de animais e, assim, produzem severos processos de erosão do solo, tendo sua expressão máxima na formação de *voçorocas*. Como conseqüências diretas deste fenômeno podem ser apontadas a desvalorização das propriedades rurais e o aumento do volume de sedimentos carregados pela chuva que atinge os cursos d'água.

Este processo tem início com a conversão de terras de cerrado em pastagens cultivadas. Portanto o monitoramento das mudanças de uso do solo, facilitado pelo uso de imagens de satélite pode contribuir para a prevenção deste processo.

Portanto, é essencial monitorar o desenvolvimento deste processo e, em paralelo, realizar pesquisas em busca de tecnologias viáveis capazes de evitar novas ocorrências.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

6.2.
Resultado de referência

Os resultados de referência que serão empregados nos experimentos, para a validação do método proposto foram produzidos pelo processo de interpretação visual por um foto-intérprete especialista em classificação de cobertura vegetal. Como dados de entrada, foram empregados os *quadros* de uma videografia realizada pela Embrapa Solos em conjunto com o Instituto Conservação Internacional do Brasil em outubro de 2001, as imagens – composição das bandas 5, 4 e 3 do satélite LANDSAT 7 ETM – das áreas 1 e 2 em 5 de agosto de 1999, 7 de agosto de 2000 e 10 de agosto 2001, o mapa de drenagem, o modelo digital do terreno, o diagrama de transição de estados, e os segmentos delineados pelo procedimento de segmentação anteriormente apresentado. Por mera conveniência experimental, neste trabalho, a segmentação levou em consideração as imagens das três datas consideradas. Em outras palavras, o algoritmo recebeu como entrada uma imagem com 9 bandas. Como resultado os segmentos produzidos eram homogêneos (segundo um critério) nas três imagens. O resultado do procedimento de segmentação foi examinado e aprovado pelo foto-intérprete.

Com base nestes dados, o foto-intéprete classificou para imagens de 1999, 2000 e 2001 das duas áreas os segmentos cobertos pelas linhas de vôo da videografia. A videografia foi usada como alternativa ao trabalho de campo, para produzir a chamada verdade terrestre. Deve-se mencionar que a videografia disponível é relativa apenas a 2001. A figura 10 ilustra o ambiente utilizado no trabalho de interpretação visual, estando presentes os seguintes temas:

1. imagem de 2001;
2. linha de vôo associada aos quadros da videografia;
3. mapa temático da região em agosto de 2001.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

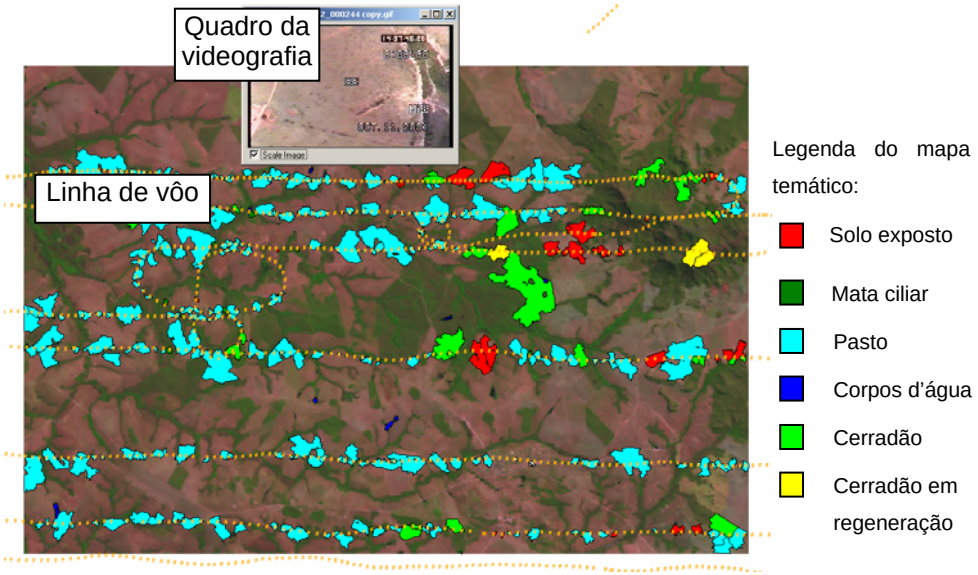

Figura 10 – Exemplo do ambiente utilizado na interpretação visual.

As figuras 11 a 16 apresentam os mapas temáticos produzidos pelo foto-intérprete para as áreas 1 e 2, onde as linhas pretas delimitam os segmentos. A partir do presente momento tais mapas temáticos servirão como resultados de referência.

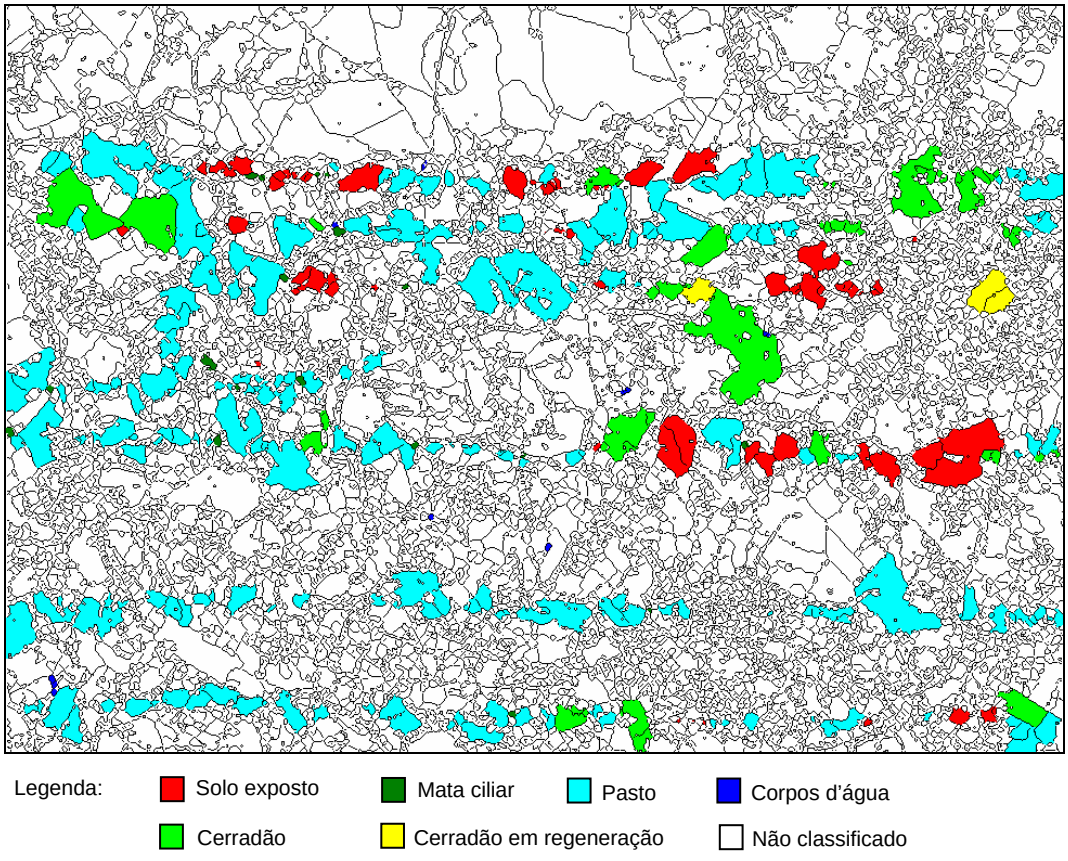

Figura 11 – Resultado de referência para área 1, agosto de 1999.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

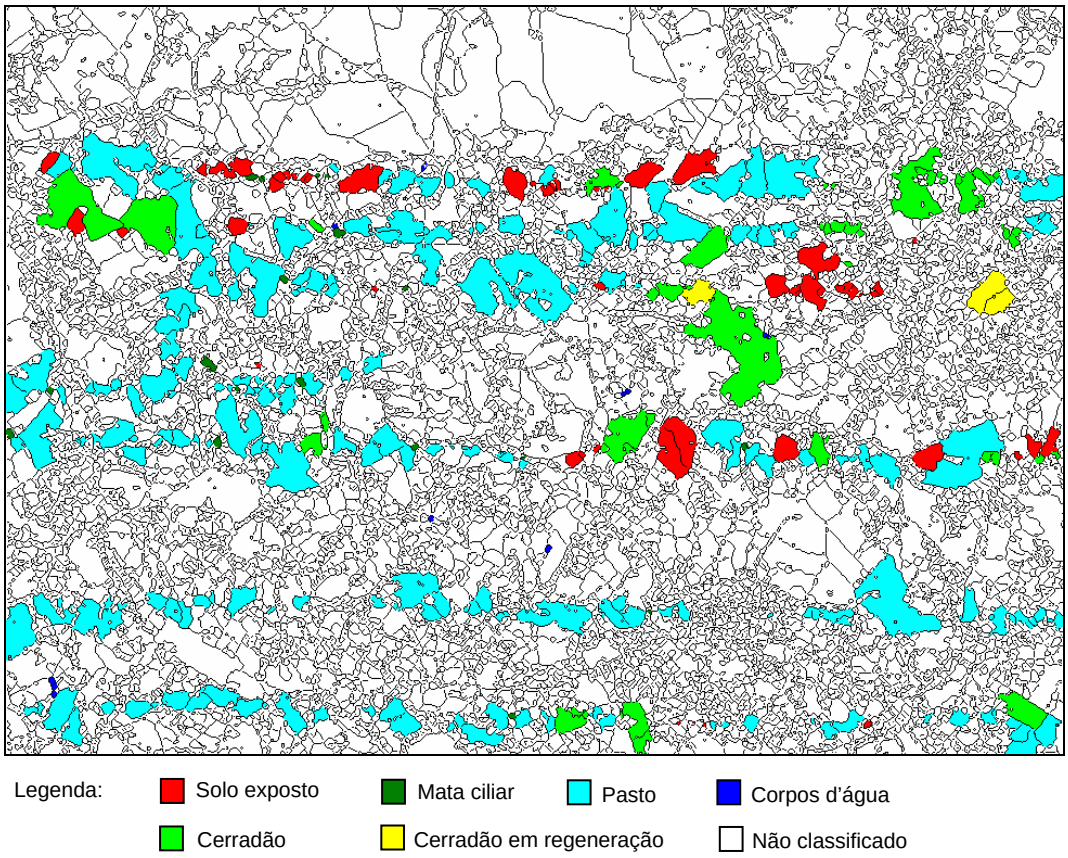

Figura 12 – Resultado de referência para área 1, agosto de 2000.

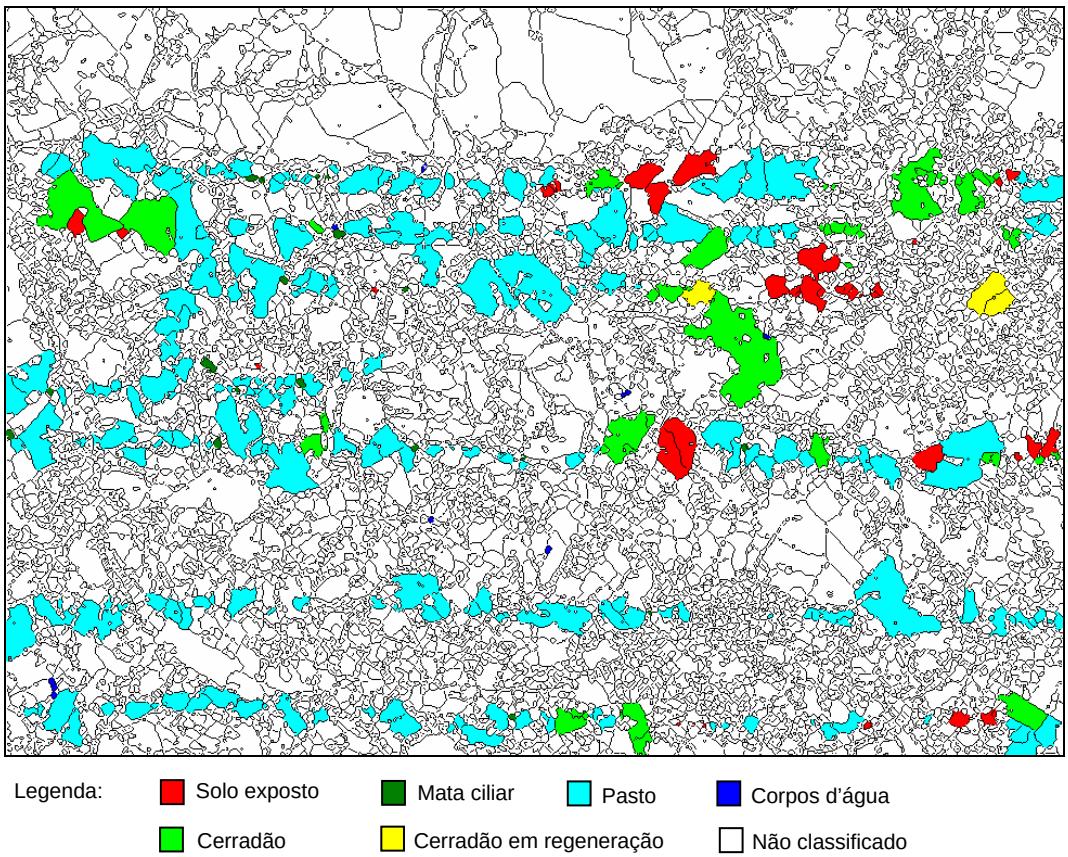

Figura 13 – Resultado de referência para área 1, agosto de 2001.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

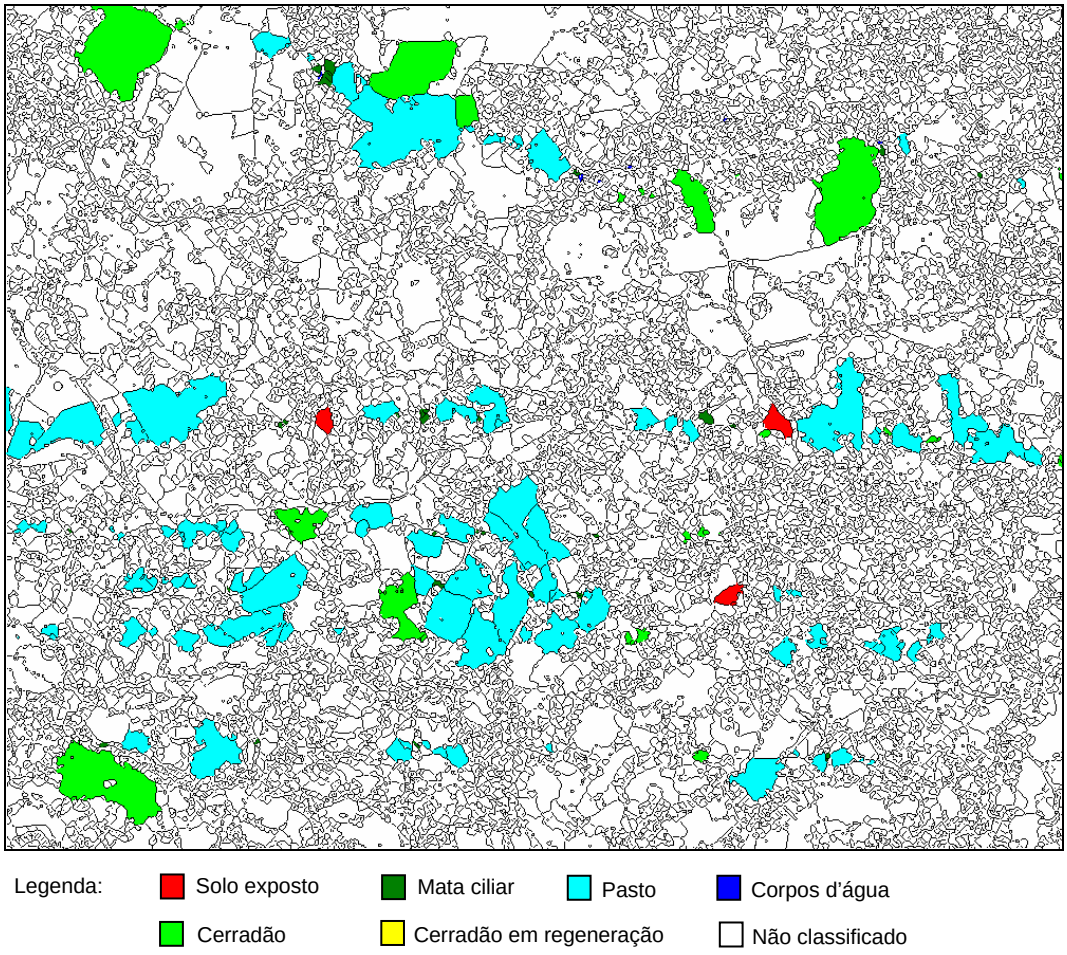

Figura 14 – Resultado de referência para área 2, agosto de 1999.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

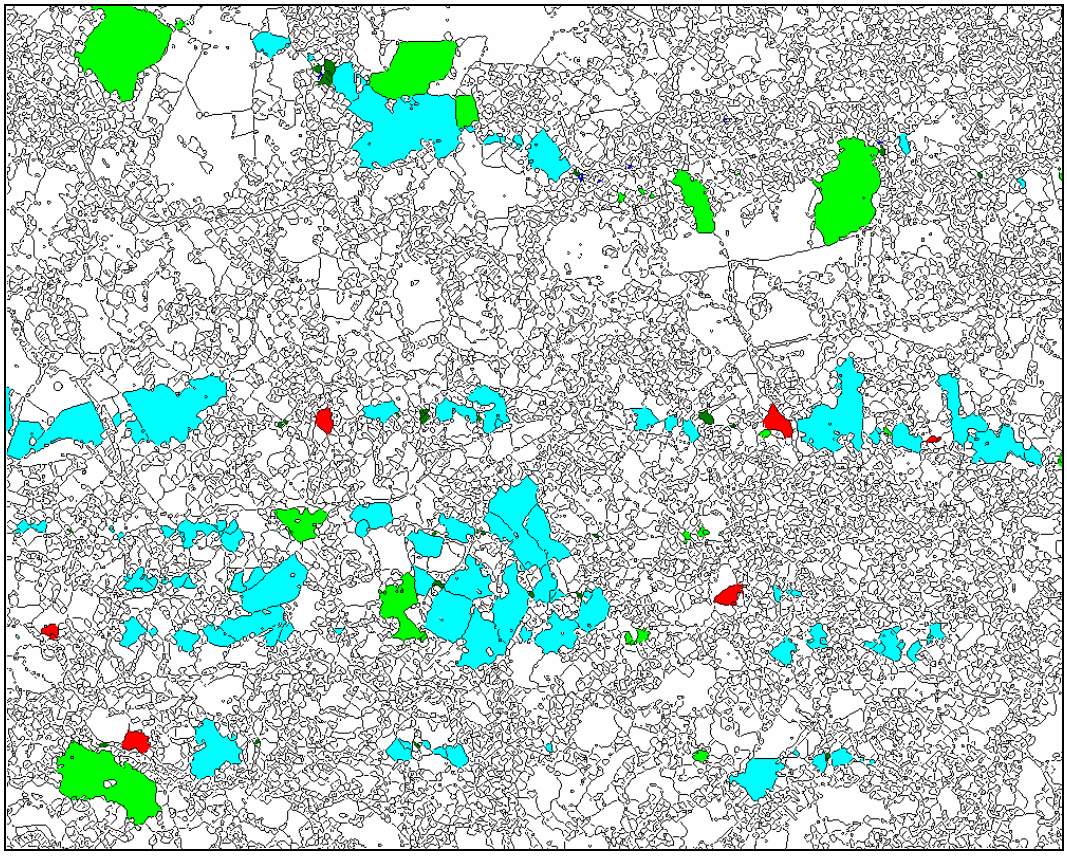

Figura 15 – Resultado de referência para área 2, agosto de 2000.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

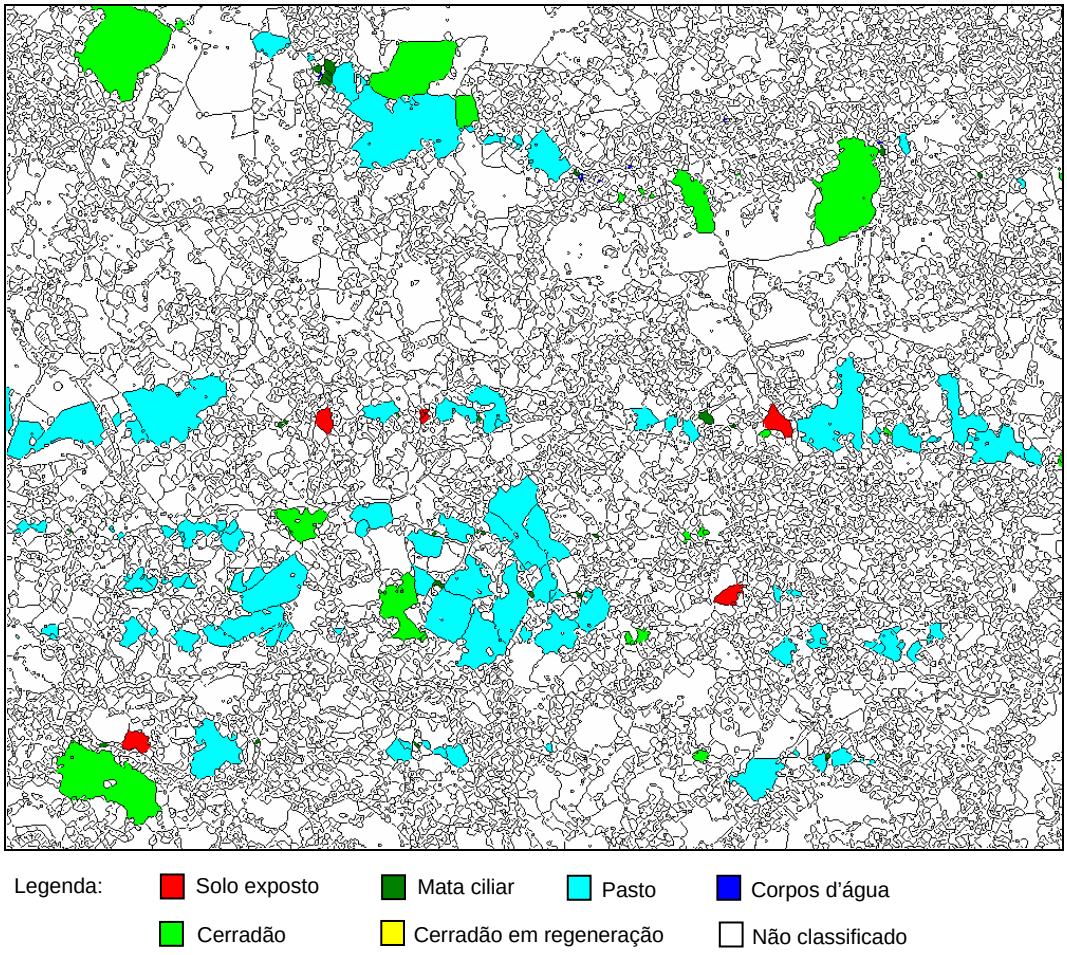

Figura 16 – Resultado de referência para área 2, agosto de 2001.

A tabela 6 apresenta o número de segmentos atribuídos pelo foto-intérprete a cada uma das classes de interesse em 1999, 2000 e 2001 e duas matrizes que representam a evolução do uso do solo nos intervalos 1999 a 2000 e de 2000 a 2001.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Classe	*Regiões em 1999*	*Regiões em 2000*	*Regiões em 2001*
ω_1 - Solo exposto	96	84	61
ω_2 - Mata ciliar	62	62	57
ω_3 - Pasto	496	510	538
ω_4 - Corpos d'água	28	28	28
ω_5 - Cerradão	134	132	132
ω_6 - Cerradão em reg	6	6	6
Total de regiões	*822*	*822*	*822*

		2000					
		ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6
1999	ω_1	71		25			
	ω_2	0	62	0			
	ω_3	11		485			
	ω_4				28		
	ω_5	2		0		132	
	ω_6	0		0		0	6

		2001					
		ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6
2000	ω_1	49		35			
	ω_2	5	57	0			
	ω_3	7		503			
	ω_4				28		
	ω_5	0		0		132	
	ω_6	0		0		0	6

Tabela 6 – Regiões atribuídas, no resultado de referência (interpretação visual), à cada uma das classes de interesse e evolução do uso do solo nos intervalos 1999-2000 e 2000-2001.

6.3. Conhecimento específico

A presente seção descreve o conhecimento específico, fornecido por foto-intérpretes e especialistas em manejo agronômico, empregado na interpretação das imagens de satélite de baixa resolução das regiões de interesse. Conforme a discussão apresentada na seção 4.2, os itens de conhecimento específico necessário são: ***1)*** Classes da legenda; ***2)*** Vetor de atributos; ***3)*** Conhecimento espectral; ***4)*** Conhecimento contextual; ***5)*** Conhecimento multitemporal; ***6)*** Regras de inferência.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

6.3.1.
Classes da legenda

A lista das classes presentes na região de interesse corresponde, nos moldes do modelo proposto, à primeira modalidade de conhecimento específico necessário para a interpretação de imagens de satélite de baixa resolução. A tabela 7 apresenta a descrição das classes presentes nas regiões de interesse.

Rótulo	***Classe***	**Descrição**
ω_1	***Solo exposto***	*Um solo que tenha sido degradado por erosão ou que esteja sendo preparado para o cultivo.*
ω_2	***Mata Ciliar***	*Floresta densa ao longo de rios e córregos.*
ω_3	***Pasto***	*Pasto cultivado para a alimentação de bovinos. Sua consistência é variável, pois na maioria das vezes não é mantido apropriadamente além de ser afetado por fatores climáticos (secas).*
ω_4	***Corpos d'água***	*Água aparente ou região pantanosa.*
ω_5	***Cerradão***	*Floresta de savana densa.*
ω_6	***Cerradão em regeneração***	*Área anteriormente usada como pasto que foi deixada de lado pelo proprietário e por isso, agora, a cobertura vegetal original está se regenerando.*

Tabela 7 – Classes de uso da terra e cobertura vegetal presentes nas áreas 1 e 2.

Por estarem situadas no nordeste do estado do Mato Grosso do Sul, as áreas de interesse fazem parte do cerrado, um tipo de cobertura vegetal heterogênea que ocupa 23% do território brasileiro, entre a floresta amazônica e a mata atlântica (Furley, 1988). Especificamente, o sub tipo de cerrado que domina as áreas de interesse é chamado *cerradão*, que pode ser definido como uma formação de árvores de baixa estatura (8 a 12m) densamente agrupadas, porém sem contato significativo entre suas copas, o que permite a passagem de luz e o desenvolvimento de espécies de gramíneas, palmáceas anãs e arbustos lenhosos (Veloso, 1991).

A baixa fertilidade e a grande erodibilidade dos solos que dominam a paisagem, aliadas à pronunciada estação seca (de maio a setembro), que são características desta região, os tornam muito suscetíveis a processos erosivos (Oliveira, 2000). Além disso, a principal atividade econômica nesta região é a pecuária extensiva, por este fato, grande parte da vegetação nativa foi substituída

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

por pastagens, constituídas principalmente por espécies de *Brachiaria*, procedimento que, atualmente, ainda é adotado. Em médio prazo, a remoção da cobertura vegetal resulta na redução da fertilidade do solo devida à diminuição do volume de matéria orgânica e nutrientes. Esta situação é agravada pela ausência da aplicação adequada de procedimentos efetivos de conservação do solo (resultando em processos erosivos) e concentração de um montante excessivo de gado nos pastos. A combinação de tais processos resulta na eliminação progressiva da cobertura vegetal original e no aumento da perda de solo por erosão, além do aparecimento de porções de solo exposto.

6.3.2. Vetor de Atributos

O vetor de atributos $\mathbf{x}=\{x_1, ..., x_6\}^T$ pode ser subdividido em três conjuntos de atributos, $\mathbf{x_1}=\{x_1, x_2, x_3\}^T$, $\mathbf{x_2}=\{x_4, x_5\}^T$ e $\mathbf{x_3}=\{x_6\}^T$. Cada conjunto está associado a uma variável lingüística. $\mathbf{x_1}$ está associado a v_1, resposta espectral média do segmento, ou simplesmente, *resposta espectral*. No presente trabalho, $\mathbf{x_1}$ corresponde à resposta espectral média no segmento, $\overline{\mathbf{R}}$, considerando as bandas 5, 4, 3 do sensor ETM do satélite LANDSAT 7, que são as bandas utilizadas pelo foto-intérprete. $\mathbf{x_2}$ está associado a v_2, *localização do segmento*. Na implementação proposta, $\mathbf{x_2}$ denota as coordenadas centróide do segmento. $\mathbf{x_3}$ está associado a v_3, classificação do segmento em ***t-1***, ou *classificação anterior*.

Cada variável lingüística está associada a uma diferente modalidade de conhecimento específico. A fim de definir a classificação do segmento no instante ***t*** é preciso determinar o enquadramento dos valores da *resposta espectral*, *localização* e *classificação anterior* em seus respectivos rótulos lingüísticos. Esta medida corresponde ao grau de pertinência dos valores das variáveis aos conjuntos nebulosos associados a seus rótulos lingüísticos. As seções a seguir apresentam os rótulos correspondentes a cada uma das variáveis lingüísticas, a modelagem dos respectivos conjuntos nebulosos e o método de fuzzificação.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

6.3.3.
Conhecimento espectral

A tabela 8 apresenta os rótulos lingüísticos da variável lingüística *resposta espectral*, v_1, sua descrição e as correspondentes classes de uso e cobertura do solo.

Rótulo lingüístico	***Descrição - tonalidades da resposta espectral***	**Classes que se enquadram nesta descrição**
$A_{1,1}$	**Rosa claro a branco**	*ω_1 – Solo exposto*
$A_{1,2}$	**Verde escuro**	*ω_2 – Mata ciliar / ω_5 – Cerradão*
$A_{1,3}$	**Rosa, rosa esverdeado ou rosa azulado**	*ω_3 – Pasto*
$A_{1,4}$	**Marrom escuro a preto**	*ω_4 – Corpos d'água / ω_5 – Cerradão (com sombra em montanha)*
$A_{1,5}$	**Verde**	*ω_6 – Cerradão em regeneração*

Tabela 8 – Rótulos da variável resposta espectral

6.3.4.
Conhecimento contextual

Segundo especialistas na região de interesse, as classes *mata ciliar* e *cerradão* são formadas por floresta densa, portanto possuem resposta espectral semelhante. Entretanto, são caracterizadas por espécies diferentes de vegetação, pois *mata ciliar* ocorre ao longo dos rios e *cerradão* em locais não tão úmidos situados a partir de uma certa distância dos rios.

Por outro lado, sombra causada pela existência de montanha em região coberta por cerradão possui aparência espectral semelhante a corpos d'água.

Algumas outras classes, como solo exposto, por exemplo, podem ser reconhecidas exclusivamente pela resposta espectral.

A tabela 9 apresenta e descreve os rótulos lingüísticos da variável lingüística *localização do segmento*.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Rótulo lingüístico	*Conceitos lingüísticos*
$A_{2,1}$	***Ao longo de rio***
$A_{2,2}$	***Longe de rio***
$A_{2,3}$	***Em montanha***
$A_{2,4}$	***Fora de montanha***
$A_{2,5}$	***Em qualquer lugar***

Tabela 9 – Rótulos lingüísticos da variável localização do segmento

Os rótulos lingüísticos apresentados na tabela anterior são modelados manualmente por conjuntos nebulosos e *crisp*, tendo como referência o mapa de drenagem e o modelo digital de terreno da região. Mais especificamente, os rótulos $\mathbf{A_{2,1}}$ e $\mathbf{A_{2,2}}$ se valem do mapa de drenagem e os rótulos $\mathbf{A_{2,3}}$ e $\mathbf{A_{2,4}}$ do modelo digital de terreno.

O grau de pertinência aos rótulos $\mathbf{A_{2,1}}$ e $\mathbf{A_{2,2}}$ é função da mínima distância, *d*, (em pixels) entre o centróide do segmento (valor de $\mathbf{x_2}$) e os rios que se apresentam no mapa de drenagem.

A figura 17 apresenta as funções de pertinência associadas aos rótulos $\mathbf{A_{2,1}}$ e $\mathbf{A_{2,2}}$.

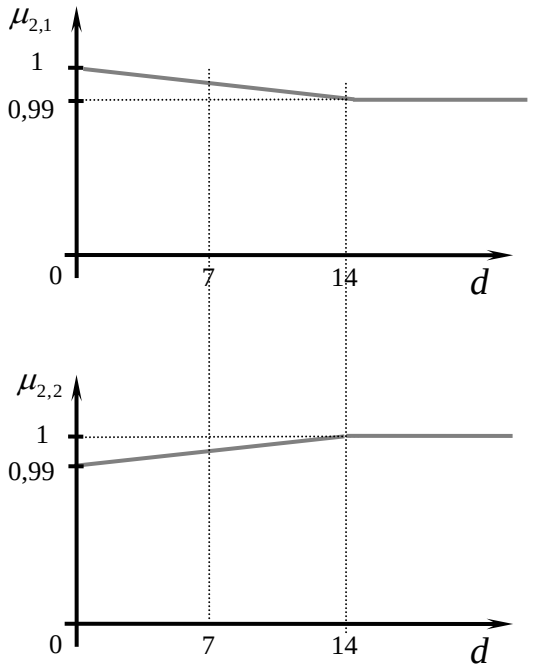

Figura 17 – Funções de pertinência dos rótulos. $\mathbf{A_{2,1}}$ e $\mathbf{A_{2,2}}$.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

As funções de pertinência associadas aos rótulos $\mathbf{A_{2,1}}$ (ao longo de rio) e $\mathbf{A_{2,2}}$ (longe de rio) são usadas na diferenciação das classes mata ciliar e cerradão, que conforme mencionado anteriormente não podem ser diferenciadas meramente a partir da resposta espectral. Tais conjuntos devem servir para que proporcionalmente à sua distância de um rio o valor da função discriminante associada à classe cerradão cresça, enquanto o valor da função discriminante associada à classe mata ciliar decresça. Por analogia, o inverso deve ocorrer à medida que um segmento se aproxima do rio. Os valores de pertinência fornecidos por $\mu_{2,1}$ e $\mu_{2,2}$ foram propositalmente limitados ao intervalo [0,99 1]. O objetivo desta escolha é diferenciar os segmentos cuja resposta espectral seja compatível com floresta densa sem que os valores finais das funções discriminantes associadas às classes mata ciliar e cerradão sejam menores do que as funções discriminantes associadas às demais classes.

As eq. (13), eq. (14) e eq. (15) apresentam as funções de pertinência associadas aos rótulos $\mathbf{A_{2,3}}$, $\mathbf{A_{2,4}}$ e $\mathbf{A_{2,5}}$ respectivamente.

$$\mu_{2,3} = \begin{cases} 1 \text{ para } \boldsymbol{v_2} \text{ em montanha} \\ 0 \text{ para } \boldsymbol{v_2} \text{ fora de montanha} \end{cases} \quad \text{Eq. (13)}$$

$$\mu_{2,4} = \begin{cases} 1 \text{ para } \boldsymbol{v_2} \text{ fora de montanha} \\ 0 \text{ para } \boldsymbol{v_2} \text{ em montanha} \end{cases} \quad \text{Eq. (14)}$$

$$\mu_{2,5} = 1 \quad \text{Eq. (15)}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

6.3.5. Conhecimento multitemporal

O diagrama de transição de estados proposto para tal região a fim de sumarizar o conhecimento multitemporal leva em consideração as mudanças possíveis no intervalo de 1 ano (Δt = 1 ano), na estação seca. A fim de melhor descrever o conhecimento multitemporal, as classes de uso do solo foram subdivididas em dois grupos: Grupo 1 composto pelas classes *cerradão*, *cerradão em regeneração* e *mata ciliar*. Grupo 2 formado pelas classes *pasto* e *solo exposto*. A classe corpos d'água não foi considerada neste agrupamento. Assim sendo, as transições possíveis entre $\boldsymbol{t-1}$ e $\boldsymbol{t}$ para $\boldsymbol{\Delta t}$ = 1 ano são descritas na tabela 10.

Uso/Cobertura em *t-1*	**Uso/Cobertura em *t***	**Processo**
Cerradão	Pasto	*Desflorestamento e introdução de um novo pasto.*
	Solo exposto	*Preparo da terra para plantio de novo pasto*
Cerradão em regeneração	Pasto	*Desflorestamento e introdução de um novo pasto.*
	Solo exposto	*Preparo da terra para plantio de novo pasto*
	Cerradão	*Condições ambientais favoráveis possibilitando a recomposição da cobertura vegetal original.*
Mata ciliar	Pasto	*Desflorestamento* [2] *e introdução de um novo pasto.*
	Solo exposto	*Preparo* [2] *da terra para plantio de novo pasto*
Pasto	Solo exposto	*Preparo da terra para plantio de novo pasto ou degradação do solo (erosão)*
Solo exposto	Pasto	*Renovação do pasto*

Tabela 10 – Transições possíveis para Δt = 1 ano.

Um especialista em manejo agronômico, com atuação na região de interesse, formulou o conhecimento multitemporal através de um diagrama de transição de estados (Pakzad, 2001; Growe, 2001). Neste momento, é importante mencionar que o conhecimento multitemporal reflete as práticas agronômicas vigentes na região de interesse, que, por sua vez, são influenciadas por condições sócio-econômicas e, portanto, são modificadas de acordo com política agrária vigente. Assim sendo, na prática, o conhecimento multitemporal aqui descrito exprime o entendimento do especialista sobre as práticas agronômicas atualmente empregadas pelos proprietários rurais da região. Entretanto, esta modalidade de conhecimento pode ser alterada por fatores socioeconômicos.

[2] *A remoção da mata ciliar não é permitida pelo atual código florestal brasileiro (1965).*

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

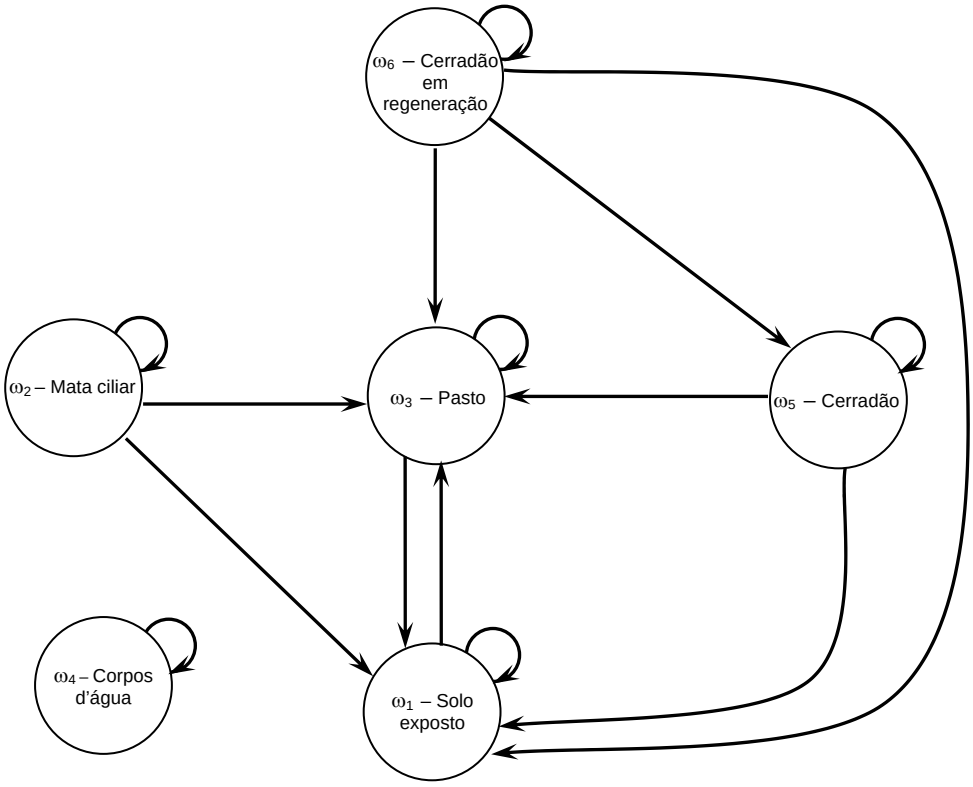

Figura 18 – Diagrama de transição de estados que define o conhecimento multitemporal binário.

Neste caso, a existência de um arco entre dois nós quaisquer indica que a possibilidade de ocorrência desta transição é 1. De forma análoga, a inexistência indica que o a possibilidade de ocorrência desta transição é 0. Portanto, o diagrama de transição de estados apresentado na figura 18 é binário no sentido de que somente indica as transições, entre as classes, aceitáveis e inaceitáveis. A partir de agora esta modalidade de conhecimento multitemporal será referida como conhecimento multitemporal binário.

Usando este diagrama de transição de estados, onde cada nó define um rótulo da variável lingüística classificação anterior, v_3, foi definida a base de conjuntos nebulosos discretos que define o conhecimento multitemporal binário apresentada na tabela 11, classificações em ***t-1*** que levam à classe ω_i em ***t*** e seus respectivos valores de pertinência.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Rótulo lingüístico	***Classe em* t**	**Conjunto nebuloso**
$A_{3,1}$	ω_1	$\mu_{3,\omega1}$(Classe em t-1) = $1/\omega_1 + 1/\omega_2 + 1/\omega_3 + 0/\omega_4 + 1/\omega_5 + 1/\omega_6$
$A_{3,2}$	ω_2	$\mu_{3,\omega2}$(Classe em t-1) = $0/\omega_1 + 1/\omega_2 + 0/\omega_3 + 0/\omega_4 + 0/\omega_5 + 0/\omega_6$
$A_{3,3}$	ω_3	$\mu_{3,\omega3}$(Classe em t-1) = $1/\omega_1 + 1/\omega_2 + 1/\omega_3 + 0/\omega_4 + 1/\omega_5 + 1/\omega_6$
$A_{3,4}$	ω_4	$\mu_{3,\omega4}$(Classe em t-1) = $0/\omega_1 + 0/\omega_2 + 0/\omega_3 + 1/\omega_4 + 0/\omega_5 + 0/\omega_6$
$A_{3,5}$	ω_5	$\mu_{3,\omega5}$(Classe em t-1) = $0/\omega_1 + 0/\omega_2 + 0/\omega_3 + 0/\omega_4 + 1/\omega_5 + 1/\omega_6$
$A_{3,6}$	ω_6	$\mu_{3,\omega6}$(Classe em t-1) = $0/\omega_1 + 0/\omega_2 + 0/\omega_3 + 0/\omega_4 + 0/\omega_5 + 1/\omega_6$

Tabela 11 – Conjuntos nebulosos que definem a base de conhecimento multitemporal binário, funções de pertinência dos rótulos associados a v_3, classificação anterior (legenda: ω_1 - solo exposto, ω_2 - mata ciliar, ω_3 - pasto, ω_4 - corpos d'água, ω_5 - cerradão e ω_6 - cerradão em regeneração).

O presente trabalho propõe a extensão deste diagrama proporcionando a representação de diferentes valores para as transições, indicando diferentes possibilidades para ocorrência de cada uma delas. Esta abordagem é semelhante às utilizadas por Pakzad (2001) e Growe (2001) , porém, no presente trabalho, os valores das possibilidades são empregados na própria avaliação. A partir de agora, tais diagramas de transição de estados ou o conhecimento que representam serão referidos como ponderados. Estes valores foram arbitrados pelo mesmo especialista que definiu o diagrama de transição de estados anterior em função de sua experiência na região de interesse, considerando as práticas agronômicas no intervalo de um ano a partir da estação seca. A figura 19 apresenta o diagrama de transição de estados resultante, onde, junto aos arcos, estão indicadas as possibilidades de ocorrência de cada transição.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

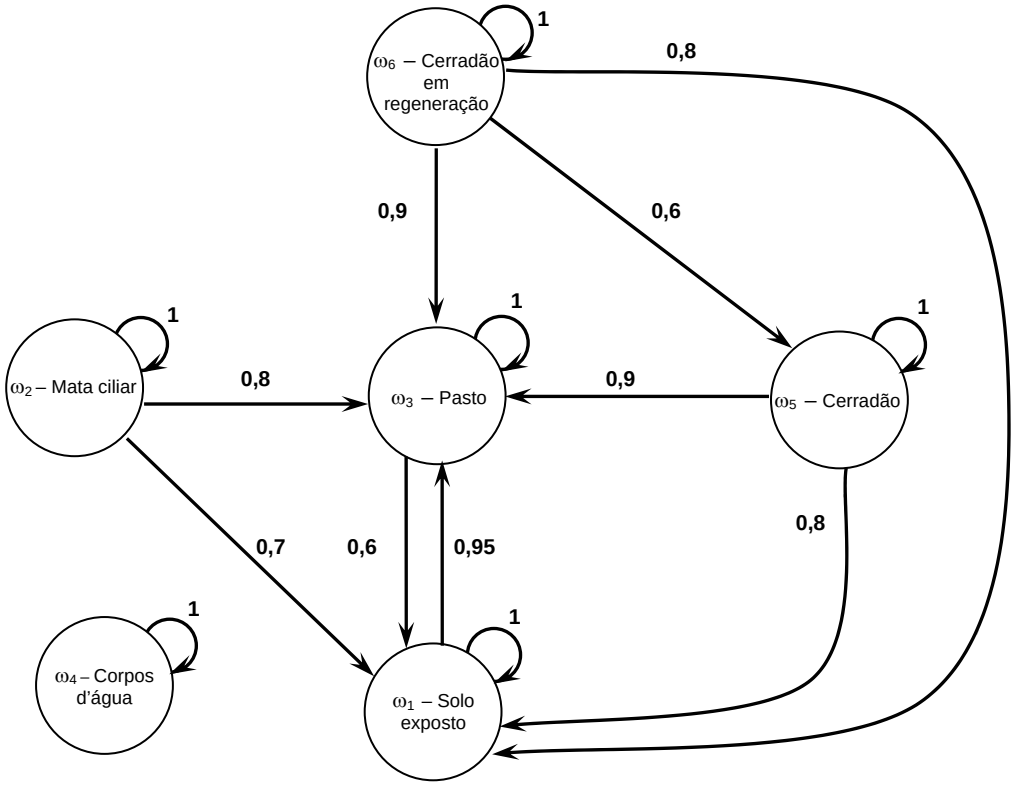

Figura 19 – Diagrama de transição de estados que define o conhecimento multitemporal ponderado.

No presente trabalho, se optou por um tratamento possibilístico ao invés de um tratamento probabilístico. A principal vantagem oferecida pela escolha do tratamento possibilístico reside no fato de que a definição manual das possibilidades é mais simples do que seria a definição de probabilidades. O tratamento possibilístico impõe menos restrições do que o tratamento probabilístico, por exemplo, não existe restrição quanto ao somatório das possibilidades relacionadas a um mesmo estado anterior ser igual a 1. Assim sendo, dado um estado inicial a *manutenção* deste estado, situação mais provável, recebe imediatamente 1 como valor de possibilidade. Em seguida, podem ser definidas, considerando os critérios de manejo relacionados à região os valores das possibilidades das diversas *transições*. Tais valores, normalmente, menores do que 1 penalizam a ocorrência de transições de acordo com as considerações anteriormente mencionadas. Desta forma, os valores das possibilidades podem ser manipulados individualmente. Além disso, como os valores associados às transições mais prováveis serão sempre iguais a 1, o que se deve à ausência de valores de escala relacionados à restrição anteriormente mencionada, o diagrama

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

com valores das possibilidades é mais compreensível do que seria o diagrama com as probabilidades.

Novamente, o diagrama de transição de estados foi modelado através de conjuntos nebulosos discretos. Os rótulos associados ao conhecimento multitemporal ponderado são modelados através dos conjuntos nebulosos discretos apresentados na tabela 12, representando as classificações em ***t-1*** que levam à classe ω_i em ***t*** e seus respectivos valores de pertinência (possibilidades).

Rótulo lingüístico	***Classe em* t**	**Conjunto nebuloso**
$\mathbf{A_{3,1}}$	$\boldsymbol{\omega_1}$	$\mu_{3,\omega1}$(Classe em t-1) = $1/\omega_1 + 0.7/\omega_2 + 0.6/\omega_3 + 0/\omega_4 + 0.8/\omega_5 + 0.8/\omega_6$
$\mathbf{A_{3,2}}$	$\boldsymbol{\omega_2}$	$\mu_{3,\omega2}$(Classe em t-1) = $0/\omega_1 + 1/\omega_2 + 0/\omega_3 + 0/\omega_4 + 0/\omega_5 + 0/\omega_6$
$\mathbf{A_{3,3}}$	$\boldsymbol{\omega_3}$	$\mu_{3,\omega3}$(Classe em t-1) = $0.95/\omega_1 + 0.8/\omega_2 + 1/\omega_3 + 0/\omega_4 + 0.9/\omega_5 + 0.9/\omega_6$
$\mathbf{A_{3,4}}$	$\boldsymbol{\omega_4}$	$\mu_{3,\omega4}$(Classe em t-1) = $0/\omega_1 + 0/\omega_2 + 0/\omega_3 + 1/\omega_4 + 0/\omega_5 + 0/\omega_6$
$\mathbf{A_{3,5}}$	$\boldsymbol{\omega_5}$	$\mu_{3,\omega5}$(Classe em t-1) = $0/\omega_1 + 0/\omega_2 + 0/\omega_3 + 0/\omega_4 + 1/\omega_5 + 0.6/\omega_6$
$\mathbf{A_{3,6}}$	$\boldsymbol{\omega_6}$	$\mu_{3,\omega6}$(Classe em t-1) = $0/\omega_1 + 0/\omega_2 + 0/\omega_3 + 0/\omega_4 + 0/\omega_5 + 1/\omega_6$

Tabela 12 – Conjuntos nebulosos que definem a base de conhecimento multitemporal ponderado, funções de pertinência dos rótulos associados a v_3, classificação anterior (legenda: ω_1 - solo exposto, ω_2 - mata ciliar, ω_3 - pasto, ω_4 - corpos d'água, ω_5 - cerradão e ω_6 - cerradão em regeneração).

Segundo a argumentação do especialista, regiões que eram recobertas pela classe cerradão possivelmente permanecerão no ano seguinte recobertas por cerradão. Também é possível que o cerradão tenha sido devastado para a substituição por pastagem. Segundo o especialista, normalmente, o desmatamento ocorre na estação seca, sendo, a seguir, no começo da estação chuvosa plantado o pasto, pois um certo volume de chuvas regulares é necessário para o desenvolvimento da nova pastagem. Por outro lado, uma outra situação pode ocorrer em áreas que eram anteriormente recobertas por cerradão, o desmatamento pode ter sido realizado num momento menos oportuno, permanecendo, na próxima estação seca, o solo exposto aguardando o início do próximo período de chuvas para a realização do plantio.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Apesar de configurar como um crime ambiental, previsto no código florestal brasileiro (1965), os mesmos argumentos valem para a substituição de mata ciliar por pasto ou solo exposto. Porém, por ser considerada ilegal, a transições a partir de mata ciliar são consideradas menos prováveis do que as que se dão a partir de cerradão.

Nas regiões que foram, há certo tempo, desmatadas e atualmente são ocupadas por cerradão em regeneração é mais plausível que permaneçam no ano seguinte como cerradão em regeneração. Entretanto, no caso de condições climáticas favoráveis, volume de chuvas além do usual, podem vir a se regenerar voltando para a classe cerradão. Por outro lado, os argumentos que embasam as transições da classe cerradão para solo exposto e pasto também são válidos para a classe cerradão em regeneração.

As regiões ocupadas por pastagem no ano anterior tendem no ano seguinte a permanecerem sendo usadas como pasto. Porém, também é possível que estas regiões estejam ocupadas por solo exposto, tal ocorrência pode significar a renovação do pasto, processo que, em média, ocorre há cada 5 anos ou, mesmo, um processo erosivo.

Áreas de solo exposto abertas pelo proprietário no ano anterior tendem, no ano seguinte, a estarem ocupadas por pastagem (preparo da terra para o plantio de novo pasto). Por outro lado, se o objetivo do proprietário era somente a extração da madeira é possível que no ano seguinte a região permaneça como solo exposto. Entretanto, áreas de solo exposto devido à degradação ambiental provavelmente permanecerão como solo exposto.

Finalmente, as regiões ocupadas pela classe corpos d’água possuem grande tendência a permanecer como tal.

6.3.6. Regras de inferência

Até o momento, foi definida a realização dos conceitos lingüísticos empregados pelos especialistas através de variáveis lingüísticas, rótulos e conjuntos nebulosos. A presente seção apresenta a estratégia de classificação a

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

partir de regras que definem a combinação destes conceitos. A tabela 13 expressa a estratégia de classificação e a tabela 14 as regras empregadas nesta estratégia.

	Antecedentes			**Conseqüente**
Regra	**Resposta espectral (v_1)**	**Localização (v_2)**	**Classificação anterior (v_3)**	***Classificação em t***
R_1	**$A_{1,1}$ - Rosa claro a branco**	**$A_{2,5}$ - Em qualquer lugar**	**$A_{3,1}$ - ω_1 - Solo exposto [3]**	***ω_1 - Solo exposto***
R_2	**$A_{1,2}$ - Verde escuro**	**$A_{2,1}$ - Ao longo de rio**	**$A_{3,2}$ - ω_2 - Mata Ciliar [3]**	***ω_2 - Mata Ciliar***
R_3	**$A_{1,2}$ - Verde escuro**	**$A_{2,2}$ - Longe de rio**	**$A_{3,5}$ - ω_5 – Cerradão [3]**	***ω_5 - Cerradão***
R_4	**$A_{1,3}$ - Rosa azulado ou rosa esverdeado**	**$A_{2,5}$ - Em qualquer lugar**	**$A_{3,3}$ - ω_3 – Pasto [3]**	***ω_3 - Pasto***
R_5	**$A_{1,4}$ - Marrom escuro a preto**	**$A_{2,3}$ - Em montanha**	**$A_{3,5}$ - ω_5 – Cerradão [3]**	***ω_5 - Cerradão***
R_6	**$A_{1,4}$ - Marrom escuro a preto**	**$A_{2,4}$ - Fora de montanha**	**$A_{3,4}$ - ω_4 - Corpos d'água [3]**	***ω_4 – Corpos d'água***
R_7	**$A_{1,5}$ - Verde claro**	**$A_{2,5}$ - Em qualquer lugar**	**$A_{3,6}$ - ω_6 -Cerradão em regeneração [3]**	***ω_6 - Cerradão em regeneração***

Tabela 13 – Estratégia de classificação

Rótulo	***Regra*** *Antecedente 1 Antecedente 2 Antecedente 3 Conseqüente*
R_1	*SE (v_1 é $A_{1,1}$) E (v_2 é $A_{2,5}$) E (v_3 é $A_{3,1}$) ENTÃO* classe é ω_1 com $g_{1(1)}(x)$
R_2	*SE (v_1 é $A_{1,2}$) E (v_2 é $A_{2,1}$) E (v_3 é $A_{3,2}$) ENTÃO* classe é ω_2 com $g_{2(2)}(x)$
R_3	*SE (v_1 é $A_{1,2}$) E (v_2 é $A_{2,2}$) E (v_3 é $A_{3,5}$) ENTÃO* classe é ω_5 com $g_{5(3)}(x)$
R_4	*SE (v_1 é $A_{1,3}$) E (v_2 é $A_{2,5}$) E (v_3 é $A_{3,3}$) ENTÃO* classe é ω_3 com $g_{3(4)}(x)$
R_5	*SE (v_1 é $A_{1,4}$) E (v_2 é $A_{2,3}$) E (v_3 é $A_{3,5}$) ENTÃO* classe é ω_5 com $g_{5(5)}(x)$
R_6	*SE (v_1 é $A_{1,4}$) E (v_2 é $A_{2,4}$) E (v_3 é $A_{3,4}$) ENTÃO* classe é ω_4 com $g_{4(6)}(x)$
R_7	*SE (v_1 é $A_{1,5}$) E (v_2 é $A_{2,5}$) E (v_3 é $A_{3,6}$) ENTÃO* classe é ω_6 com $g_{6(7)}(x)$

Tabela 14 – Conjunto de regras que expressam a estratégia de classificação (legenda: ω_1 - solo exposto, ω_2 - mata ciliar, ω_3 - pasto, ω_4 - corpos d'água, ω_5 - cerradão e ω_6 - cerradão em regeneração).

[3] Conjunto nebuloso discreto que define o grau de pertinência das classes de cobertura do solo, em ***t-1***, levando, em ***t***, à classe indicada no rótulo lingüístico da variável lingüística classificação anterior (v_3).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

As regras tal qual apresentadas na tabela 14 são formadas por três antecedentes e um único conseqüente, que está, por sua vez, associado a uma função de pertinência para uma classe. Nesta implementação, a maioria das classes é definida por uma única regra. A exceção é a classe cerradão que pode ser expressa tanto pela regra $\mathbf{R_3}$ quanto pela regra $\mathbf{R_5}$. Assim sendo, a pertinência de um padrão qualquer, **x**, a esta classe é igual ao máximo de $g_{5(3)}(\mathbf{x})$ e $g_{5(5)}(\mathbf{x})$. Já as demais classes são expressas por uma única regra. Portanto, $\mathbf{R_1}$ fornece $g_{1(1)}(\mathbf{x})$ para a classe ω_1, solo exposto; $\mathbf{R_2}$ fornece $g_{2(2)}(\mathbf{x})$ para a classe ω_2, mata ciliar; $\mathbf{R_4}$ fornece $g_{3(4)}(\mathbf{x})$ para a classe ω_3, pasto; $\mathbf{R_6}$ fornece $g_{4(6)}(\mathbf{x})$ para a classe ω_4 , corpos d'água, $\mathbf{R_7}$ fornece $g_{6(7)}(\mathbf{x})$ para a classe ω_6, cerradão em regeneração.

Ao longo dos experimentos que serão apresentados na seção 6.4, quando estiver sendo verificada a contribuição dos conhecimentos espectral e contextual, somente os antecedentes 1 e 2 serão empregados. Da mesma forma, quando for verificado o resultado empregando a classificação espectral e o conhecimento multitemporal, as funções discriminantes empregadas na classificação serão resultantes do produto das pertinências produzidas pelas regras empregando somente o antecedente 3 pelas respectivas pertinências espectrais.

6.4. Experimentos

As seções a seguir descrevem, e discutem os experimentos realizados com o intuito de validar o método proposto. No final deste capítulo, é apresentada uma avaliação global dos experimentos.

6.4.1. Avaliação da seleção automática do conjunto de treinamento

Os experimentos descritos a seguir foram todos realizados, partindo de uma classificação espectral baseada num conjunto de treinamento manual e automático, conforme proposto na seção 6.3.1. Para representar a opção manual utilizou-se como conjunto de treinamento o próprio resultado referência produzido pelo foto-intérprete. Portanto, para cada classe de uso do solo são amostras do conjunto de treinamento manual todas as regiões possuem a mesma

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

cobertura nas classificações de referência nos instantes ***t-1*** e ***t***. Assim sendo, fica claro que na prática um foto-intérprete dificilmente poderia montar manualmente um conjunto de treinamento tão representativo das classes da legenda, já que para fazê-lo, seria necessário saber de antemão a informação das classes finais dos segmentos a serem classificados. Claramente este procedimento superestima o desempenho do sistema com o uso do que seria o conjunto de treinamento selecionado de forma manual.

A tabela 15 apresenta os valores das assinaturas espectrais médias dos padrões apresentados como conjunto de treinamento nos experimentos com seleção manual do conjunto de treinamento.

	Resposta espectral bandas 5 / 4 / 3	
	2000	**2001**
Solo exposto	125.3 / 88.3 / 74.0	122.0 / 88.2 / 69.1
Pasto	121.9 / 87.5 / 70.5	121.5 / 90.3 / 69.2
Mata ciliar	67.4 / 87.2 / 42.1	66.8 / 90.9 / 41.3
Cerradão	69.4 / 83.5 / 42.3	72.0 / 82.6 / 42.6
Cerradão em regeneração	74.4 / 79.8 / 45.4	78.0 / 76.8 / 46.0

Tabela 15 – Resposta espectral média das classes mais confundidas pela classificação espectral.

Os experimentos apresentados nesta seção tiveram como objetivo investigar o rendimento do método proposto com a seleção automática do conjunto de treinamento. Dois experimentos foram realizados para este fim como se verá a seguir.

6.4.1.1. Influência do grau de confiança na discriminação entre segmentos estáveis e alterados

Este experimento tem o intuito de avaliar a influência do grau de confiança, α, no desempenho do método de detecção automática de mudanças.

A medida em que se aumenta o valor de α, diminui tanto o número de segmentos estáveis (aqueles que possuem a mesma classificação em ***t-1*** e ***t***)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

quanto o número de segmentos alterados (aqueles com classificações diferentes em ***t-1*** e ***t***) que são selecionados como conjunto de treinamento. Especificamente, pretende-se com este experimento avaliar a capacidade do algoritmo proposto diferenciar segmentos estáveis de segmentos alterados.

Neste experimento, varia-se o valor de α e contabiliza-se o número dos segmentos estáveis e alterados que são retidos no conjunto de treinamento pelo algoritmo. As figuras 20 a 26 correspondem respectivamente às classes solo exposto, mata ciliar, pasto, corpos d'água, cerradão, cerradão em regeneração e todas as classes simultaneamente.

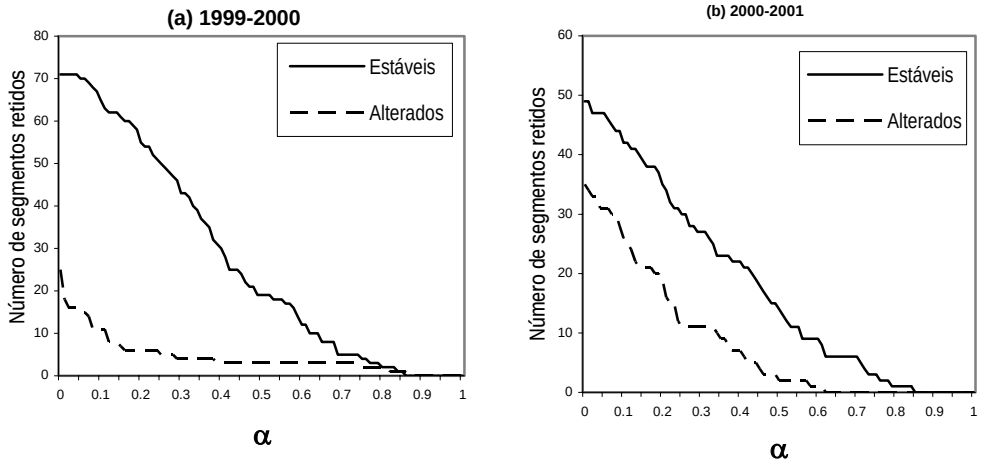

Figura 20 – Número de exemplos estáveis e alterados da classe solo exposto, em função de α, presentes no conjunto de treinamento produzido pelo método automático de seleção.

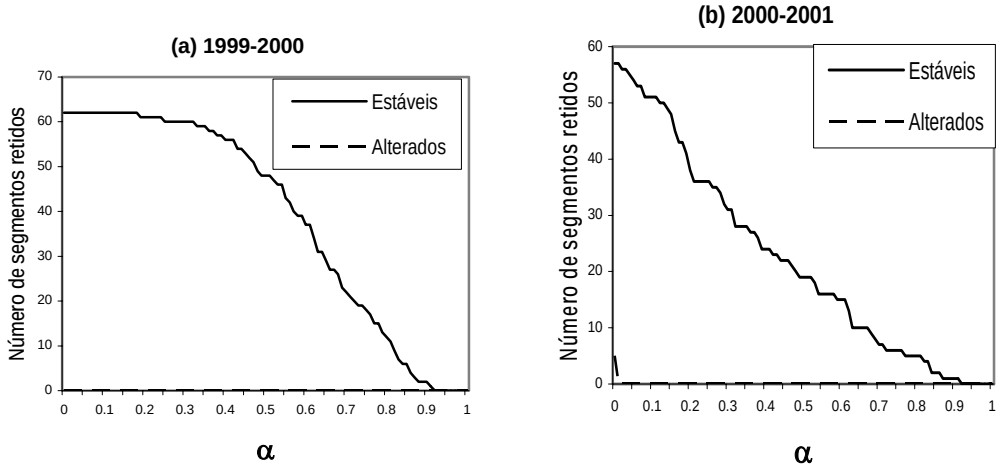

Figura 21 – Número de exemplos estáveis e alterados da classe mata ciliar, em função de α, presentes no conjunto de treinamento produzido pelo método automático de seleção.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

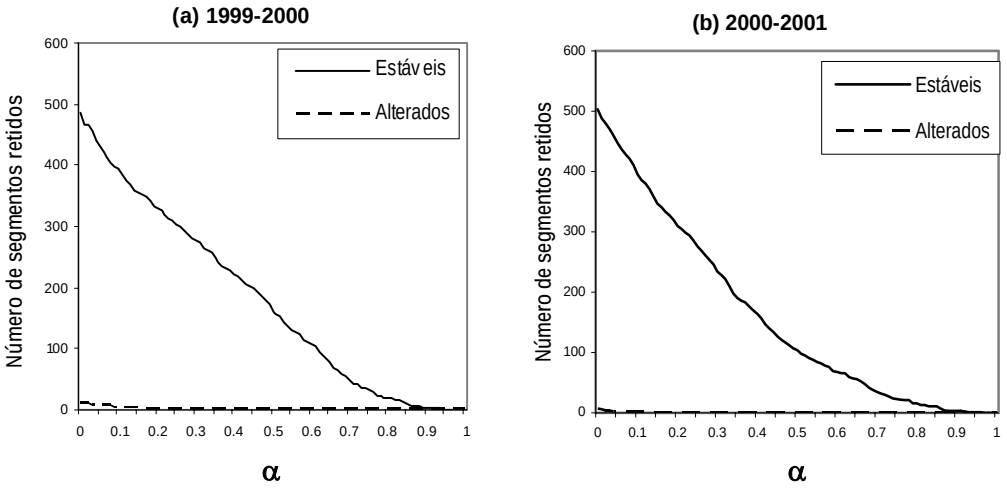

Figura 22 – Número de exemplos estáveis e alterados da classe pasto, em função de α, presentes no conjunto de treinamento produzido pelo método automático de seleção.

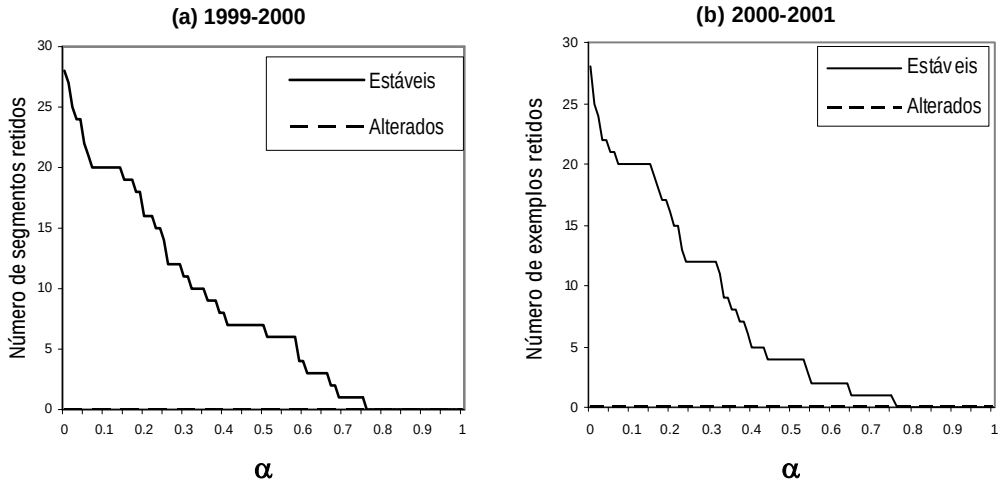

Figura 23 – Número de exemplos estáveis e alterados da classe corpos d'água, em função de α, presentes no conjunto de treinamento produzido pelo método automático de seleção.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

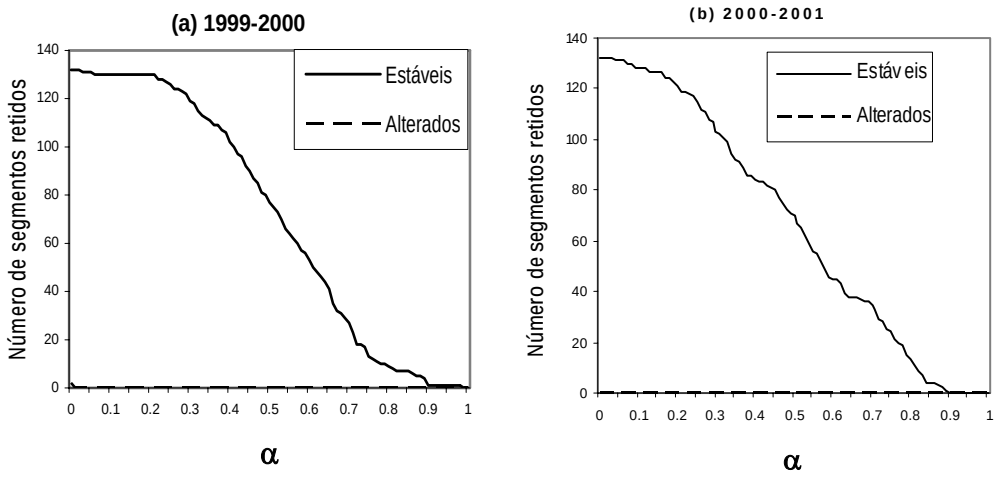

Figura 24 – Número de exemplos estáveis e alterados da classe cerradão, em função de α, presentes no conjunto de treinamento produzido pelo método automático de seleção.

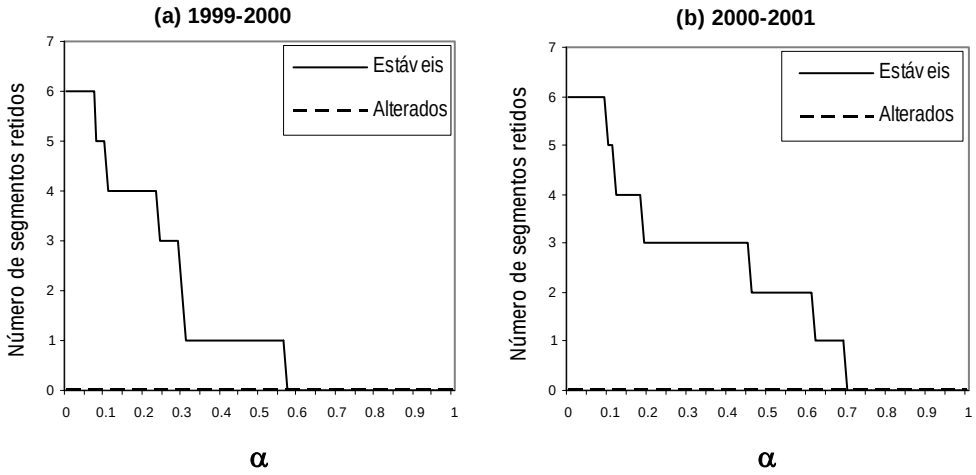

Figura 25 – Número de exemplos estáveis e alterados da classe cerradão em regeneração, em função de α, presentes no conjunto de treinamento produzido pelo método automático de seleção.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

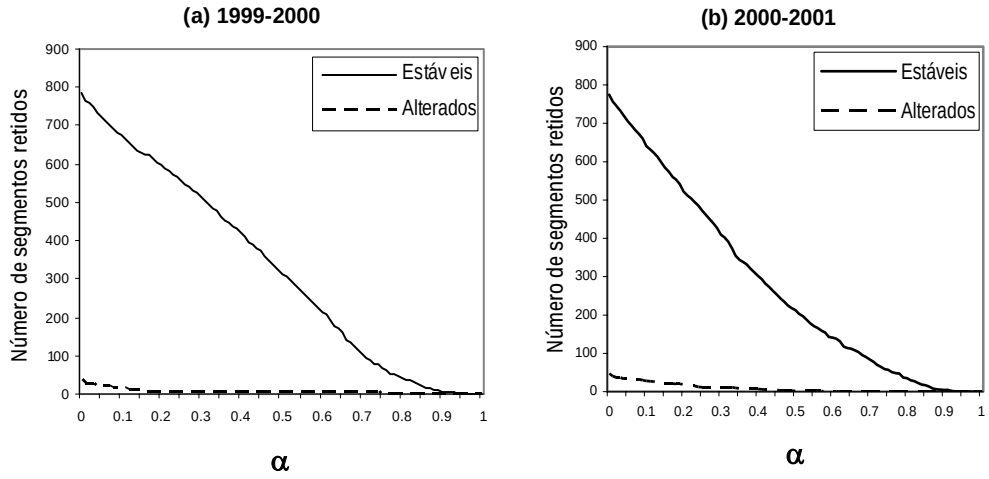

Figura 26 – Número de exemplos estáveis e alterados de todas as classes simultaneamente, em função de α, presentes no conjunto de treinamento produzido pelo método automático de seleção.

Observa-se que para a classe solo exposto o procedimento automático de seleção de exemplos do conjunto de treinamento apresentou um desempenho fraco. Conforme pode ser observado na figura 20 os segmentos alterados da classe solo exposto somente são eliminados para valores elevados de α (acima de 0.6). Além disso, para a seleção feita com base nas imagens de 1999-2000 figura 20 (a) os segmentos estáveis são eliminados antes que os segmentos alterados o sejam. Portanto, é difícil realizar eficientemente a seleção automática de exemplos desta classe.

Este resultado não surpreende, uma vez que, para esta classe a porcentagem de segmentos alterados é muito elevada (25 em 96 do ano de 1999 para 2000 e 35 em 84 de 2000 para 2001). Isto contraria a hipótese de que a proporção dos segmentos que se alteram de uma data para outra data é pequena (vide seção 4.2.2).

Dentre as razões que podem ser apontadas para tal fato está a grande instabilidade das áreas de solo exposto (exceto aquelas devidas à erosão). Caso não seja realizada nenhuma ação a fim de mantê-las como tal, as espécies nativas começarão a regenerar a cobertura vegetal original. Além disso, não existe razão econômica que leve um fazendeiro a realizar alguma ação no intuito de manter uma região neste estado. Portanto, no ano seguinte, muito provavelmente

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

apresentarão alguma cobertura vegetal alterando, assim, sua resposta espectral em relação ao valor verificado no ano anterior.

Para todas as outras classes, conforme apresentam a figura 21, a figura 22, a figura 23, a figura 24 e a figura 25, o método de seleção automática do conjunto de treinamento apresentou desempenho bastante satisfatório, tendo sido eliminados todos os segmentos alterados para um valor de α que ainda preserva quantidade representativa de segmentos estáveis.

Não é possível, no entanto, identificar com base nestes resultados um valor ótimo de α único para todas as classes.

6.4.1.2. Influência do grau de confiança, α, no resultado da classificação espectral

Este experimento tem como objetivo avaliar a influência do grau de confiança, α, porém, agora, diretamente sobre o resultado da classificação espectral.

Antes de descrever o experimento, deve-se mencionar uma particularidade da base de dados utilizada. Como se vê na tabela 6, a classe cerradão em regeneração possui somente 6 representantes. Como o cálculo da pertinência espectral apresentado na eq. (12) envolve a inversa da matriz de covariância da classe espectral, que no caso da implementação em questão possui dimensões 3×3, são necessárias ao menos 4 amostras para sua estimativa, caso contrário esta matriz se torna singular e, portanto, não inversível. O mecanismo de detecção automática proposto, por outro lado, reduz o número de segmentos estáveis do conjunto de treinamento para esta classe nestes experimentos para menos do que 4 mesmo para valores baixos α. Para contornar esta dificuldade, optou-se neste experimento por manter todos os 6 segmentos desta classe para treinamento, independente de serem considerados ou não como estáveis, e aplicar o método de seleção apenas às demais classes.

A tabela 16 apresenta a taxa de acerto da classificação espectral das imagens de 2000 e 2001 empregando respectivamente conjuntos de treinamento selecionados de forma automática para os intervalos 1999-2000 e 2000-2001, para

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

diversos valores de α. Todos os valores indicados referem-se ao classificador de distância de Mahalanonbis, conforme apresentado pela eq. (12).

	α=0	α=0,1	α=0,2	α=0,3	α=0,4	α=0,5
1999-2000	57,4 %	54,7 %	53,6 %	54,8 %	59,6 %	62,6 %
2000-2001	68,2 %	64,3 %	59,9 %	70 %	63,1 %	63,2 %

Tabela 16 – Influência da escolha do parâmetro α na taxa de acerto da classificação espectral

Verifica-se na tabela 16, que a taxa de reconhecimento tem variação numa faixa de $\pm$ 5% para ambos os períodos considerados. Aqui novamente não se identifica um valor ótimo de α para ambos períodos. Para 1999-2000 a maior taxa de reconhecimento foi alcançada para α = 0,5, enquanto para 2000-2001 a maior taxa de reconhecimento foi obtida para α = 0,3.

Esta oscilação está muito provavelmente de novo relacionada com o grande número de segmentos da classe *solo exposto* que mudam de classe de um ano para outro nas imagens utilizadas.

O grau de confiança α ideal estará próximo da proporção de segmentos alterados para aquela classe particular, seria, portanto, distinto para cada classe. Esta informação é, contudo, desconhecida a priori. Os resultados poderiam ser muito melhores, se fosse utilizada uma estimativa destas proporções, obtidas, por exemplo, junto a especialistas da área de interesse, ou ainda baseando-se em dados históricos, se disponíveis. Esta análise extrapola o escopo deste trabalho.

Optou-se por utilizar em todos os experimentos o valor α = 0,15 para todas as classes. Quando se excede este valor, a classe *cerradão em regeneração*, período 2000-2001, fica com número muito pequeno de segmentos de treinamento, vide figura 25 (b). Assim sendo, a partir de agora, todos os experimentos com a seleção automática do conjunto de treinamento empregarão o conjunto de treinamento produzido por este valor de α para o cálculo de $\mathbf{S_i}$ e $\overline{\mathbf{X}}_\mathbf{i}$.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

6.4.2.
Classificação espectral

As figuras 27 a 30 apresentam o resultado da classificação espectral das áreas 1 e 2 em 2000 e 2001 utilizando o classificador de distância de Mahalanobis (vide Eq. (12)) e conjunto de treinamento selecionado manualmente.

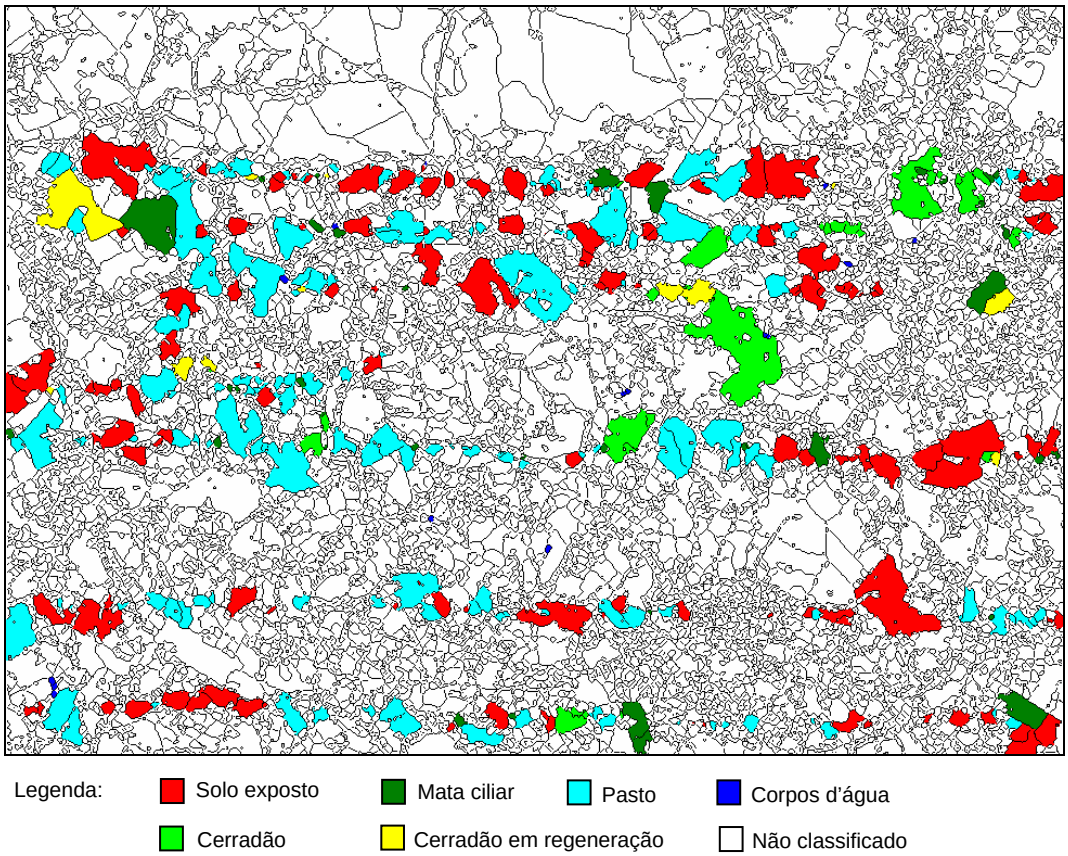

Figura 27 – Resultado da classificação espectral da área 1 em 2000 empregando conjunto de treinamento selecionado manualmente.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

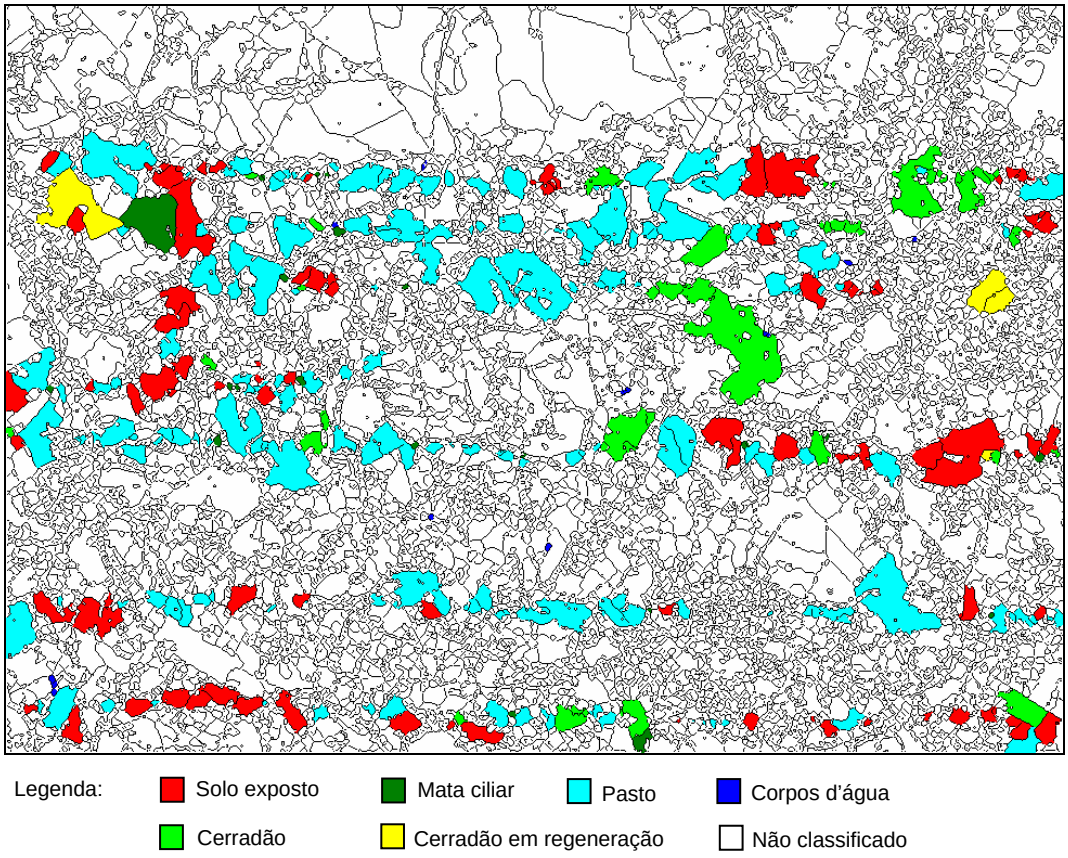

Figura 28 – Resultado da classificação espectral da área 1 em 2001 empregando conjunto de treinamento selecionado manualmente.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

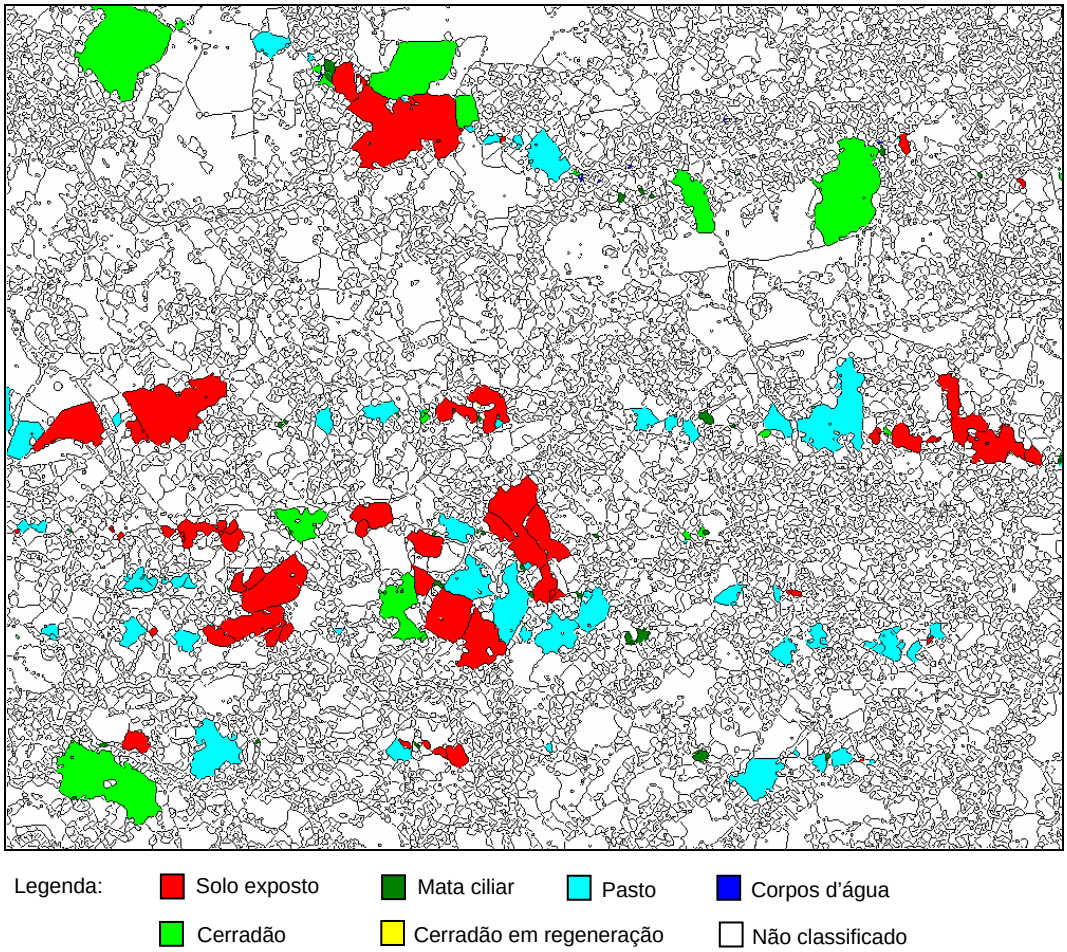

Figura 29 – Resultado da classificação espectral da área 2 em 2000 empregando conjunto de treinamento selecionado manualmente.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

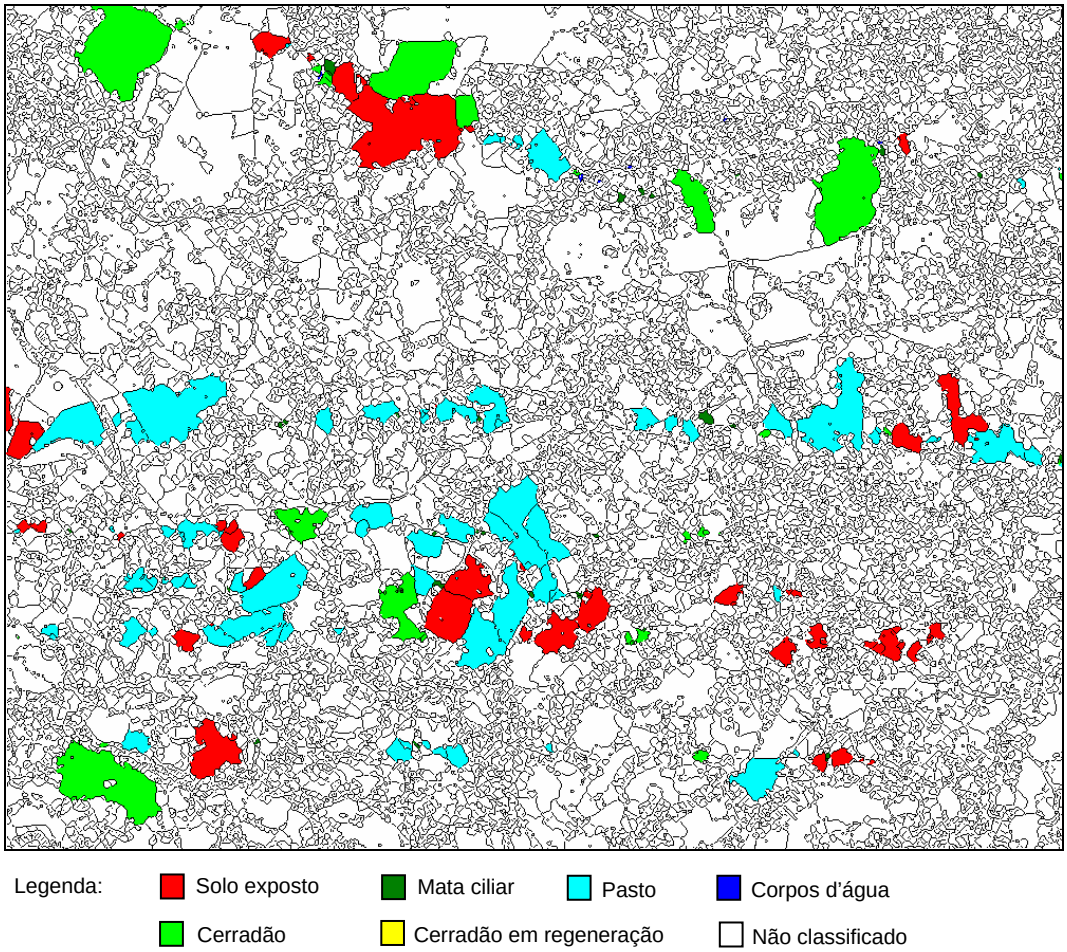

Figura 30 – Resultado da classificação espectral da área 2 em 2001 empregando conjunto de treinamento selecionado manualmente.

A tabela 17 e a tabela 18 apresentam a comparação dos resultados deste experimento – classificação espectral empregando o conjunto de treinamento selecionado manualmente – para 2000 (intervalo 1999-2000) e 2001 (intervalo 2000-2001) com os resultados de referência.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Dados de Referência							
Classificação	**ω_1**	**ω_2**	**ω_3**	**ω_4**	**ω_5**	**ω_6**	**Total da linha**
ω_1	49	0	219	1	0	0	*269*
ω_2	0	45	9	0	44	2	*100*
ω_3	34	2	278	0	3	0	*317*
ω_4	1	1	0	27	4	0	*33*
ω_5	0	10	1	0	74	1	*86*
ω_6	0	4	3	0	7	3	*17*
Total da Coluna	*84*	*62*	*510*	*28*	*132*	*6*	***822***

Taxa de acerto 57.9%

	Erro de omissão	**Erro de comissão**
ω_1 - Solo exposto	41,6 %	81,7 %
ω_2 - Mata ciliar	27,4 %	55 %
ω_3 - Pasto	45,5 %	12,3 %
ω_4 - Corpos d'água	3,5 %	18,1 %
ω_5 - Cerradão	43,9 %	13,9%
ω_6 - Cerradão em reg.	50 %	82,3%

Tabela 17 – Avaliação da classificação espectral, empregando o classificador de distância de Mahalanobis, da imagem de 2000 (matriz de confusão, taxa de reconhecimento erros de omissão e comissão) utilizando a seleção manual do conjunto de treinamento intervalo 1999-2000.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Dados de Referência							
Classificação	**ω_1**	**ω_2**	**ω_3**	**ω_4**	**ω_5**	**ω_6**	**Total da linha**
ω_1	29	0	170	0	0	0	*199*
ω_2	0	45	5	0	20	0	*70*
ω_3	31	1	360	0	5	0	*397*
ω_4	1	0	0	28	1	0	*30*
ω_5	0	11	3	0	103	3	*120*
ω_6	0	0	0	0	3	3	*6*
Total da Coluna	*61*	*57*	*538*	*28*	*132*	*6*	***822***

Taxa de acerto 69 %

	Erro de omissão	**Erro de comissão**
ω_1 - Solo exposto	52,4 %	85,4 %
ω_2 - Mata ciliar	21 %	35,7 %
ω_3 - Pasto	33 %	9,3 %
ω_4 - Corpos d'água	0 %	6,6 %
ω_5 - Cerradão	21,9 %	14%
ω_6 - Cerradão em reg.	50,0 %	50 %

Tabela 18 – Avaliação da classificação espectral, empregando o classificador de distância de Mahalanobis, da imagem de 2001 (matriz de confusão, taxa de reconhecimento erros de omissão e comissão) utilizando a seleção manual do conjunto de treinamento intervalo 2000-2001.

As figuras 31 a 34 apresentam o resultado da classificação espectral das áreas 1 e 2 em 2000 e 2001 utilizando o classificador de Distância de Mahalanobis (vide Eq. (12)) e o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

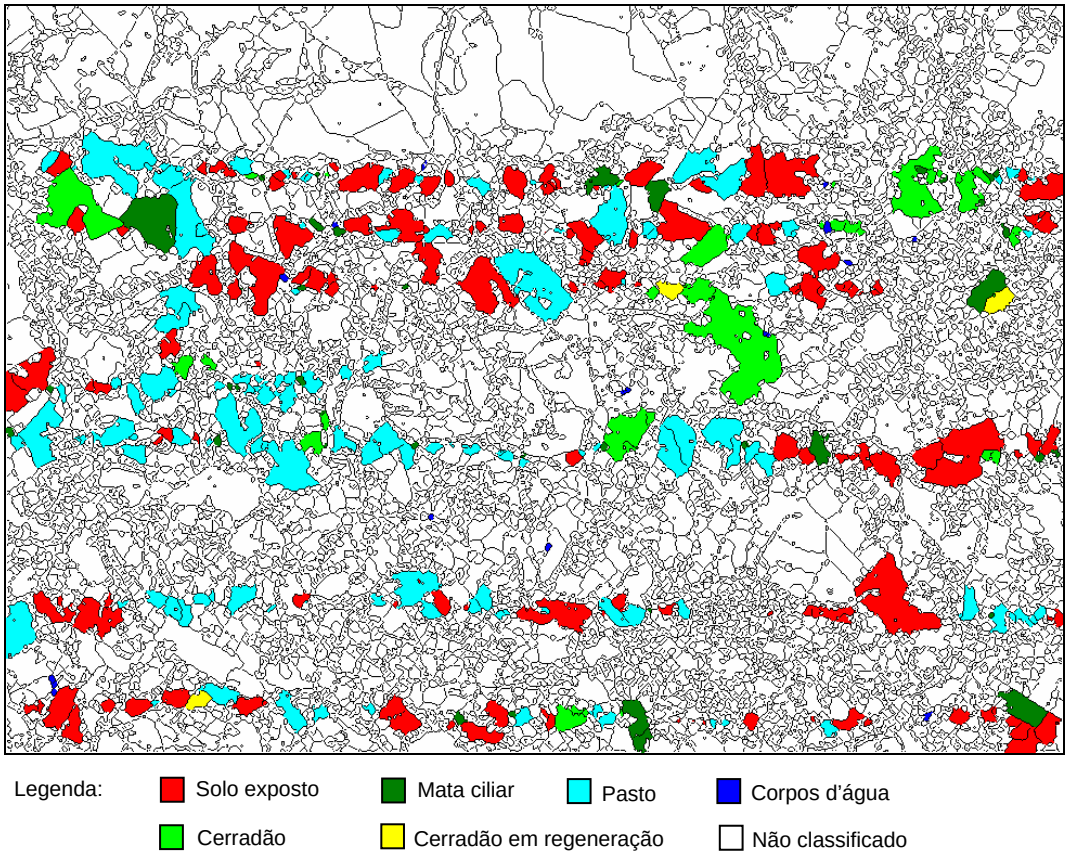

Figura 31 – Resultado da classificação espectral da área 1 em 2000 empregando conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

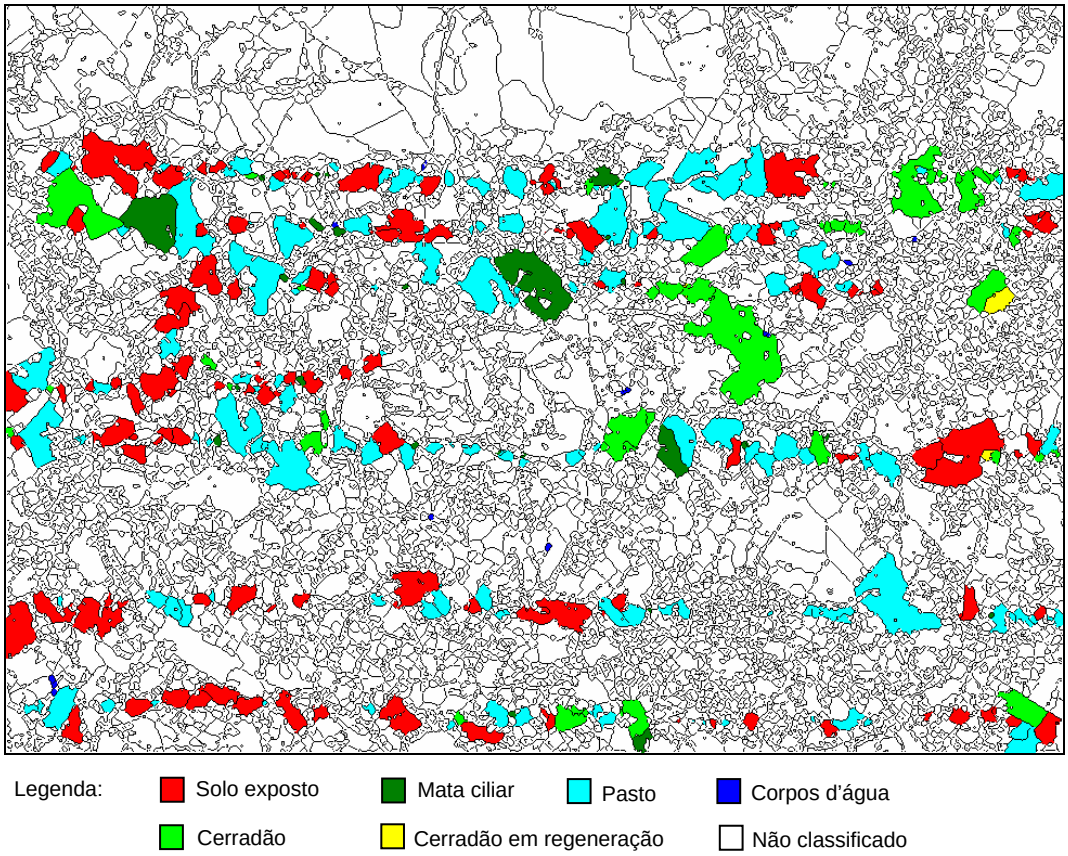

Figura 32 – Resultado da classificação espectral da área 1 em 2001 empregando conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

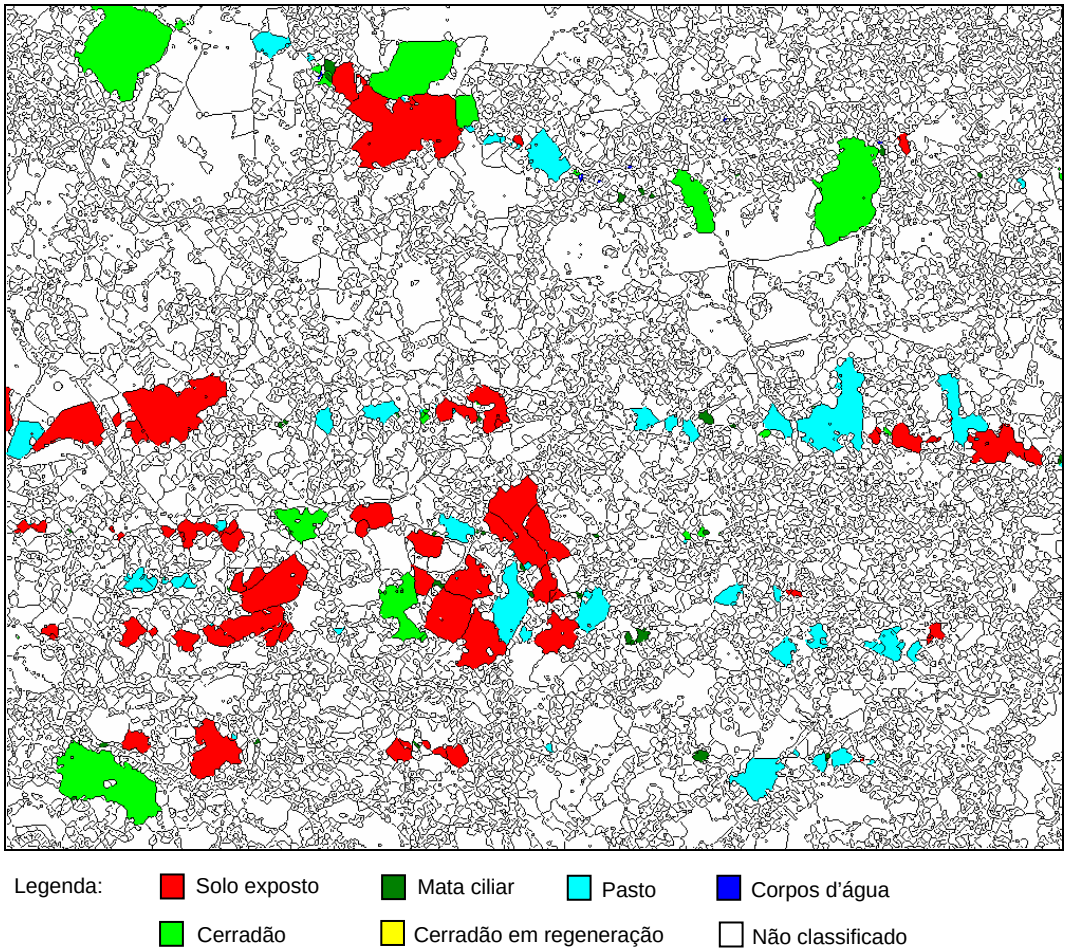

Figura 33 – Resultado da classificação espectral da área 2 em 2000 empregando conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

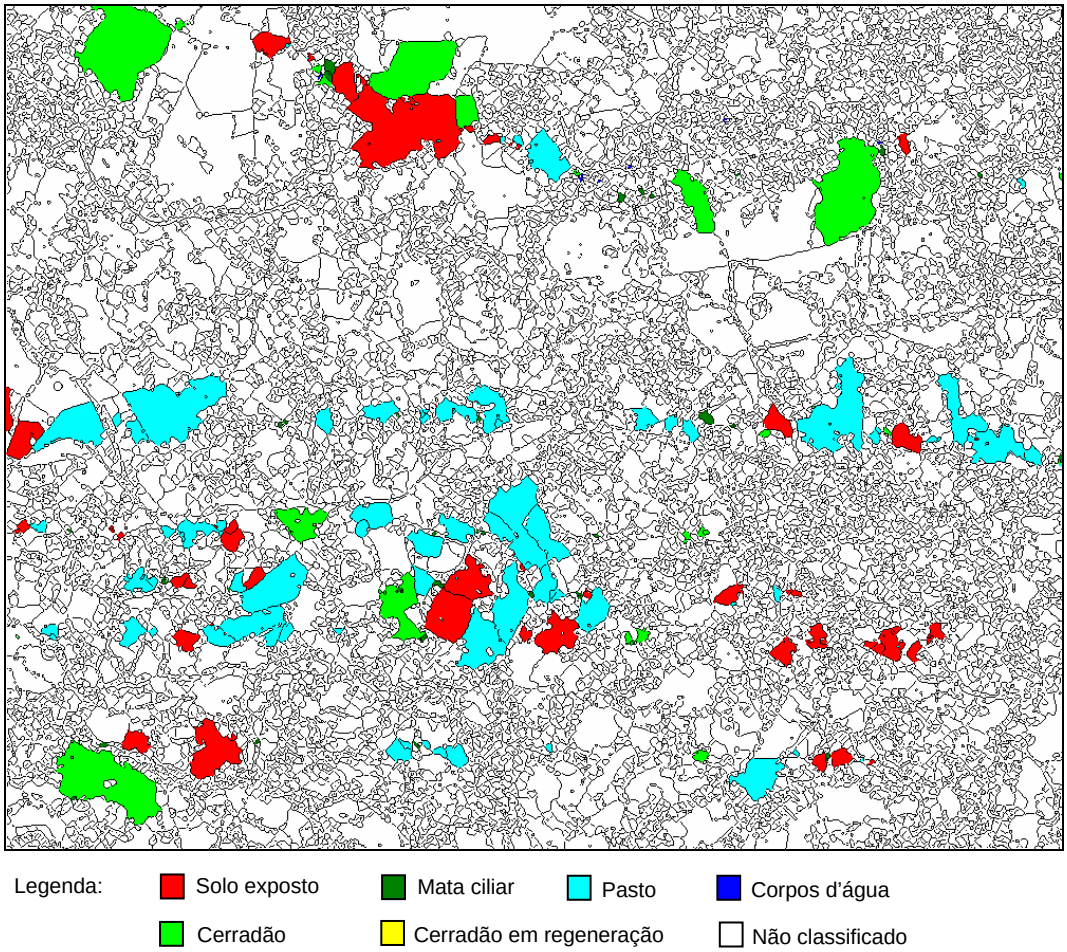

Figura 34 – Resultado da classificação espectral da área 2 em 2001 empregando conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

A tabela 19 e a tabela 20 apresentam a comparação dos resultados deste experimento – classificação espectral empregando o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática – para 2000 (intervalo 1999-2000) e 2001 (intervalo 2000-2001) com os resultados de referência.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Dados de Referência							
Classificação	**ω_1**	**ω_2**	**ω_3**	**ω_4**	**ω_5**	**ω_6**	**Total da linha**
ω_1	61	0	250	0	0	0	*311*
ω_2	0	46	11	0	48	1	*106*
ω_3	*22*	2	243	0	2	0	*269*
ω_4	1	1	2	28	5	0	*37*
ω_5	0	13	3	0	76	4	*96*
ω_6	0	0	1	0	1	1	*3*
Total da Coluna	*84*	*62*	*510*	*28*	*132*	*6*	***822***

Taxa de reconhecimento 55,3%

	Erro de omissão	**Erro de comissão**
ω_1 - Solo exposto	27.3%	80.3%
ω_2 - Mata ciliar	25.8%	56.6%
ω_3 – Pasto	52.3%	9.6%
ω_4 - Corpos d'água	0 %	24.3%
ω_5 - Cerradão	42.4%	20.8%
ω_6 - Cerradão em reg.	83.3%	66.6%

Tabela 19 – Avaliação da classificação espectral da imagem de 2000 (matriz de confusão, taxa de reconhecimento erros de omissão e comissão) utilizando a seleção automática do conjunto de treinamento intervalo 1999-2000.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Dados de Referência							
Classificação	**ω_1**	**ω_2**	**ω_3**	**ω_4**	**ω_5**	**ω_6**	**Total da linha**
ω_1	30	0	230	0	0	0	*260*
ω_2	1	47	12	0	24	0	*84*
ω_3	29	1	292	0	4	0	*326*
ω_4	1	0	0	28	1	0	*30*
ω_5	0	9	4	0	100	3	*116*
ω_6	0	0	0	0	3	3	*6*
Total da Coluna	*61*	*57*	*538*	*28*	*132*	*6*	***822***

Taxa de reconhecimento 60,8 %

	Erro de omissão	**Erro de comissão**
ω_1 - Solo exposto	50,8 %	88,4 %
ω_2 - Mata ciliar	17,5 %	44 %
ω_3 – Pasto	45,7 %	10,4 %
ω_4 - Corpos d'água	0 %	6,6 %
ω_5 – Cerradão	24,2 %	13,7 %
ω_6 – Cerradão em reg.	50 %	50 %

Tabela 20 – Avaliação da classificação espectral da imagem de 2001 (matriz de confusão, taxa de reconhecimento erros de omissão e comissão) utilizando a seleção automática do conjunto de treinamento intervalo 2000-2001.

Considerando os resultados da classificação espectral com conjunto de treinamento selecionado de forma manual, tabela 17 e tabela 18, e de forma automática, tabela 19 e tabela 20, pode ser observado que o resultado com seleção manual do conjunto de treinamento obteve desempenho superior. A fim de facilitar a análise dos resultados deste experimento, a figura 35, para as imagens de 2000, e a figura 36, para as imagens de 2001, apresentam a taxa de reconhecimento global com seleção manual e automática do conjunto de treinamento.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

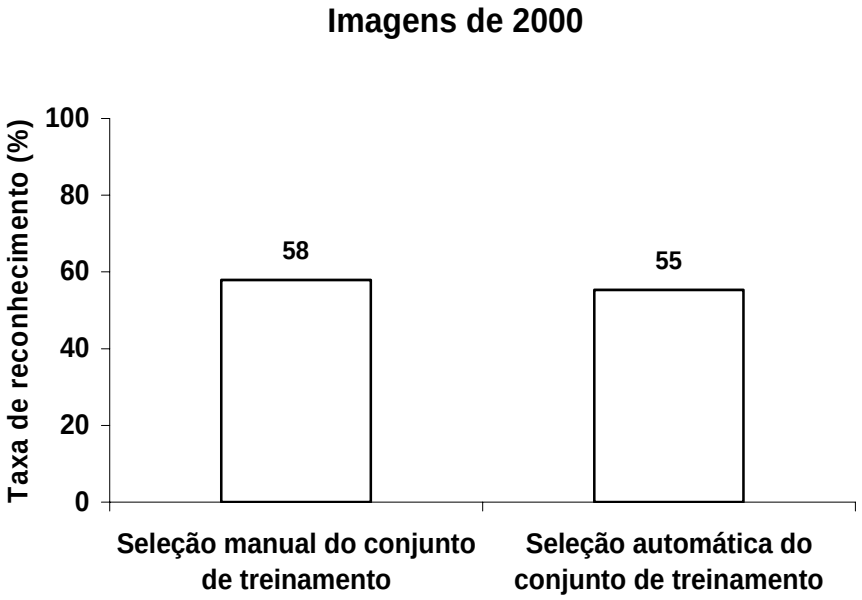

Figura 35 – Taxa de reconhecimento global produzida pela classificação espectral com seleção manual e automática do conjunto de treinamento para as imagens das áreas 1 e 2 em 2000.

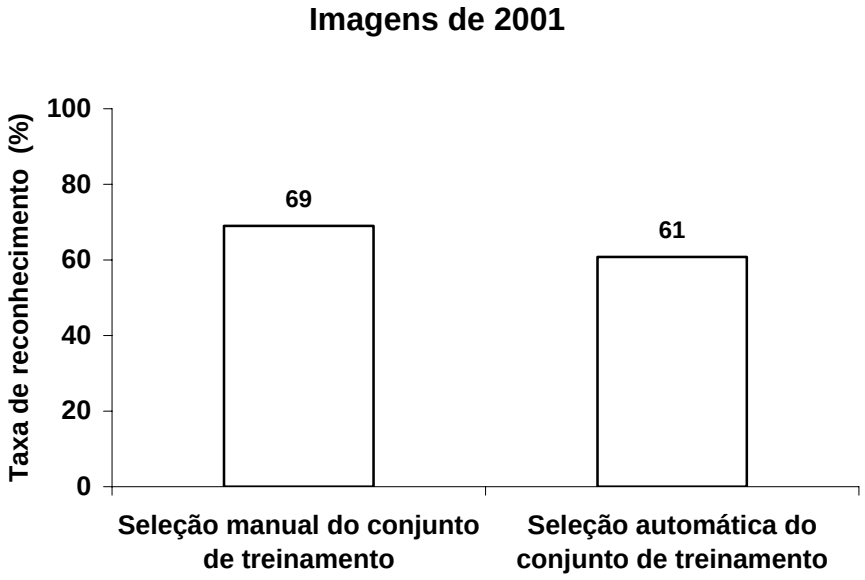

Figura 36 – Taxa de reconhecimento global produzida pela classificação espectral com seleção manual e automática do conjunto de treinamento para as imagens das áreas 1 e 2 em 2001.

Conforme pode ser observado na figura 35 e na figura 36, a taxa de reconhecimento da classificação espectral com o conjunto de treinamento selecionado de forma manual foi de 58 % para a imagem de 2000 e 69 % para a

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

imagem de 2001, enquanto empregando o método automático de seleção estes valores foram respectivamente 55,3 % e 60,8 %. As figura 37 para as imagens de 2000 e figura 38 para as imagens de 2001 apresentam as taxas de reconhecimento classe a classe obtidas neste experimento.

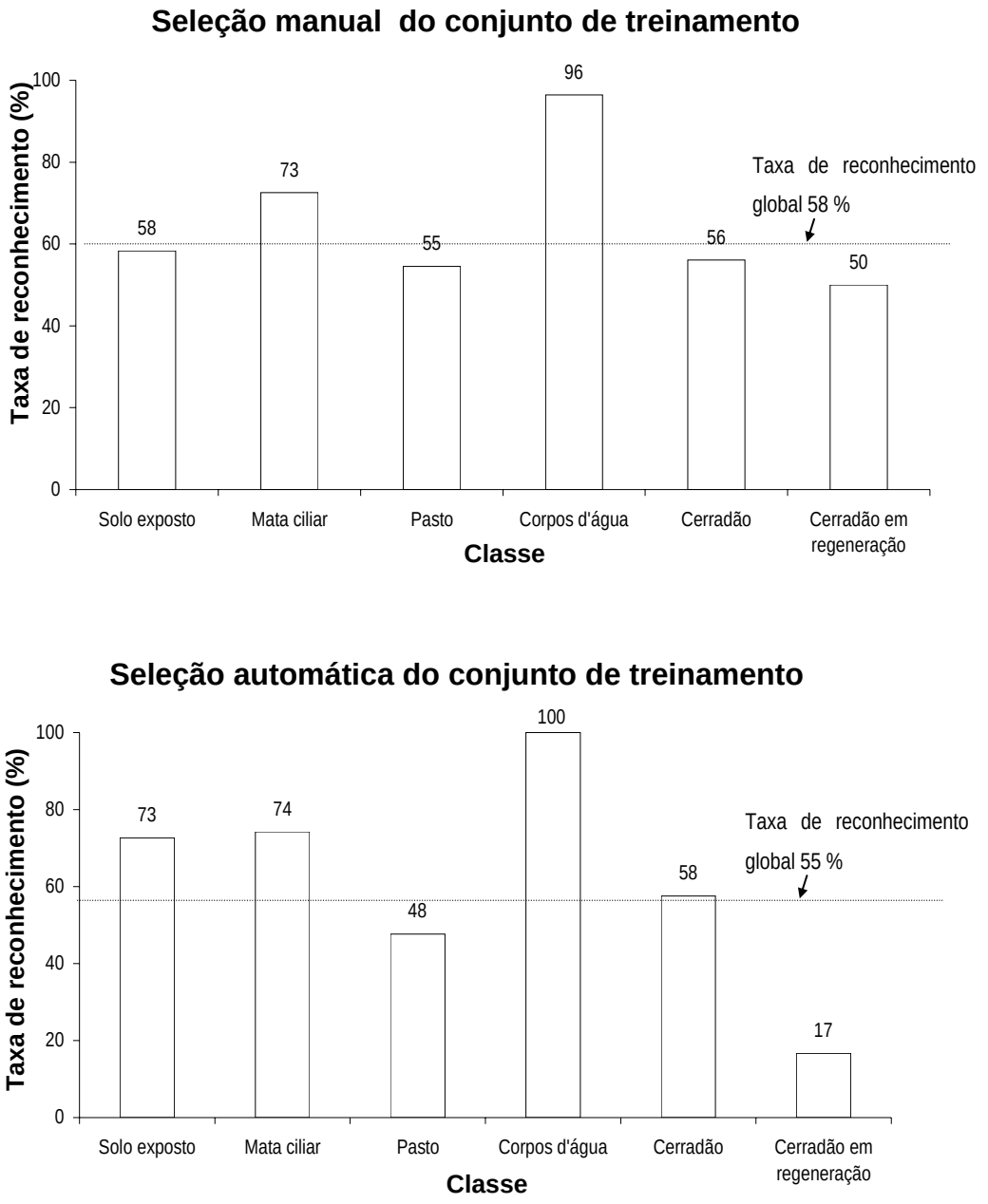

Figura 37 – Taxa de reconhecimento classe a classe produzida pela classificação espectral com seleção manual e automática do conjunto de treinamento para as imagens das áreas 1 e 2 em 2000.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

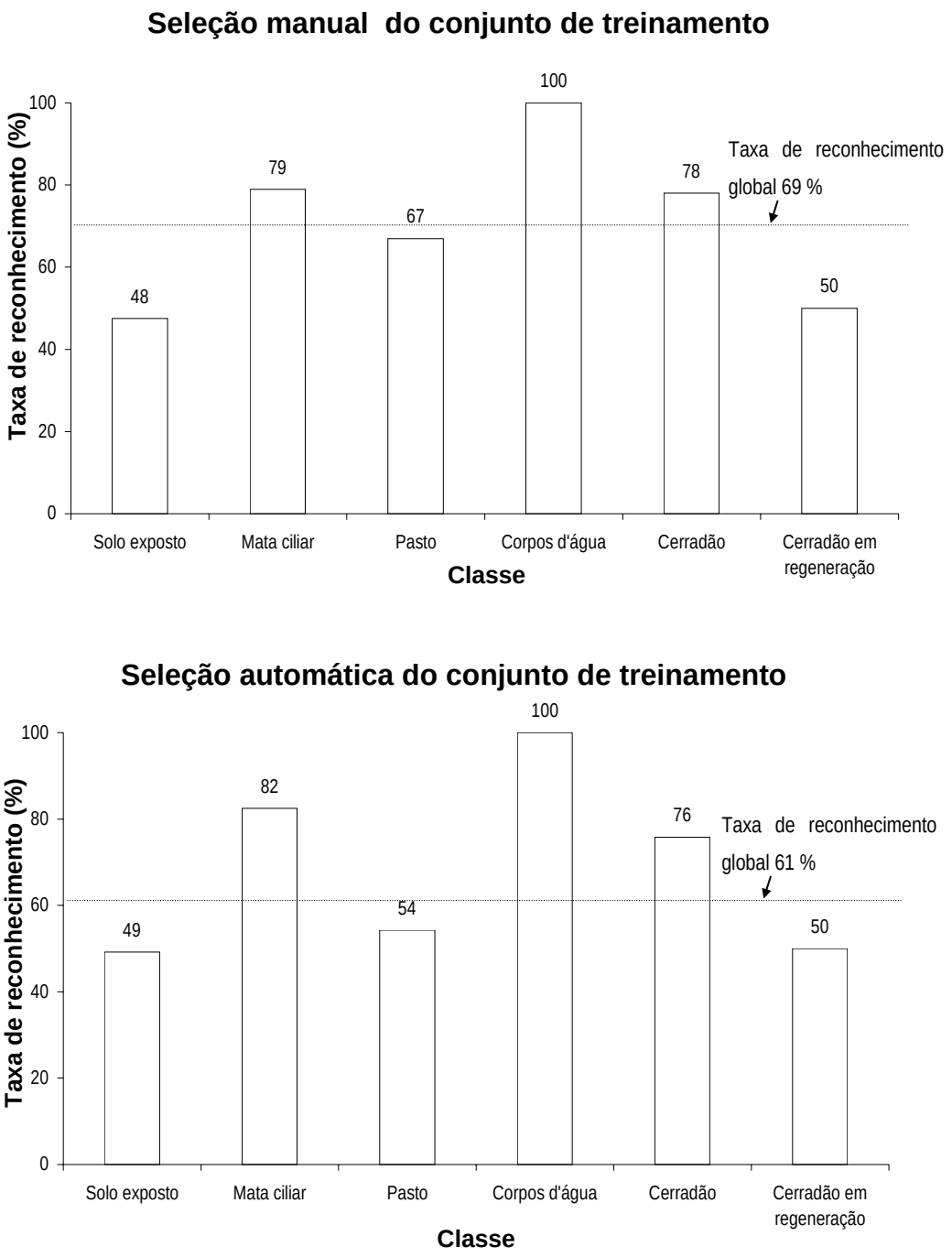

Figura 38 – Taxa de reconhecimento classe a classe produzida pela classificação espectral com seleção manual e automática do conjunto de treinamento para as imagens das áreas 1 e 2 em 2001.

Analisando os resultados deste experimento classe a classe, pode ser observado que a classe corpos d'água foi única classe que a classificação espectral foi capaz de reconhecer adequadamente, tendo sido atingidas taxas de reconhecimento superiores a 96 %. Para todas as outras classes, a classificação

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

espectral apresentou um desempenho fraco. A razão para este fato pode ser atribuída ao padrão espectral da classe corpos d'água que, além de bem definido, é bastante particular (vide figura 2). Nos próximos experimentos, deseja-se, através da inclusão de diferentes modalidades de conhecimento específico, melhorar a taxa de classificação das demais classes.

Além disso, existe a expectativa de que a diferença entre as taxas de reconhecimento obtidas a partir da seleção manual e automática do conjunto de treinamento diminua a medida que as outras modalidades de conhecimento forem incorporadas ao processo de classificação, como será realizado nos próximos experimentos.

6.4.3. Classificação empregando conhecimentos espectral e contextual

Os experimentos apresentados nesta seção empregam conhecimento espectral e contextual tal qual descrito na seção 6.3. O objetivo desta seção é verificar o desempenho do método proposto, caso sejam empregadas somente estas formas de conhecimento, tanto para o método automático quanto manual para seleção de conjunto de treinamento.

As figuras 39 a 42 apresentam o resultado da classificação empregando conhecimentos espectral e contextual das áreas 1 e 2 em 2000 e 2001 utilizando o conjunto de treinamento selecionado manualmente.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

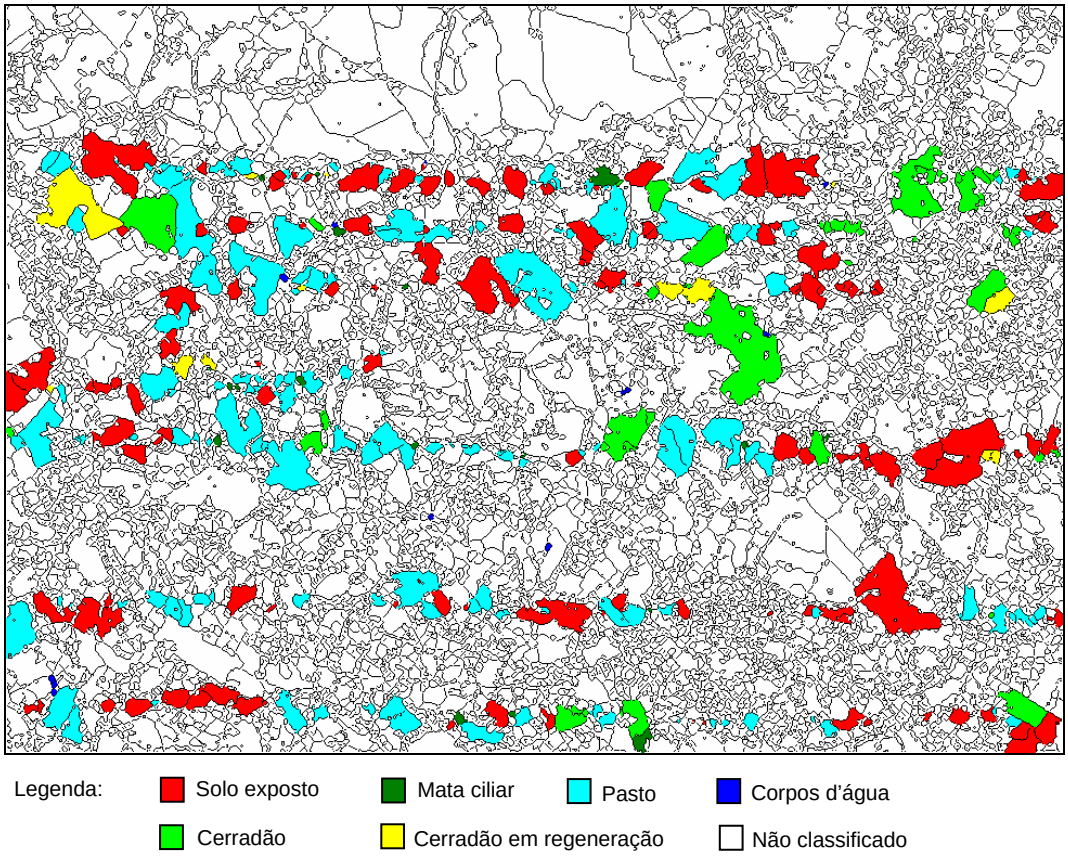

Figura 39 – Resultado da classificação da área 1 em 2000 empregando conhecimento espectral e contextual e o conjunto de treinamento selecionado de forma manual.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

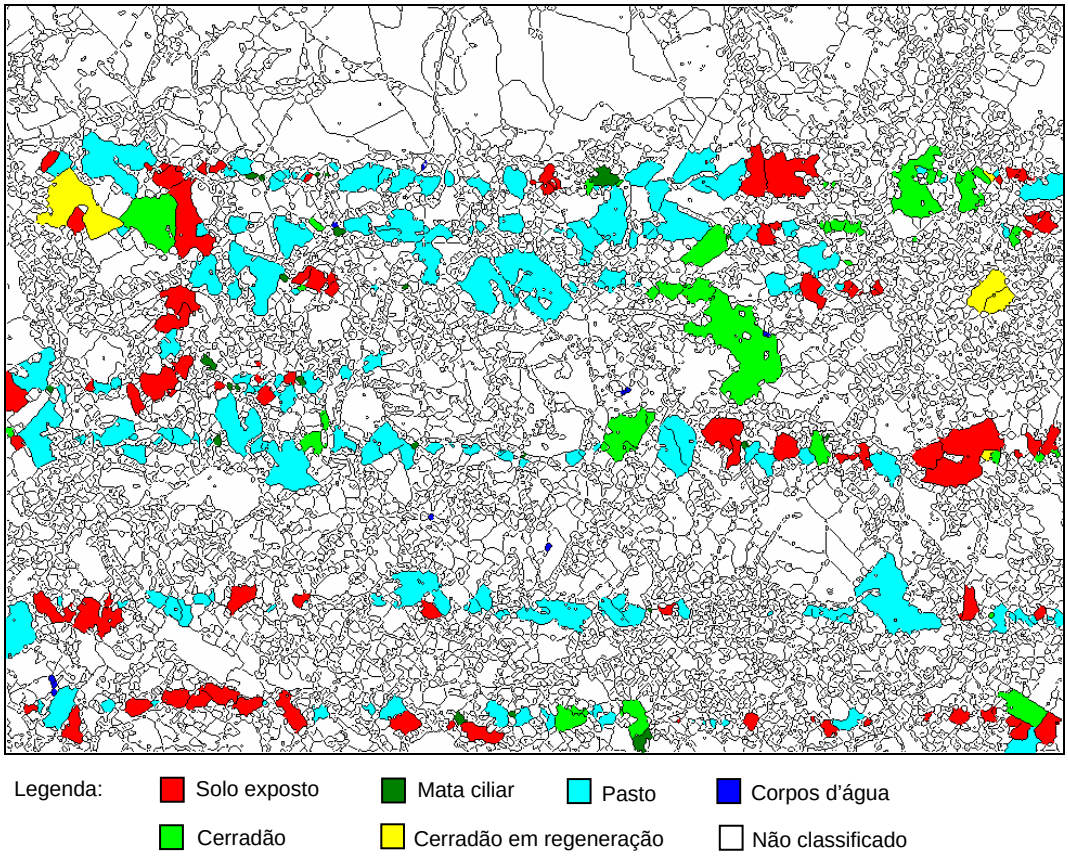

Figura 40 – Resultado da classificação da área 1 em 2001 empregando conhecimento espectral e contextual e o conjunto de treinamento selecionado de forma manual.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

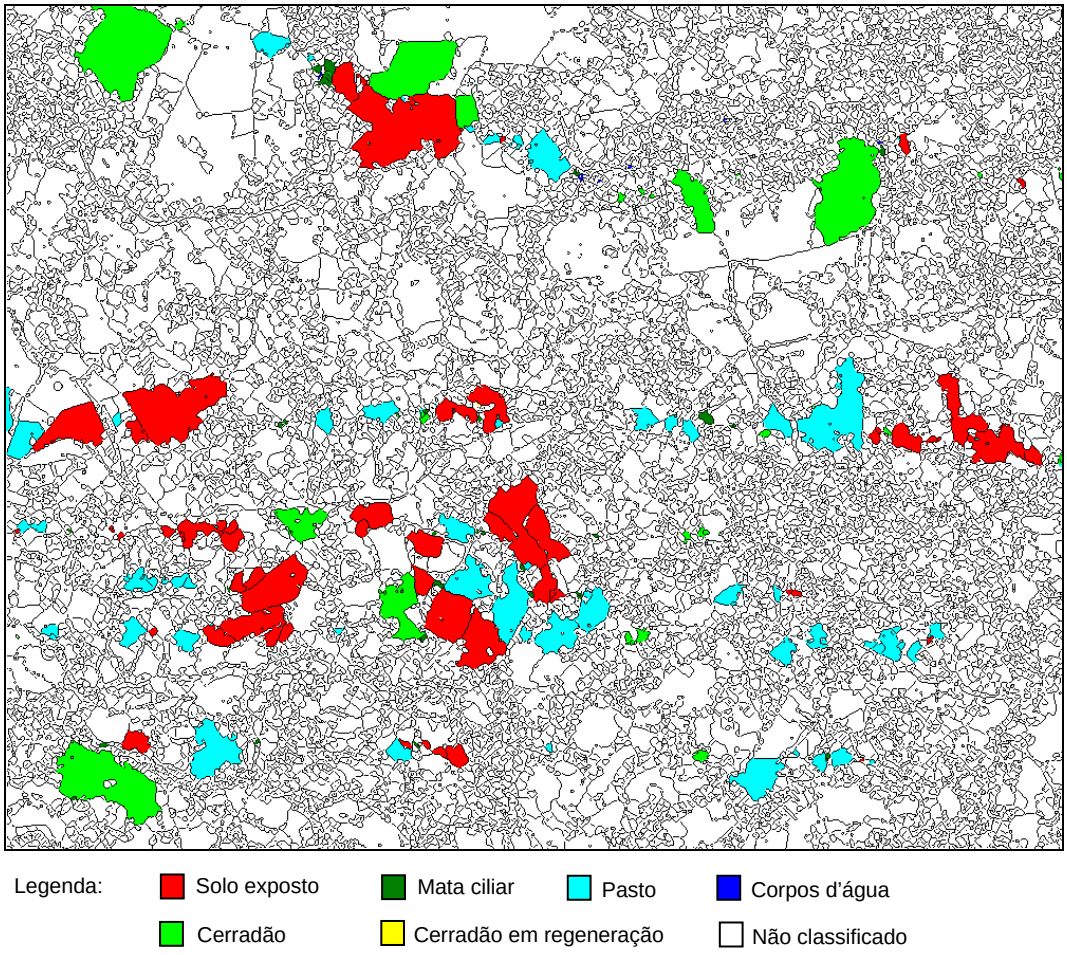

Figura 41 – Resultado da classificação da área 2 em 2000 empregando conhecimento espectral e contextual e o conjunto de treinamento selecionado de forma manual.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

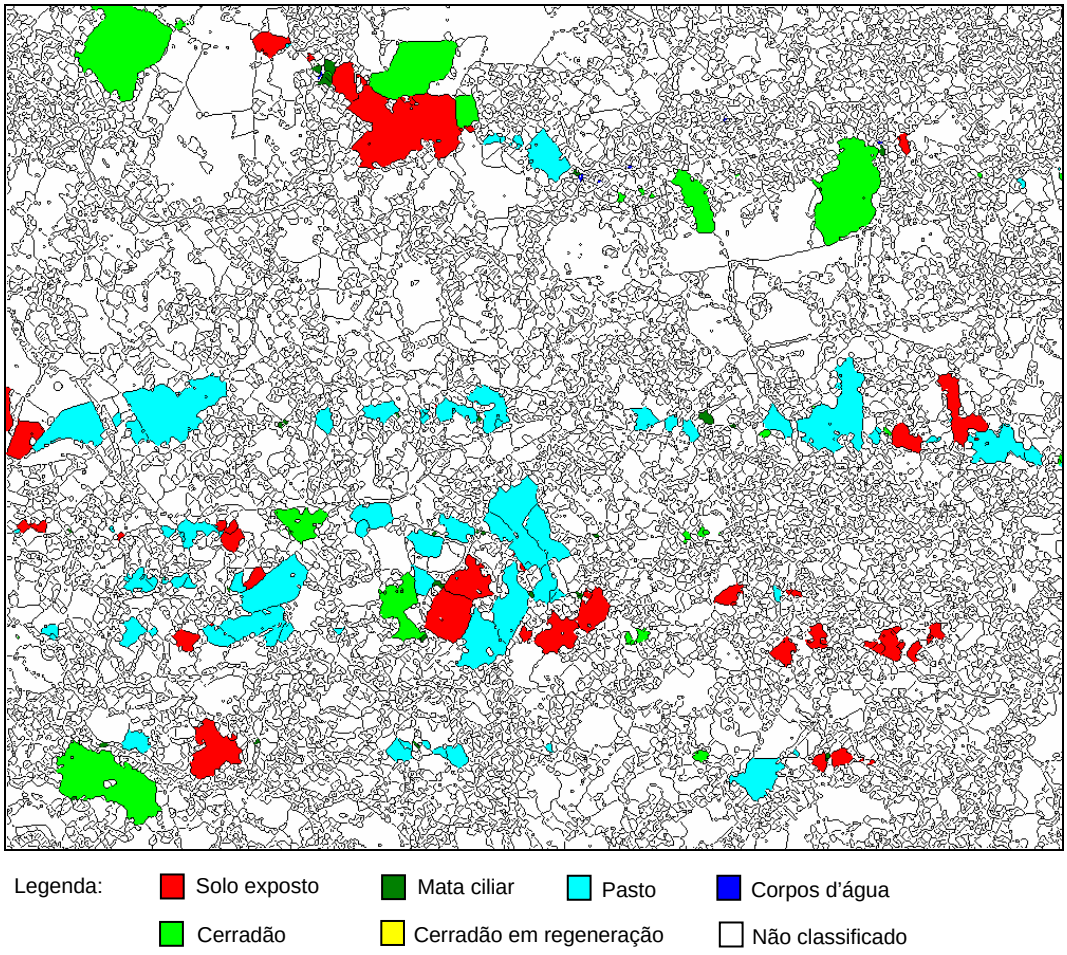

Figura 42 – Resultado da classificação da área 2 em 2001 empregando conhecimento espectral e contextual e o conjunto de treinamento selecionado de forma manual.

A tabela 21 e a tabela 22 apresentam respectivamente a comparação dos resultados deste experimento para 2000 (intervalo 1999-2000) e 2001 (intervalo 2000-2001) com os dados de referência para conjunto de treinamento manual.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Dados de Referência							
Classificação	**ω_1**	**ω_2**	**ω_3**	**ω_4**	**ω_5**	**ω_6**	**Total da linha**
ω_1	49	0	219	1	0	0	*269*
ω_2	0	50	6	0	9	0	*65*
ω_3	34	2	278	0	2	0	*316*
ω_4	0	1	0	27	3	0	*31*
ω_5	1	5	4	0	110	3	*123*
ω_6	0	4	3	0	8	3	*18*
Total da Coluna	*84*	*62*	*510*	*28*	*132*	*6*	***822***

Taxa de reconhecimento 62,9 %

	Erro de omissão	**Erro de comissão**
ω_1 - Solo exposto	41,6 %	81,7%
ω_2 - Mata ciliar	19,3 %	23 %
ω_3 - Pasto	45,4 %	12 %
ω_4 - Corpos d'água	3,5 %	12,9 %
ω_5 - Cerradão	16,6 %	10,5 %
ω_6 - Cerradão em reg.	50 %	83 %

Tabela 21 – Avaliação da classificação empregando conhecimento espectral e contextual da imagem de 2000 (matriz de confusão, taxa de reconhecimento erros de omissão e comissão) utilizando a seleção manual do conjunto de treinamento intervalo 1999-2000.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Dados de Referência							
Classificação	**ω_1**	**ω_2**	**ω_3**	**ω_4**	**ω_5**	**ω_6**	**Total da linha**
ω_1	29	0	170	0	0	0	*199*
ω_2	0	53	4	0	10	0	*67*
ω_3	31	1	360	0	7	0	*399*
ω_4	0	0	0	28	1	0	*29*
ω_5	1	3	4	0	110	2	*120*
ω_6	0	0	0	0	4	4	*8*
Total da Coluna	*61*	*57*	*538*	*28*	*132*	*6*	***822***

Taxa de reconhecimento 71 %

	Erro de omissão	**Erro de comissão**
ω_1 - Solo exposto	52,4 %	85,4 %
ω_2 - Mata ciliar	7 %	20,8 %
ω_3 - Pasto	33 %	9,7 %
ω_4 - Corpos d'água	0 %	3,4 %
ω_5 - Cerradão	16,6 %	8,3 %
ω_6 - Cerradão em reg.	33,3 %	50 %

Tabela 22 – Avaliação da classificação empregando conhecimento espectral e contextual da imagem de 2001 (matriz de confusão, taxa de reconhecimento erros de omissão e comissão) utilizando a seleção manual do conjunto de treinamento intervalo 2000-2001.

As figuras 43 a 46 apresentam o resultado da classificação empregando conhecimentos espectral e contextual das áreas 1 e 2 em 2000 e 2001 utilizando o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

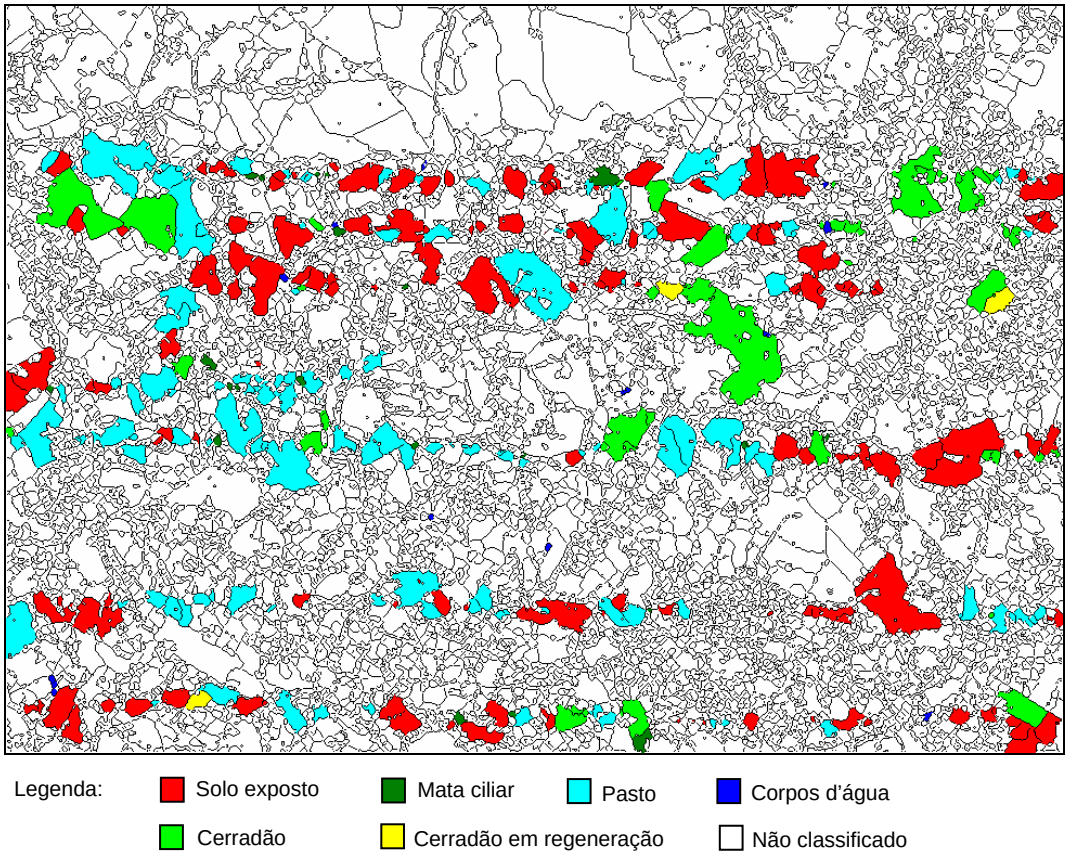

Figura 43 – Resultado da classificação da área 1 em 2000 empregando conhecimento espectral e contextual e o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

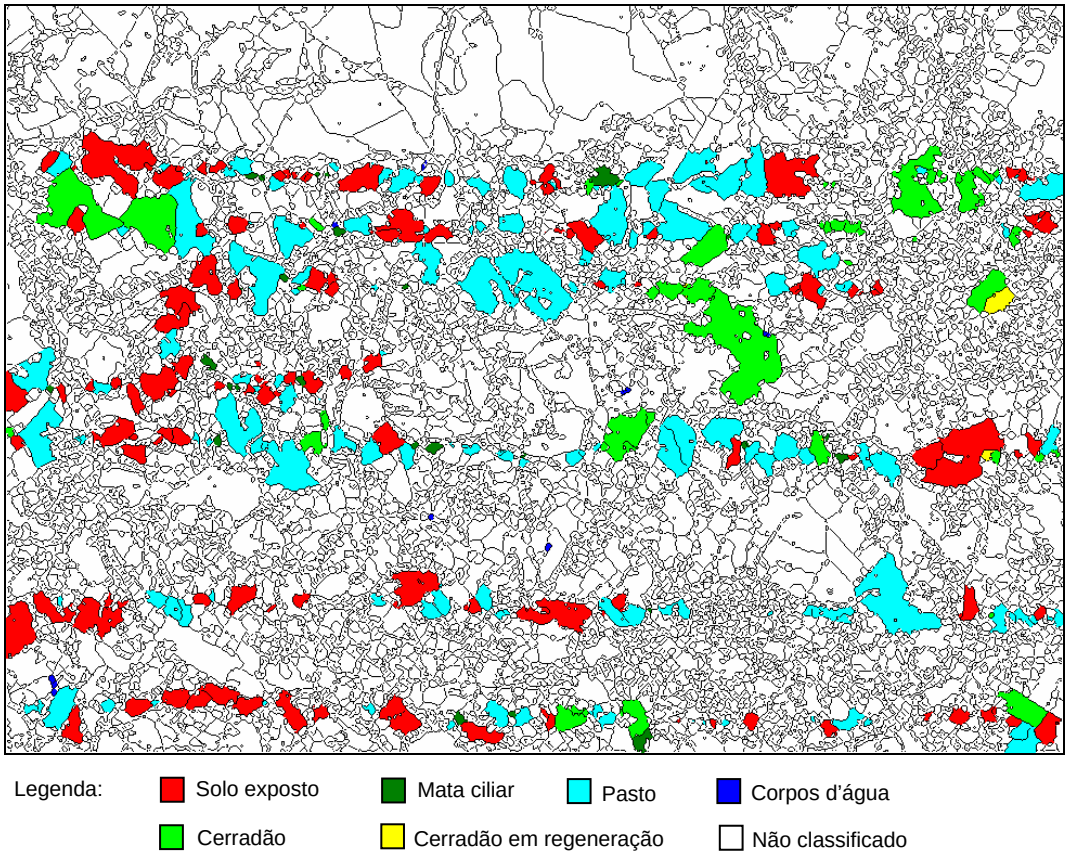

Figura 44 – Resultado da classificação da área 1 em 2001 empregando conhecimento espectral e contextual e o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

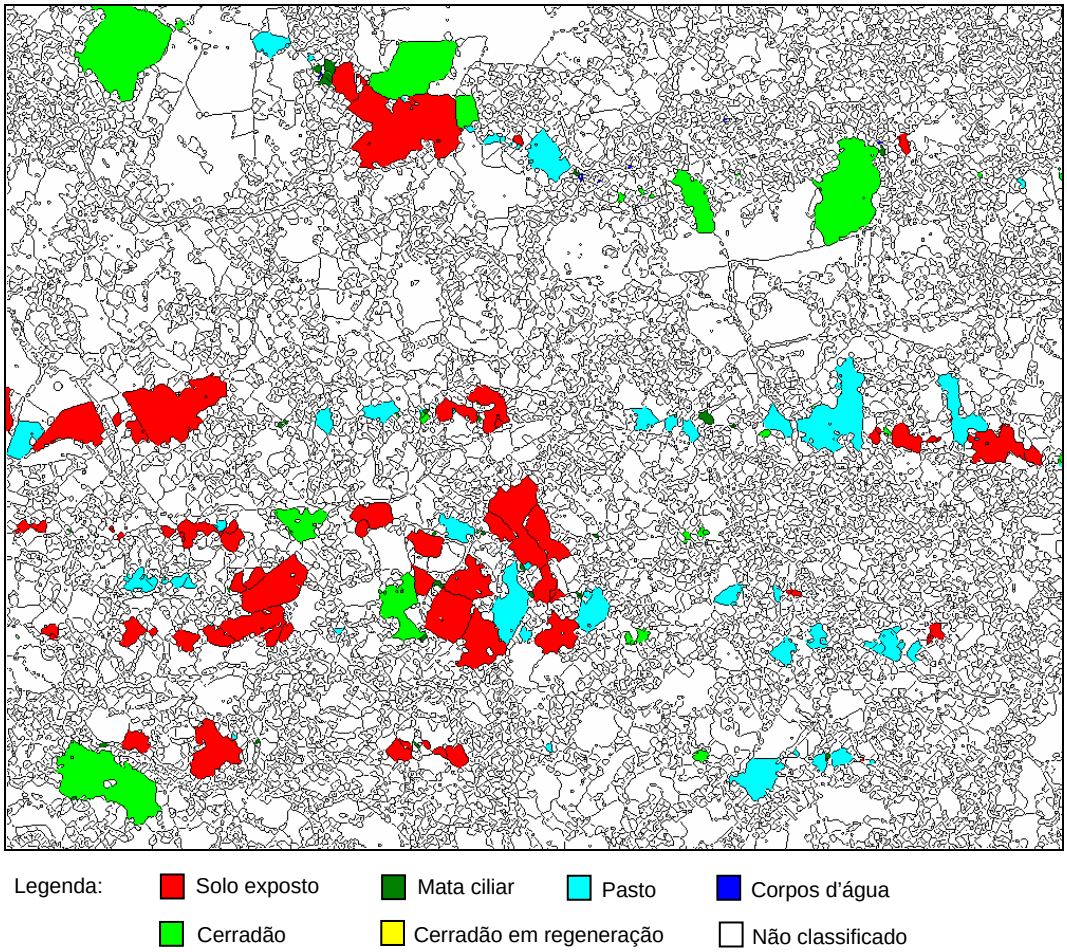

Figura 45 – Resultado da classificação da área 2 em 2000 empregando conhecimento espectral e contextual e o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

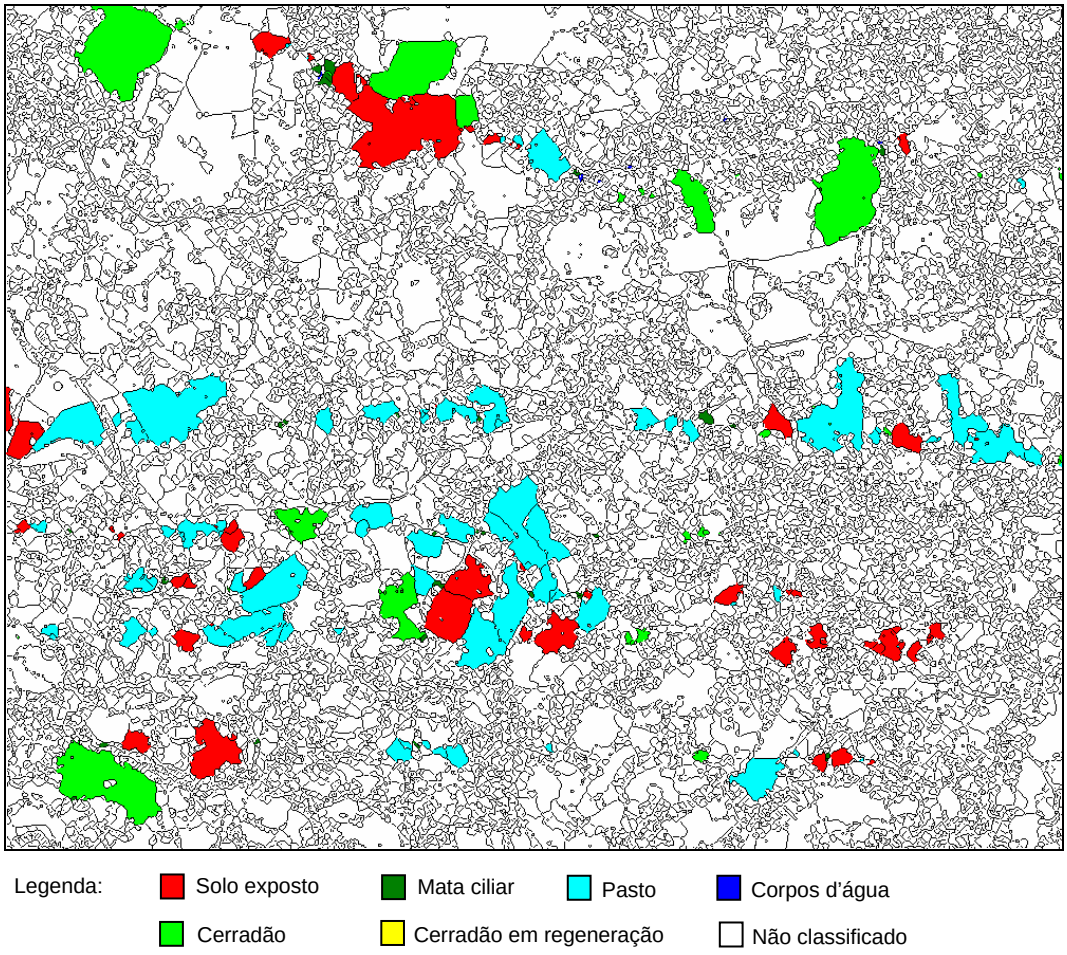

Figura 46 – Resultado da classificação da área 2 em 2001 empregando conhecimento espectral e contextual e o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

A tabela 23 e a tabela 24 apresentam respectivamente a comparação dos resultados deste experimento para 2000 (intervalo 1999-2000) e 2001 (intervalo 2000-2001) com os dados de referência para conjunto produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Dados de Referência							
Classificação	**ω_1**	**ω_2**	**ω_3**	**ω_4**	**ω_5**	**ω_6**	**Total da linha**
ω_1	61	0	251	0	0	0	*312*
ω_2	0	54	7	0	9	0	*70*
ω_3	22	2	243	0	2	0	*269*
ω_4	0	1	2	28	4	0	*35*
ω_5	1	5	6	0	116	5	*133*
ω_6	0	0	1	0	1	1	*3*
Total da Coluna	*84*	*62*	*510*	*28*	*132*	*6*	***822***

Taxa de reconhecimento 61,1%

	Erro de omissão	**Erro de comissão**
ω_1 - Solo exposto	27,3 %	80,4 %
ω_2 - Mata ciliar	12,9 %	22,8 %
ω_3 - Pasto	52,3 %	9,6 %
ω_4 - Corpos d'água	0 %	20 %
ω_5 - Cerradão	12,12 %	12,7 %
ω_6 - Cerradão em reg.	83,3 %	66,6 %

Tabela 23 – Avaliação da classificação empregando conhecimento espectral e contextual da imagem de 2000 (matriz de confusão, taxa de reconhecimento erros de omissão e comissão) utilizando a seleção automática do conjunto de treinamento intervalo 1999-2000.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Dados de Referência							
Classificação	**ω_1**	**ω_2**	**ω_3**	**ω_4**	**ω_5**	**ω_6**	**Total da linha**
ω_1	30	0	229	0	0	0	259
ω_2	0	53	8	0	9	0	70
ω_3	30	1	296	0	4	0	331
ω_4	0	0	0	28	0	0	28
ω_5	1	3	5	0	115	3	127
ω_6	0	0	0	0	4	3	7
Total da Coluna	61	57	538	28	132	6	822

Taxa de reconhecimento 63,8 %

	Erro de omissão	**Erro de comissão**
ω_1 - Solo exposto	50,8 %	88,4 %
ω_2 - Mata ciliar	7 %	24,2 %
ω_3 - Pasto	44,9 %	10,5 %
ω_4 - Corpos d'água	0 %	0 %
ω_5 - Cerradão	12,8 %	9,4 %
ω_6 - Cerradão em reg.	50 %	57,1 %

Tabela 24 – Avaliação da classificação empregando conhecimento espectral e contextual da imagem de 2001 (matriz de confusão, taxa de reconhecimento erros de omissão e comissão) utilizando a seleção automática do conjunto de treinamento intervalo 2000-2001.

A figura 47 e a figura 48 apresentam as taxas de reconhecimento produzidas pela classificação espectral e classificação empregando conhecimentos espectral e contextual para os conjuntos de treinamento selecionados pelo processo manual e automático, para as imagens de 2000 e 2001 respectivamente.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

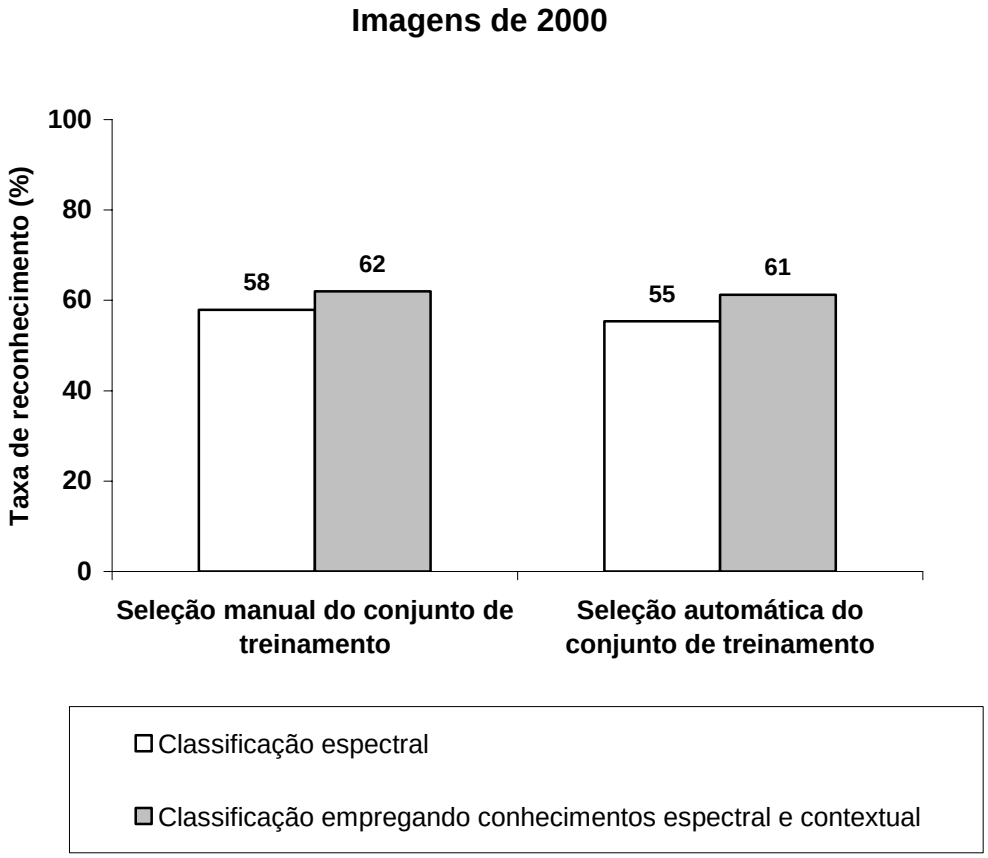

Figura 47 – Taxa de reconhecimento global produzida pela classificação espectral e pela classificação empregando conhecimentos espectral e contextual com seleção manual e automática do conjunto de treinamento para as imagens das áreas 1 e 2 em 2000.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

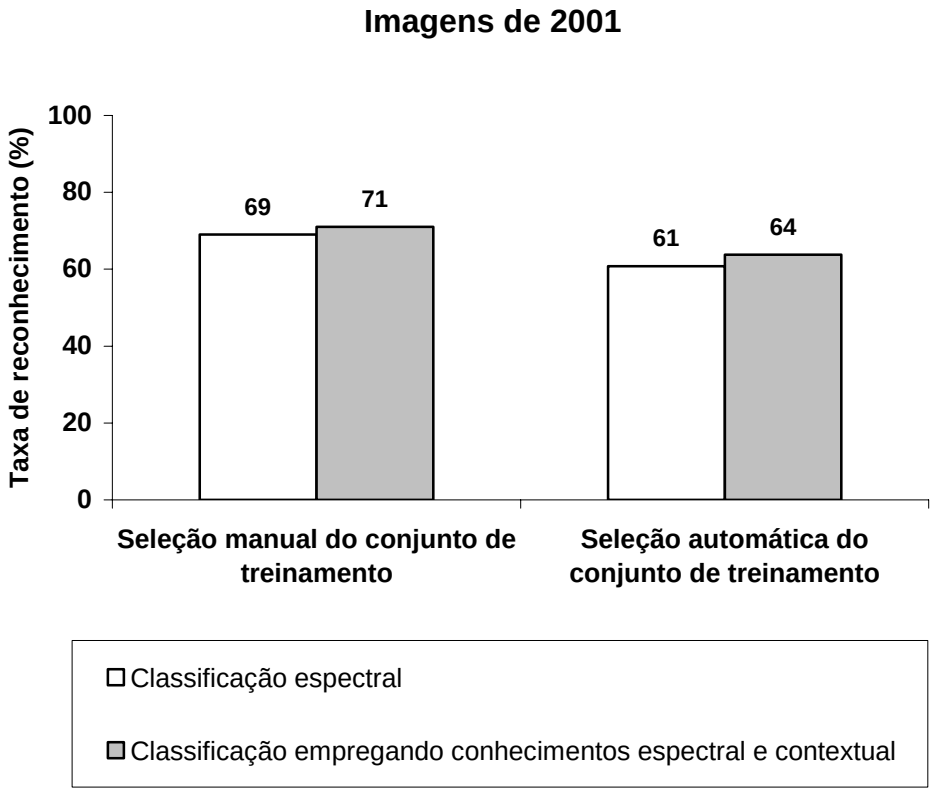

Figura 48 – Taxa de reconhecimento global produzida pela classificação espectral e pela classificação empregando conhecimentos espectral e contextual com seleção manual e automática do conjunto de treinamento para as imagens das áreas 1 e 2 em 2001.

Enquanto as taxas de reconhecimento da classificação espectral com conjunto de treinamento selecionado de forma manual foi de 58 % para a imagem de 2000 e 69 % para a imagem de 2001, o método automático de seleção produziu respectivamente 55 % e 61 %.

Por outro lado, as taxas de reconhecimento produzidas ao se combinarem os conhecimentos espectral e contextual com seleção manual do conjunto de treinamento foram 62 % para a imagem de 2000 e 71 % para a imagem de 2001. Empregando o método automático de seleção estes valores foram respectivamente 61 % e 64 %.

Portanto, tanto com seleção manual quanto automática do conjunto de treinamento, os resultados empregando os conhecimentos espectral e contextual foram superiores aos produzidos pela classificação espectral. A figura 49, para as imagens de 2000, e a figura 50, para as imagens de 2001, apresentam as taxas de reconhecimento classe a classe produzidas pela classificação espectral e pela

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

classificação empregando conhecimentos espectral e contextual com seleção manual e automática do conjunto de treinamento.

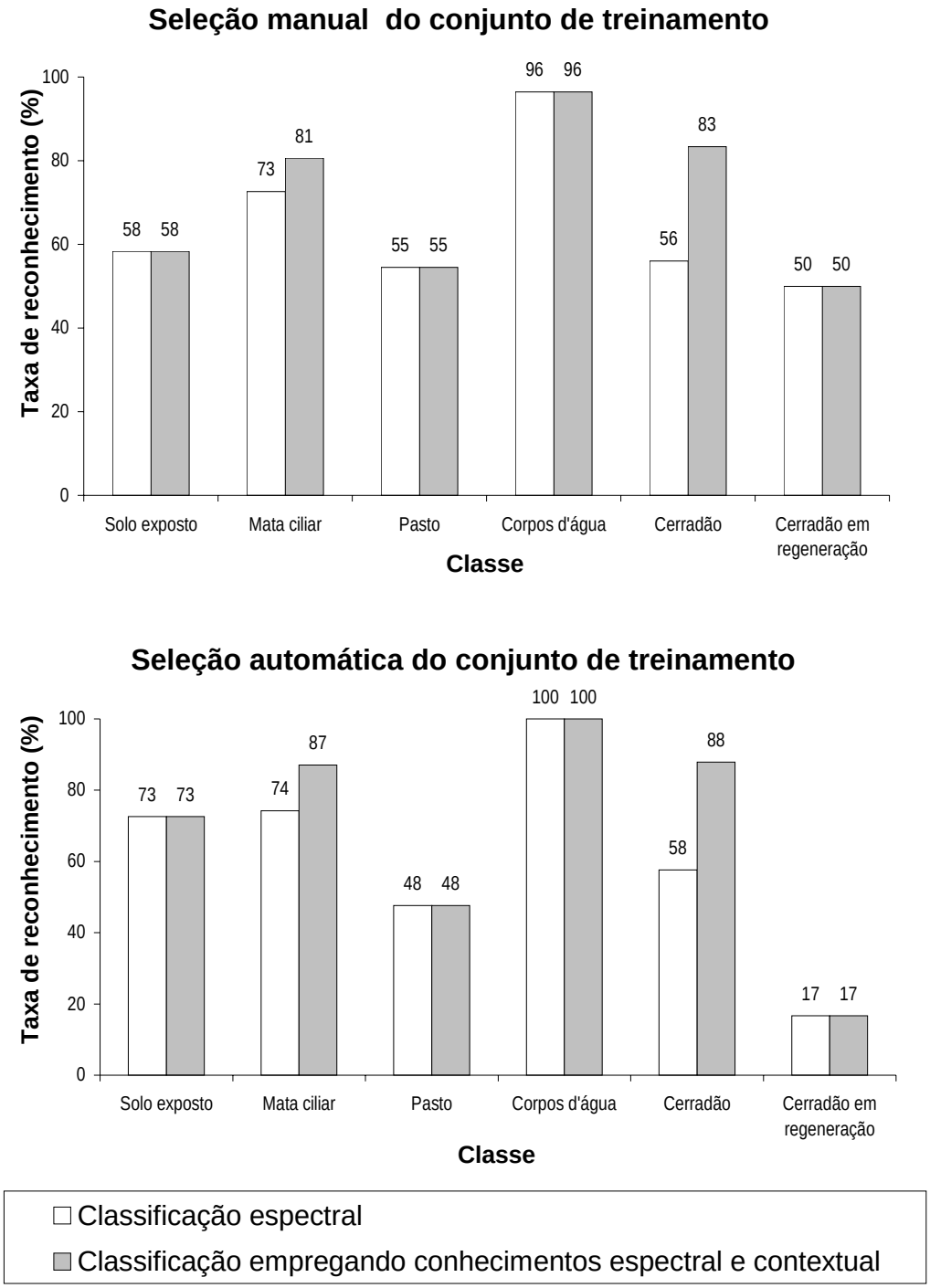

Figura 49 – Taxas de reconhecimento classe a classe produzidas pela classificação espectral e pela classificação empregando conhecimentos espectral e contextual com seleção manual e automática do conjunto de treinamento para as imagens das áreas 1 e 2 em 2000.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

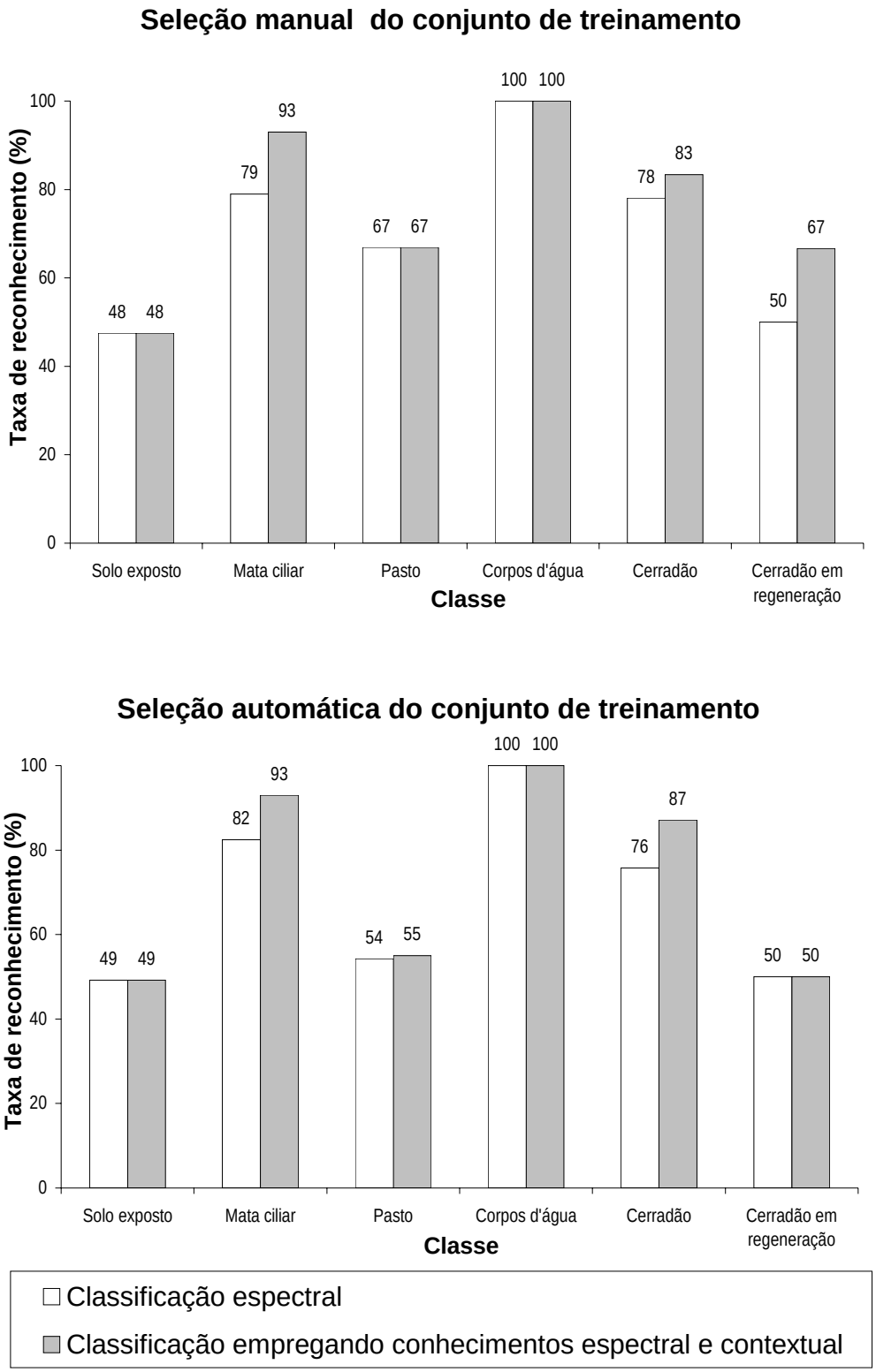

Figura 50 - Taxas de reconhecimento classe a classe produzidas pela classificação espectral e pela classificação empregando conhecimentos espectral e contextual com seleção manual e automática do conjunto de treinamento para as imagens das áreas 1 e 2 em 2001.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Conforme pode ser observado na figura 49 e na figura 50, a melhoria da taxa de reconhecimento global foi ocasionada pelo aumento significativo da taxa de reconhecimento das classes mata ciliar e cerradão com o uso dos conhecimentos espectral e contextual. De fato, há grande similaridade entre as assinaturas espectrais destas classes, entretanto a utilização do conhecimento contextual melhora significativamente sua discriminação.

Os valores de número de segmentos classificados correta ou erroneamente, apresentados na análise a seguir, foram extraídos das matrizes de confusão, vide tabelas 17 a 24. Ao considerar as regras apresentadas na seção 6.3.6 pode ser observado que, desprezando o antecedente 3, pode-se atribuir esta melhoria a 3 regras: $\mathbf{R_2}$, $\mathbf{R_3}$ e $\mathbf{R_5}$. Particularmente, $\mathbf{R_2}$ atuou reduzindo o número de segmentos da classe mata ciliar classificadas erroneamente como cerradão. No caso da seleção manual do conjunto de treinamento, tal diminuição foi de 10 para 5 para a imagem de 2000 e de 11 para 3 para a imagem de 2001. Com o conjunto de treinamento selecionado de forma automática, a diminuição foi de 13 para 5 para a imagem de 2000 e de 9 para 3 para a imagem de 2001.

$\mathbf{R_3}$ atuou reduzindo o número de regiões da classe cerradão classificadas erroneamente como mata ciliar. No caso da seleção manual do conjunto de treinamento, tal diminuição foi de 44 para 9 para a imagem de 2000 e de 20 para 10 para a imagem de 2001. Com o conjunto de treinamento selecionado de forma automática, a diminuição foi de 48 para 9 para a imagem de 2000 e de 24 para 9 para a imagem de 2001.

Nos casos onde $\mathbf{R_5}$ atuou, o número de regiões da classe cerradão classificadas erroneamente como corpos d’água foi reduzido ligeiramente. Com o uso da seleção manual do conjunto de treinamento, tal diminuição foi de 4 para 3 na imagem de 2000, porém, na imagem de 2001 o número de regiões da classe cerradão classificadas erroneamente como corpos d’água permaneceu igual a 1. Com o conjunto de treinamento selecionado de forma automática, a diminuição foi de 5 para 4 para a imagem de 2000 e de 1 para 0 para a imagem de 2001.

Os resultados destes experimentos indicam que a classificação empregando os conhecimentos espectral e contextual pode possibilitar taxa de reconhecimento superior a uma simples classificação espectral.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

6.4.4.
Classificação agregando o conhecimento multitemporal

Os experimentos relatados nesta seção avaliam a contribuição do conhecimento multitemporal, tanto binário quanto ponderado, no desempenho da classificação. A fim de alcançar este objetivo, para cada modalidade de conhecimento multitemporal, são apresentados e avaliados os experimentos que associam o classificador espectral e o conhecimento multitemporal, ou seja, não se explora o conhecimento contextual e os experimentos empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal simultaneamente.

6.4.4.1.
Classificação agregando conhecimento multitemporal binário

Os experimentos apresentados e avaliados nesta seção têm como objetivo verificar a contribuição individual do conhecimento multitemporal binário apresentado na tabela 11. Assim sendo, para os conjuntos de treinamento produzidos manualmente e automaticamente, são, primeiramente, apresentados os resultados produzidos pela classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal binário. Em seguida, são apresentados os resultados produzidos pela classificação empregando conhecimento espectral, contextual e multitemporal binário. No final desta seção, é avaliada a contribuição do conhecimento multitemporal binário.

As figuras 51 a 54 apresentam para as áreas 1 e 2 em 2000 e 2001 o resultado da classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal binário utilizando o conjunto de treinamento selecionado de forma manual.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

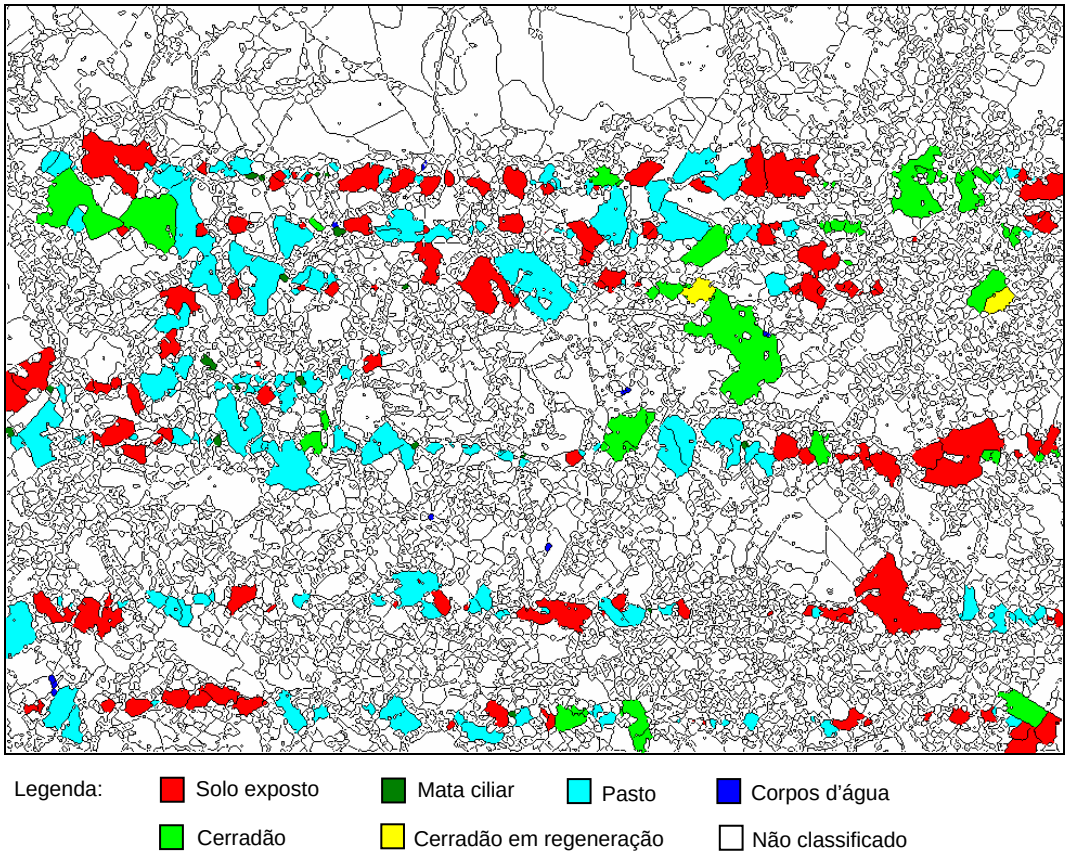

Figura 51 – Resultado para a área 1 em 2000 da classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal binário empregando o conjunto de treinamento selecionado de forma manual.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

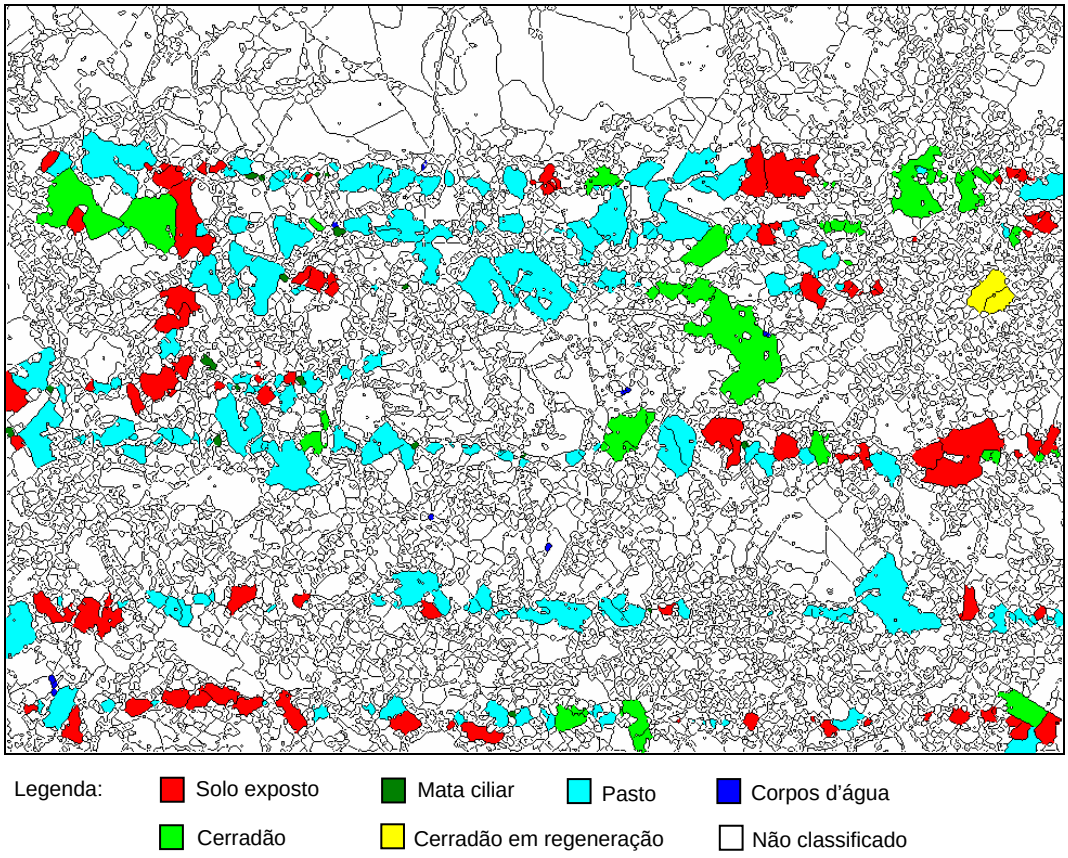

Figura 52 – Resultado para a área 1 em 2001 da classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal binário empregando o conjunto de treinamento produzido de forma manual.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

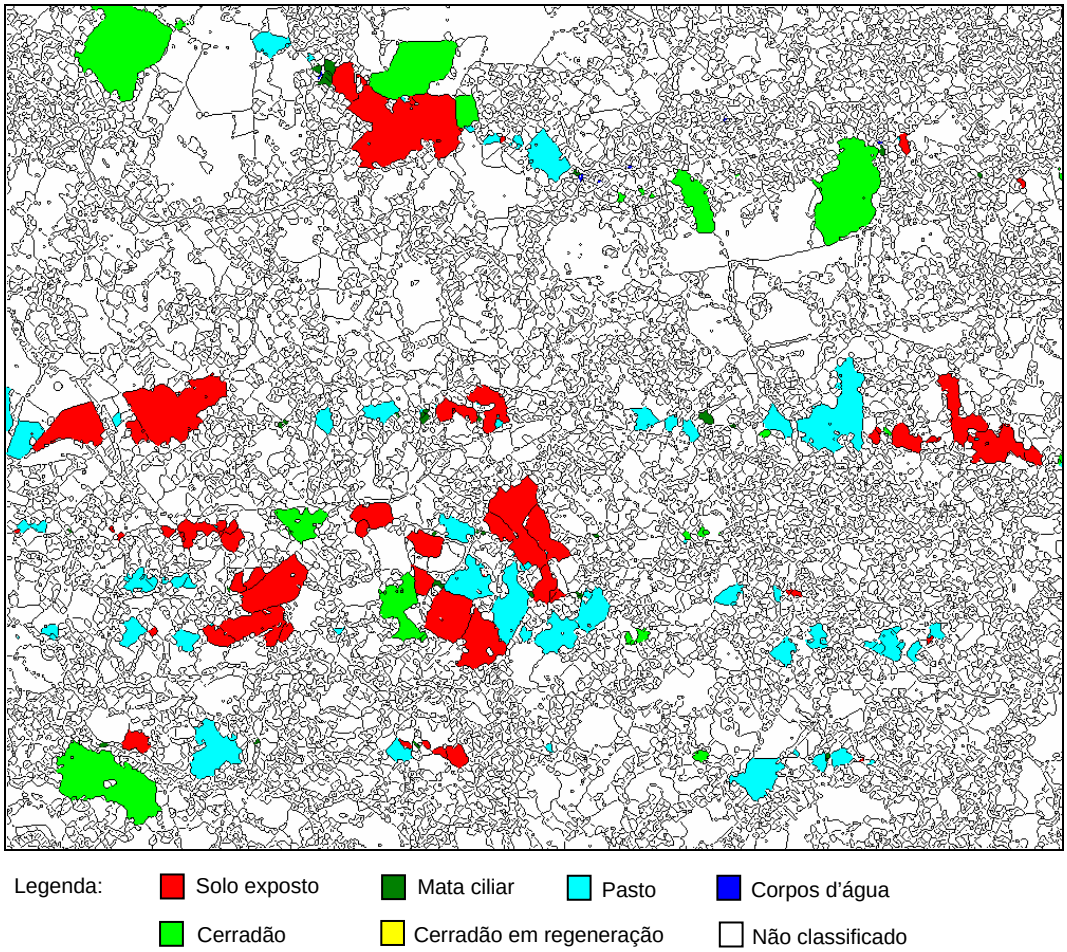

Figura 53 – Resultado para a área 2 em 2000 da classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal binário empregando o conjunto de treinamento produzido de forma manual.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

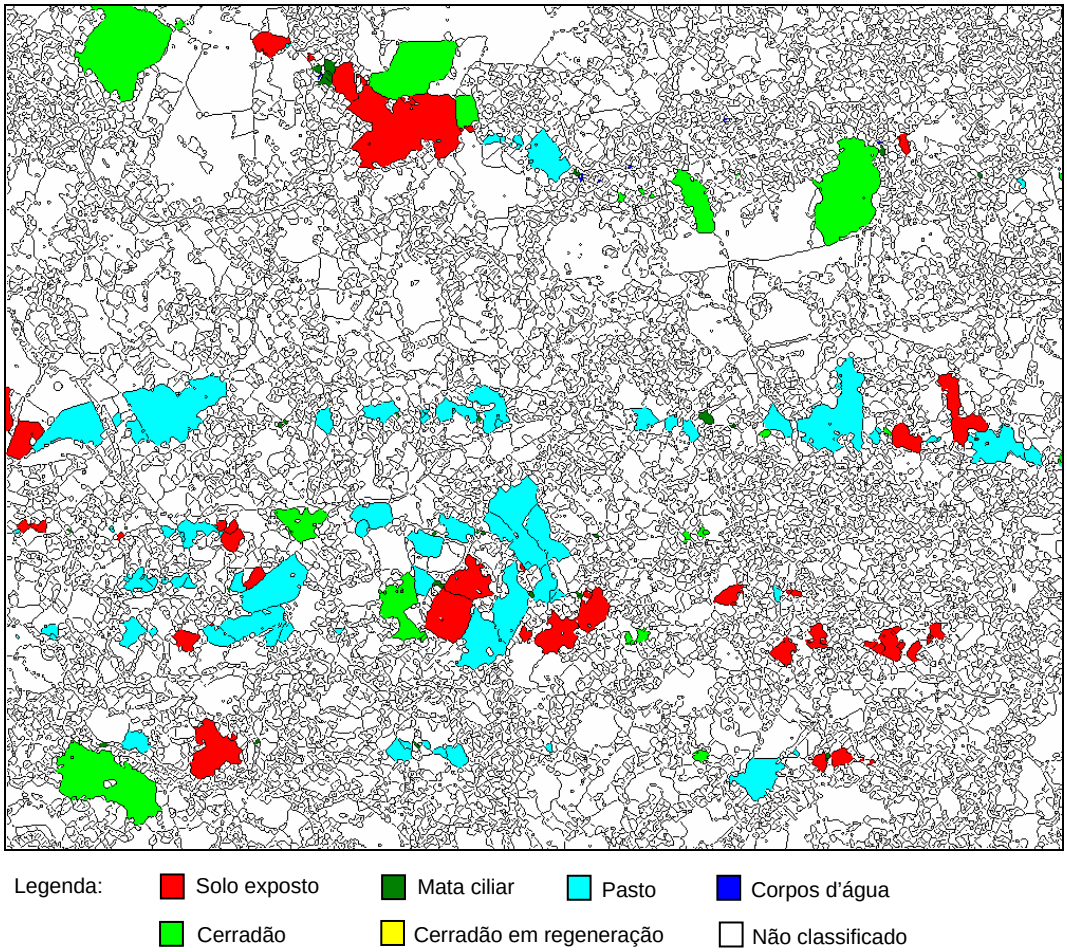

Figura 54 – Resultado para a área 2 em 2001 da classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal binário empregando o conjunto de treinamento produzido de forma manual.

A tabela 25 e a tabela 26 apresentam respectivamente a comparação dos resultados produzidos pela classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal binário para as imagens de 2000 (intervalo 1999-2000) e 2001 (intervalo 2000-2001) com os dados de referência, com base no conjunto de treinamento manual.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Dados de Referência							
Classificação	**ω_1**	**ω_2**	**ω_3**	**ω_4**	**ω_5**	**ω_6**	**Total da linha**
ω_1	50	0	220	0	0	0	*270*
ω_2	0	60	0	0	0	0	*60*
ω_3	34	2	290	0	5	0	*331*
ω_4	0	0	0	28	0	0	*28*
ω_5	0	0	0	0	127	3	*130*
ω_6	0	0	0	0	0	3	*3*
Total da Coluna	*84*	*62*	*510*	*28*	*132*	*6*	***822***

Taxa de reconhecimento 67,8%

	Erro de omissão	**Erro de comissão**
ω_1 - Solo exposto	40,4 %	81,4 %
ω_2 - Mata ciliar	3,2 %	0 %
ω_3 - Pasto	43,1 %	12,3 %
ω_4 - Corpos d'água	0 %	0 %
ω_5 - Cerradão	3,7 %	2,3 %
ω_6 - Cerradão em reg.	50 %	0 %

Tabela 25 – Avaliação da classificação da imagem de 2000 empregando a classificação espectral e conhecimento multitemporal binário (matriz de confusão, taxa de reconhecimento erros de omissão e comissão) utilizando a seleção manual do conjunto de treinamento intervalo 1999-2000.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Dados de Referência							
Classificação	**ω_1**	**ω_2**	**ω_3**	**ω_4**	**ω_5**	**ω_6**	**Total da linha**
ω_1	30	0	170	0	0	0	*200*
ω_2	0	56	0	0	0	0	*56*
ω_3	31	1	368	0	5	0	*405*
ω_4	0	0	0	28	0	0	*28*
ω_5	0	0	0	0	127	3	*130*
ω_6	0	0	0	0	0	3	*3*
Total da Coluna	*61*	*57*	*538*	*28*	*132*	*6*	***822***

Taxa de reconhecimento 74,4 %

	Erro de omissão	**Erro de comissão**
ω_1 - Solo exposto	50,8 %	85 %
ω_2 - Mata ciliar	1,7 %	0 %
ω_3 - Pasto	31,5 %	9.1 %
ω_4 - Corpos d'água	0 %	0 %
ω_5 - Cerradão	3,7 %	2,3 %
ω_6 - Cerradão em reg.	50 %	0 %

Tabela 26 – Avaliação da classificação da imagem de 2001 empregando a classificação espectral e conhecimento multitemporal binário (matriz de confusão, taxa de reconhecimento erros de omissão e comissão) utilizando a seleção manual do conjunto de treinamento intervalo 2000-2001.

As figuras 55 a 58 apresentam para as áreas 1 e 2 em 2000 e 2001 o resultado da classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal binário utilizando o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

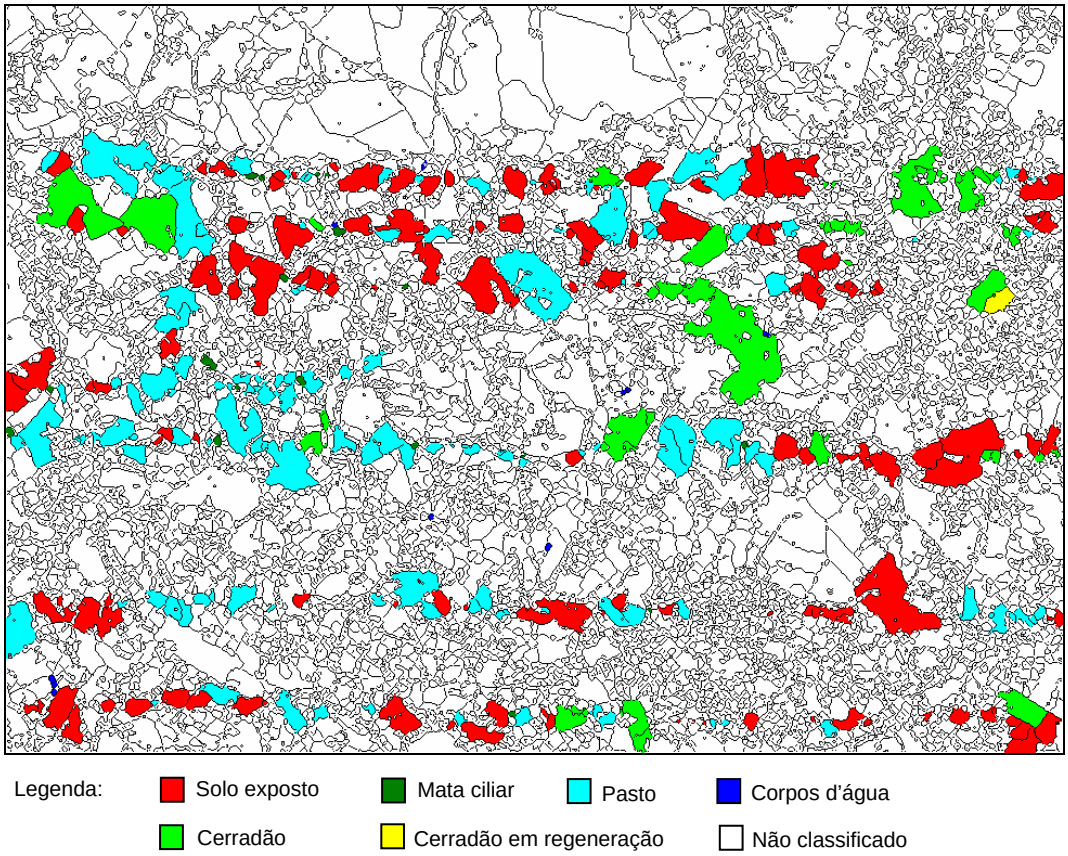

Figura 55 – Resultado para a área 1 em 2000 da classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal binário empregando o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

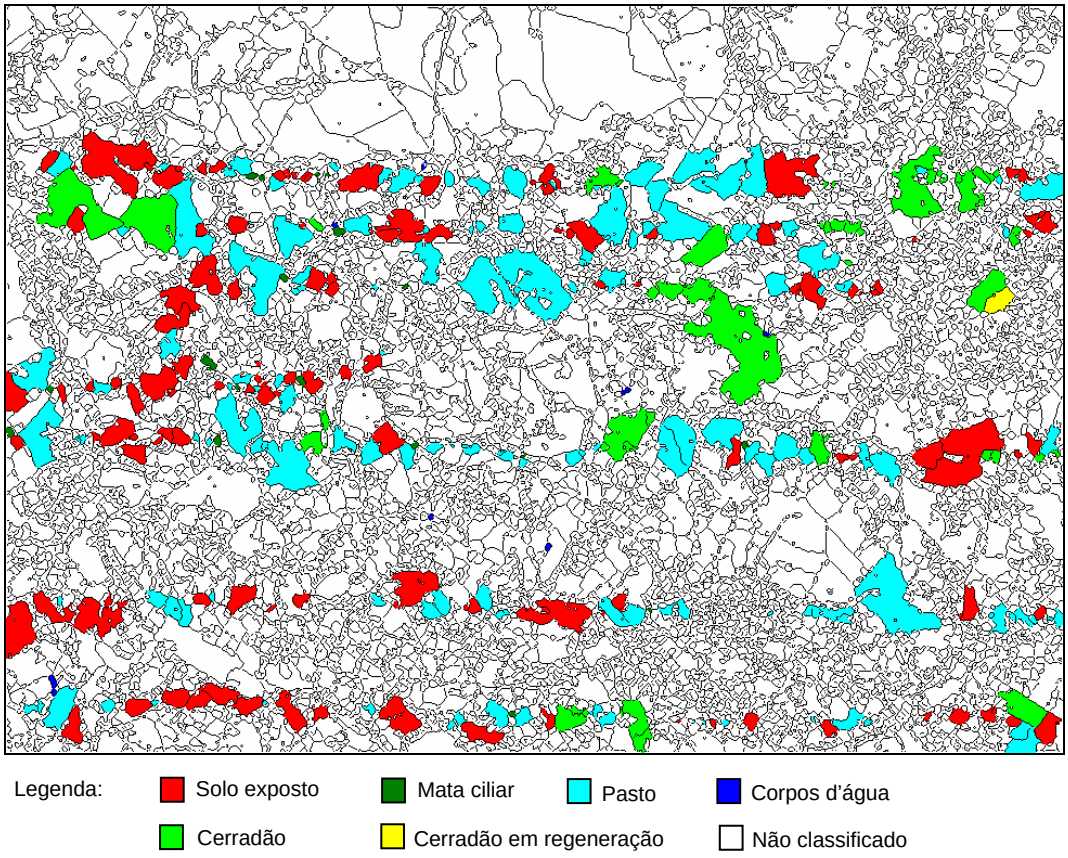

Figura 56 – Resultado para a área 1 em 2001 da classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal binário empregando o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

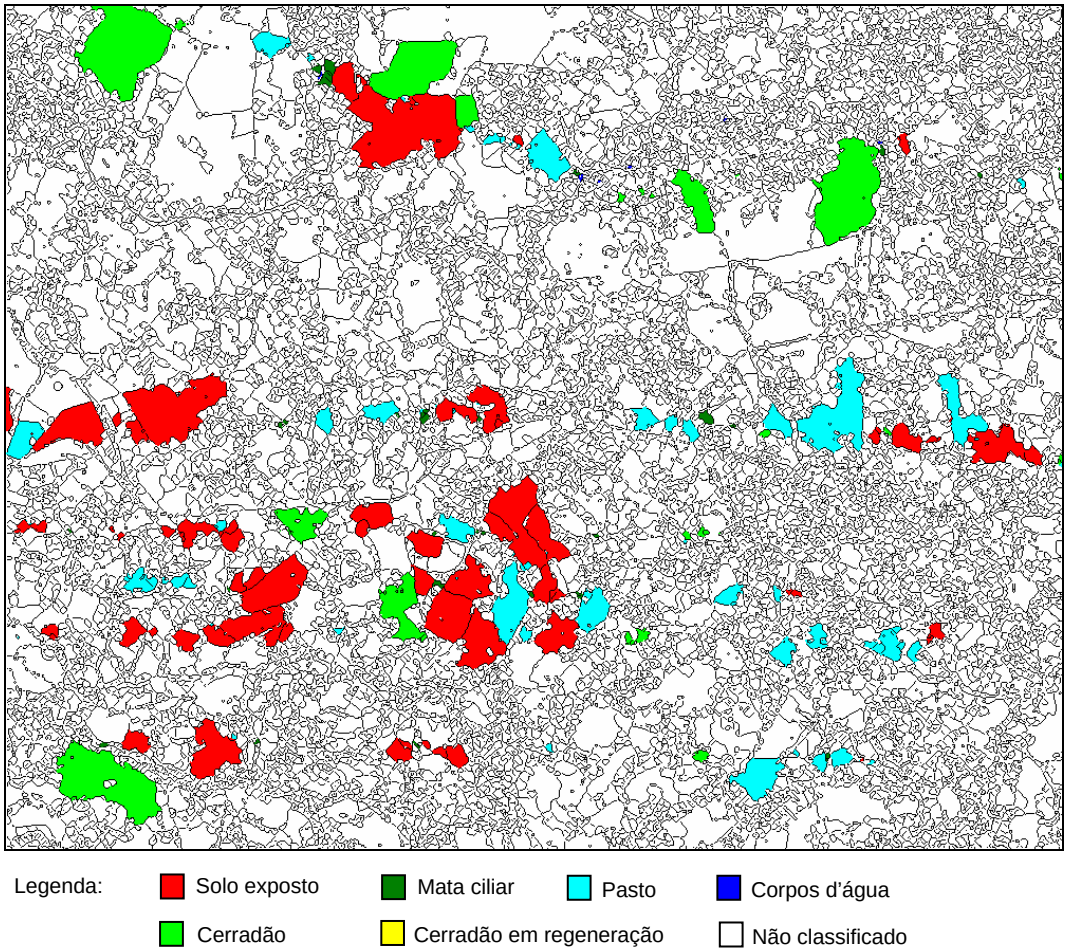

Figura 57 – Resultado para a área 2 em 2000 da classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal binário empregando o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

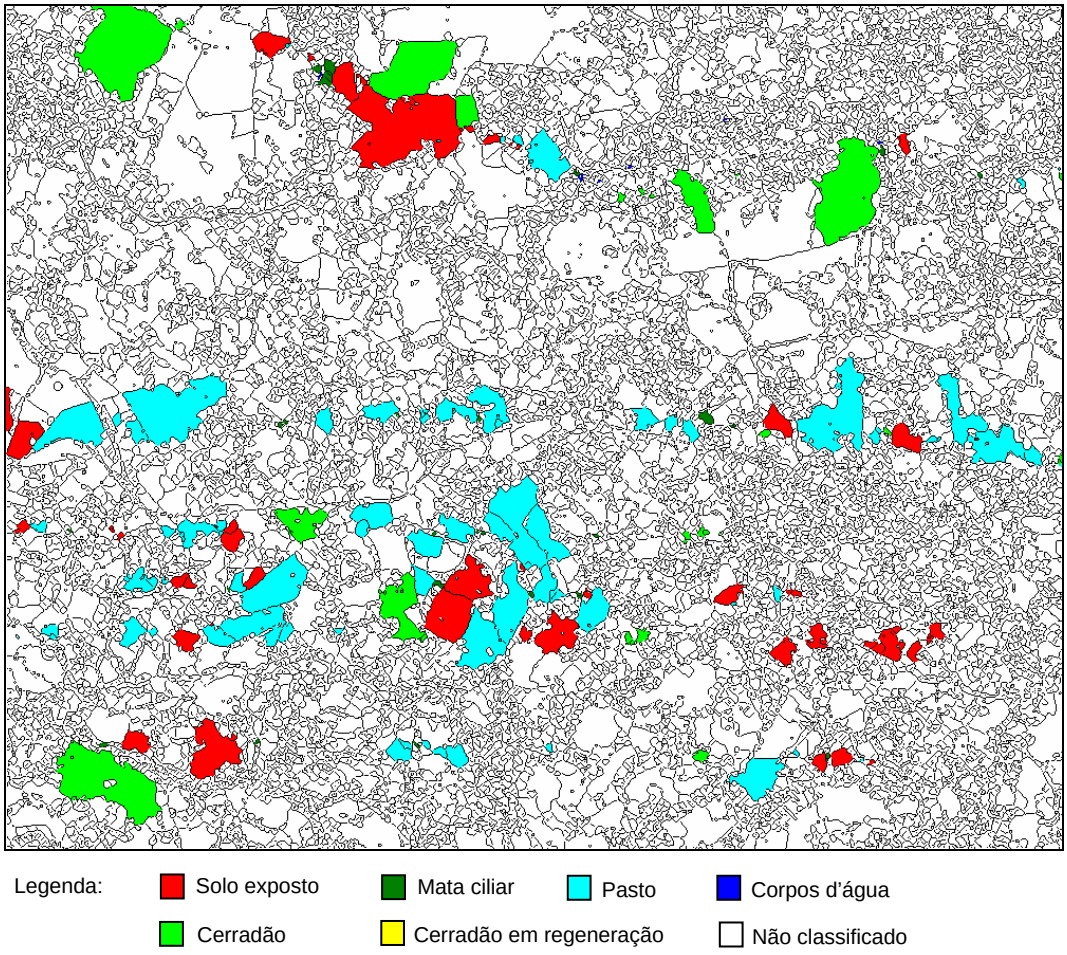

Figura 58 – Resultado para a área 2 em 2001 da classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal binário empregando o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

A tabela 27 e a tabela 28 apresentam respectivamente a comparação dos resultados pela classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal binário para as imagens de 2000 (intervalo 1999-2000) e 2001 (intervalo 2000-2001) com os dados de referência, com base no conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Dados de Referência							
Classificação	**ω_1**	**ω_2**	**ω_3**	**ω_4**	**ω_5**	**ω_6**	**Total da linha**
ω_1	61	0	253	0	0	0	*314*
ω_2	0	60	0	0	0	0	*60*
ω_3	23	2	257	0	5	0	*287*
ω_4	0	0	0	28	0	0	*28*
ω_5	0	0	0	0	127	5	*132*
ω_6	0	0	0	0	0	1	*1*
Total da Coluna	*84*	*62*	*510*	*28*	*132*	*6*	***822***

Taxa de reconhecimento 64,9%

	Erro de omissão	**Erro de comissão**
ω_1 - Solo exposto	27,3 %	80,5 %
ω_2 - Mata ciliar	3,2 %	0 %
ω_3 - Pasto	49,6 %	10,4 %
ω_4 - Corpos d'água	0 %	0 %
ω_5 - Cerradão	3,7 %	3,7 %
ω_6 - Cerradão em reg.	83,3 %	0 %

Tabela 27 – Avaliação da classificação da imagem de 2000 empregando a classificação espectral e conhecimento multitemporal binário (matriz de confusão, taxa de reconhecimento erros de omissão e comissão) utilizando a seleção automática do conjunto de treinamento intervalo 1999-2000.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Dados de Referência							
Classificação	**ω_1**	**ω_2**	**ω_3**	**ω_4**	**ω_5**	**ω_6**	**Total da linha**
ω_1	31	0	230	0	0	0	*261*
ω_2	0	56	0	0	0	0	*56*
ω_3	30	1	308	0	5	0	*344*
ω_4	0	0	0	28	0	0	*28*
ω_5	0	0	0	0	127	3	*130*
ω_6	0	0	0	0	0	3	*3*
Total da Coluna	*61*	*57*	*538*	*28*	*132*	*6*	***822***

Taxa de reconhecimento 67,2%

	Erro de omissão	**Erro de comissão**
ω_1 - Solo exposto	49,1 %	88,1 %
ω_2 - Mata ciliar	1,7 %	0 %
ω_3 - Pasto	42,7 %	10,4 %
ω_4 - Corpos d'água	0 %	0 %
ω_5 - Cerradão	3,7 %	2,3 %
ω_6 - Cerradão em reg.	50 %	0 %

Tabela 28 – Avaliação da classificação da imagem de 2001 empregando a classificação espectral e conhecimento multitemporal binário (matriz de confusão, taxa de reconhecimento erros de omissão e comissão) utilizando a seleção automática do conjunto de treinamento intervalo 2000-2001.

As figuras 59 a 62 apresentam para as áreas 1 e 2 em 2000 e 2001 o resultado da classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário e o conjunto de treinamento selecionado de forma manual.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

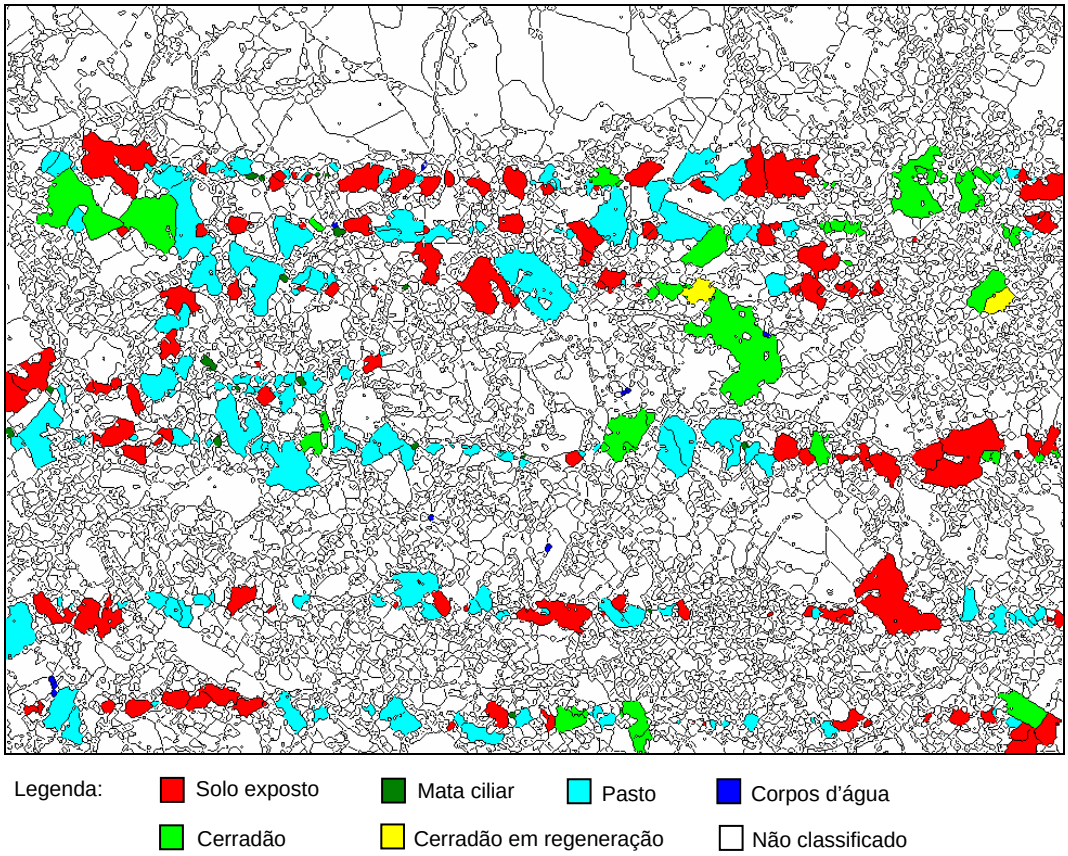

Figura 59 – Resultado para a área 1 em 2000 da classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário e o conjunto de treinamento selecionado de forma manual.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

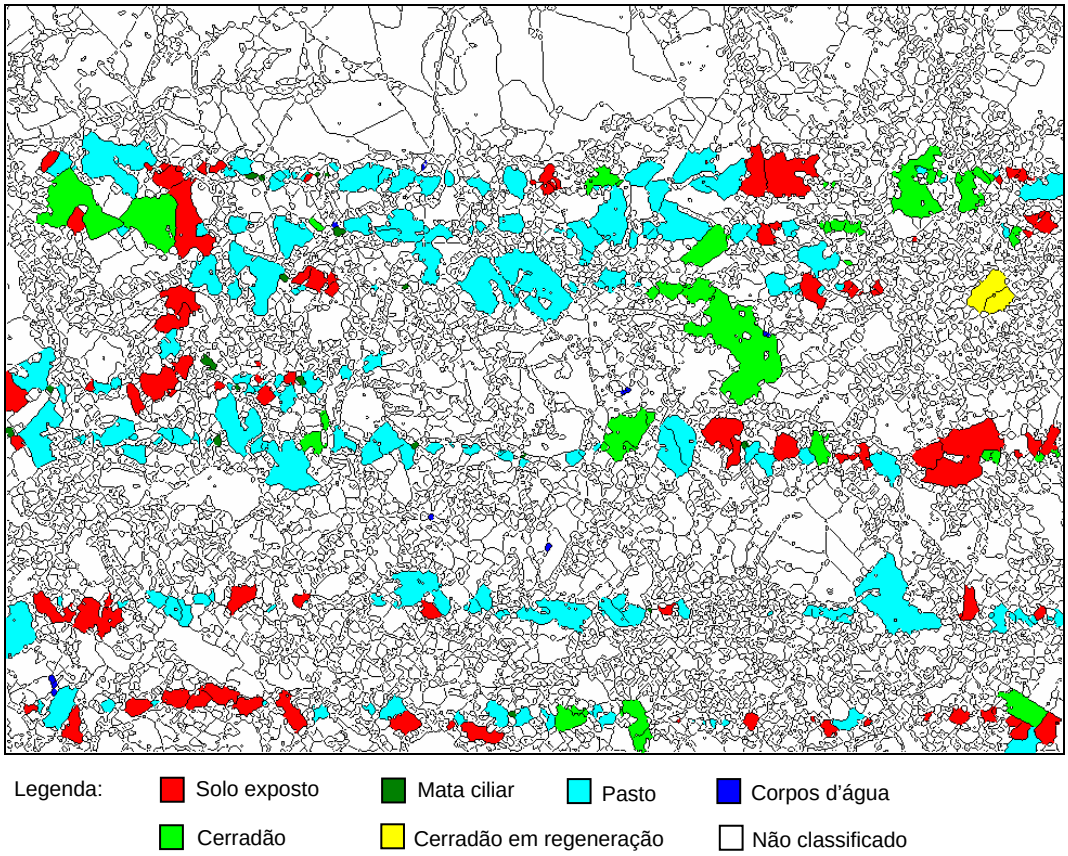

Figura 60 – Resultado para a área 1 em 2001 da classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário e o conjunto de treinamento selecionado de forma manual.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

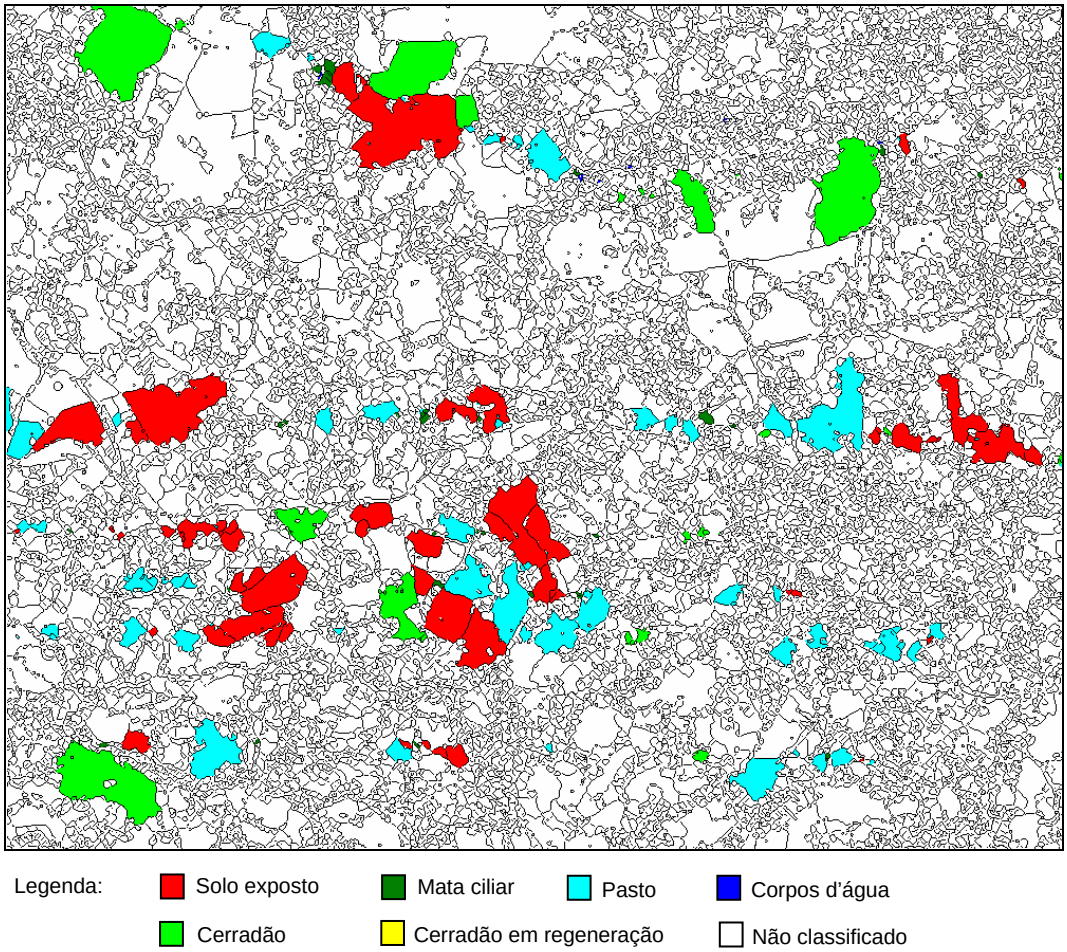

Figura 61 – Resultado para a área 2 em 2000 da classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário e o conjunto de treinamento selecionado de forma manual.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

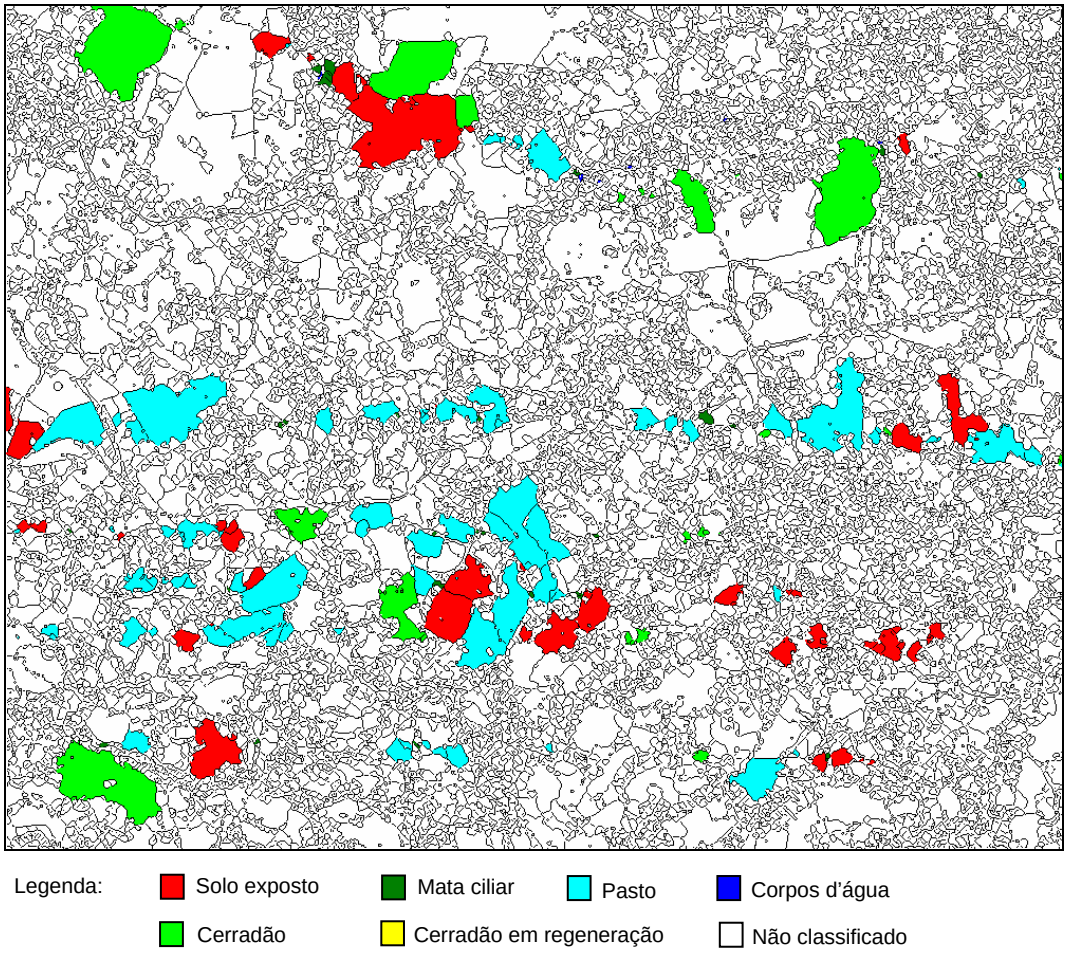

Figura 62 – Resultado para a área 2 em 2001 da classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário e o conjunto de treinamento selecionado de forma manual.

A tabela 29 e a tabela 30 apresentam a comparação dos resultados obtidos empregando os conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário para as imagens de 2000 (intervalo 1999-2000) e 2001 (intervalo 2000-2001) com os dados de referência, para o conjunto de treinamento produzido de forma manual.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Dados de Referência							
Classificação	**ω_1**	**ω_2**	**ω_3**	**ω_4**	**ω_5**	**ω_6**	**Total da linha**
ω_1	50	0	220	0	0	0	*270*
ω_2	0	60	0	0	0	0	*60*
ω_3	34	2	290	0	3	0	*329*
ω_4	0	0	0	28	0	0	*28*
ω_5	0	0	0	0	129	3	*132*
ω_6	0	0	0	0	0	3	*3*
Total da Coluna	*84*	*62*	*510*	*28*	*132*	*6*	***822***

Taxa de reconhecimento 68,1%

	Erro de omissão	**Erro de comissão**
ω_1 - Solo exposto	40,4 %	81,4 %
ω_2 - Mata ciliar	3.2 %	0 %
ω_3 - Pasto	43.1 %	11,8 %
ω_4 - Corpos d'água	0 %	0 %
ω_5 - Cerradão	2,2 %	2,2 %
ω_6 - Cerradão em reg.	50 %	0 %

Tabela 29 – Avaliação da classificação da imagem de 2000 empregando conhecimento espectral, contextual e multitemporal binário (matriz de confusão, taxa de reconhecimento erros de omissão e comissão) utilizando a seleção manual do conjunto de treinamento intervalo 1999-2000.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Dados de Referência							
Classificação	**ω_1**	**ω_2**	**ω_3**	**ω_4**	**ω_5**	**ω_6**	**Total da linha**
ω_1	30	0	170	0	0	0	*200*
ω_2	0	56	0	0	0	0	*56*
ω_3	31	1	368	0	7	0	*407*
ω_4	0	0	0	28	0	0	*28*
ω_5	0	0	0	0	125	2	*127*
ω_6	0	0	0	0	0	4	*4*
Total da Coluna	*61*	*57*	*538*	*28*	*132*	*6*	***822***

Taxa de reconhecimento 74,3 %

	Erro de omissão	**Erro de comissão**
ω_1 - Solo exposto	50,8 %	85 %
ω_2 - Mata ciliar	1,7 %	0 %
ω_3 - Pasto	31,5 %	9,5 %
ω_4 - Corpos d'água	0 %	0 %
ω_5 - Cerradão	5,3 %	1,5 %
ω_6 - Cerradão em reg.	33,3 %	0 %

Tabela 30 – Avaliação da classificação da imagem de 2001 empregando conhecimento espectral, contextual e multitemporal binário (matriz de confusão, taxa de reconhecimento erros de omissão e comissão) utilizando a seleção manual do conjunto de treinamento intervalo 2000-2001.

As figuras 63 a 66 apresentam para as áreas 1 e 2 em 2000 e 2001 o resultado da classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário e o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

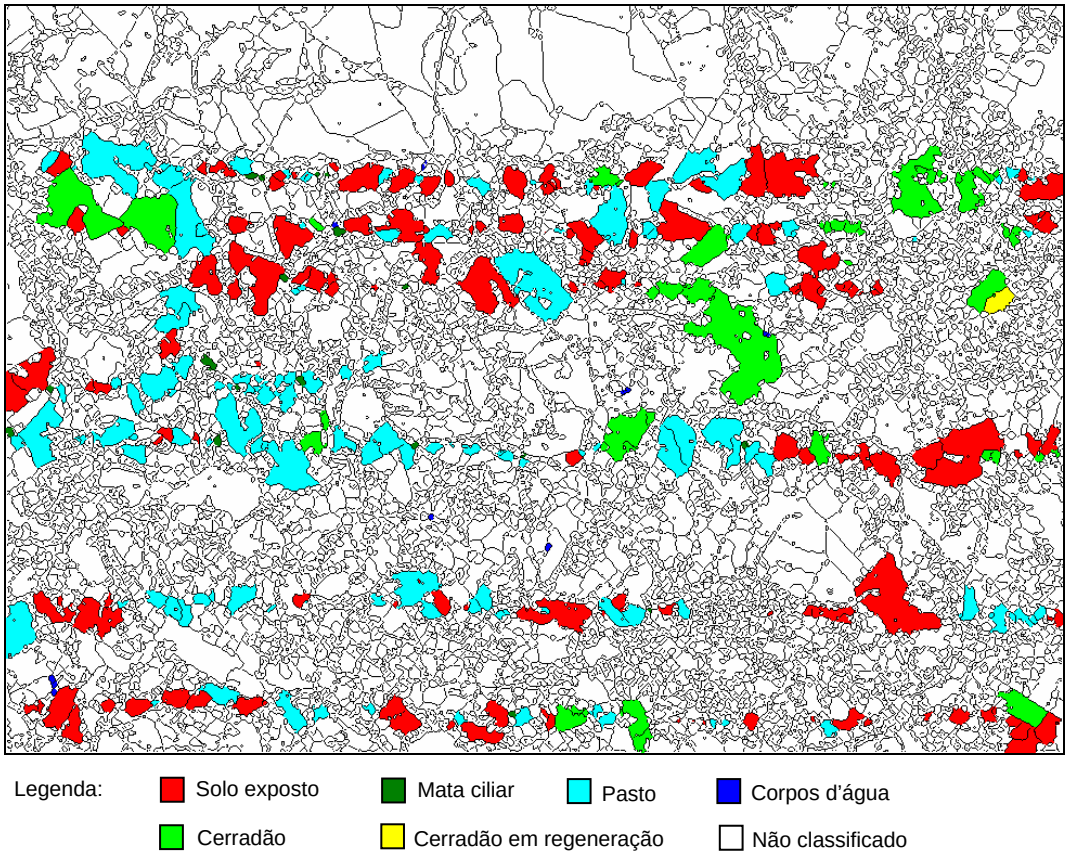

Figura 63 – Resultado para a área 1 em 2000 da classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário e o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

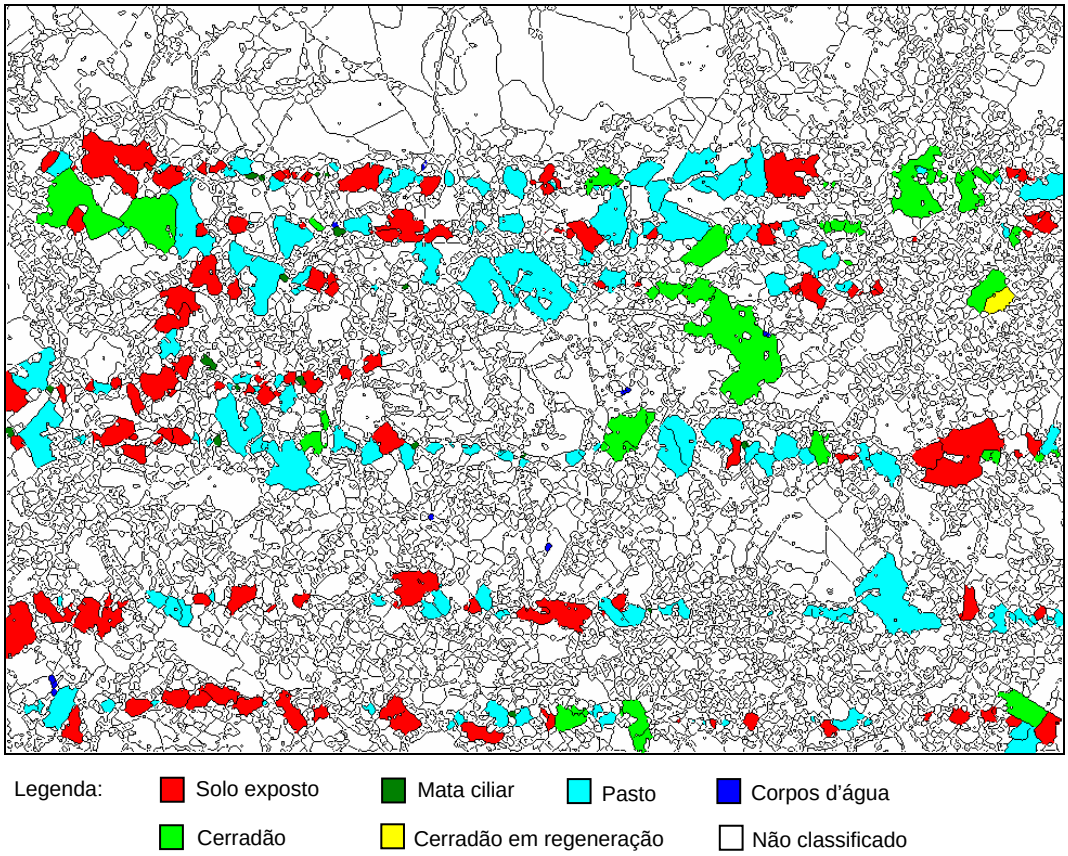

Figura 64 – Resultado para a área 1 em 2001 da classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário e o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

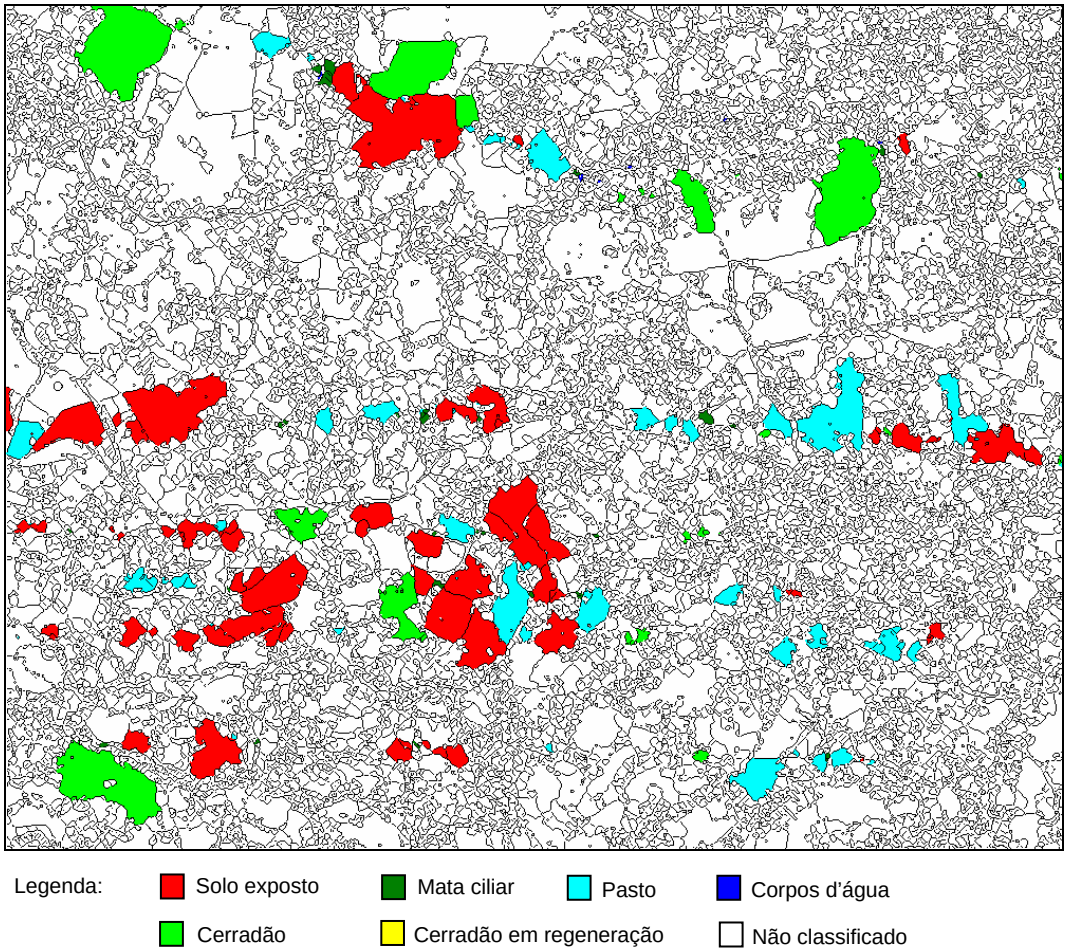

Figura 65 – Resultado para a área 2 em 2000 da classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário e o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

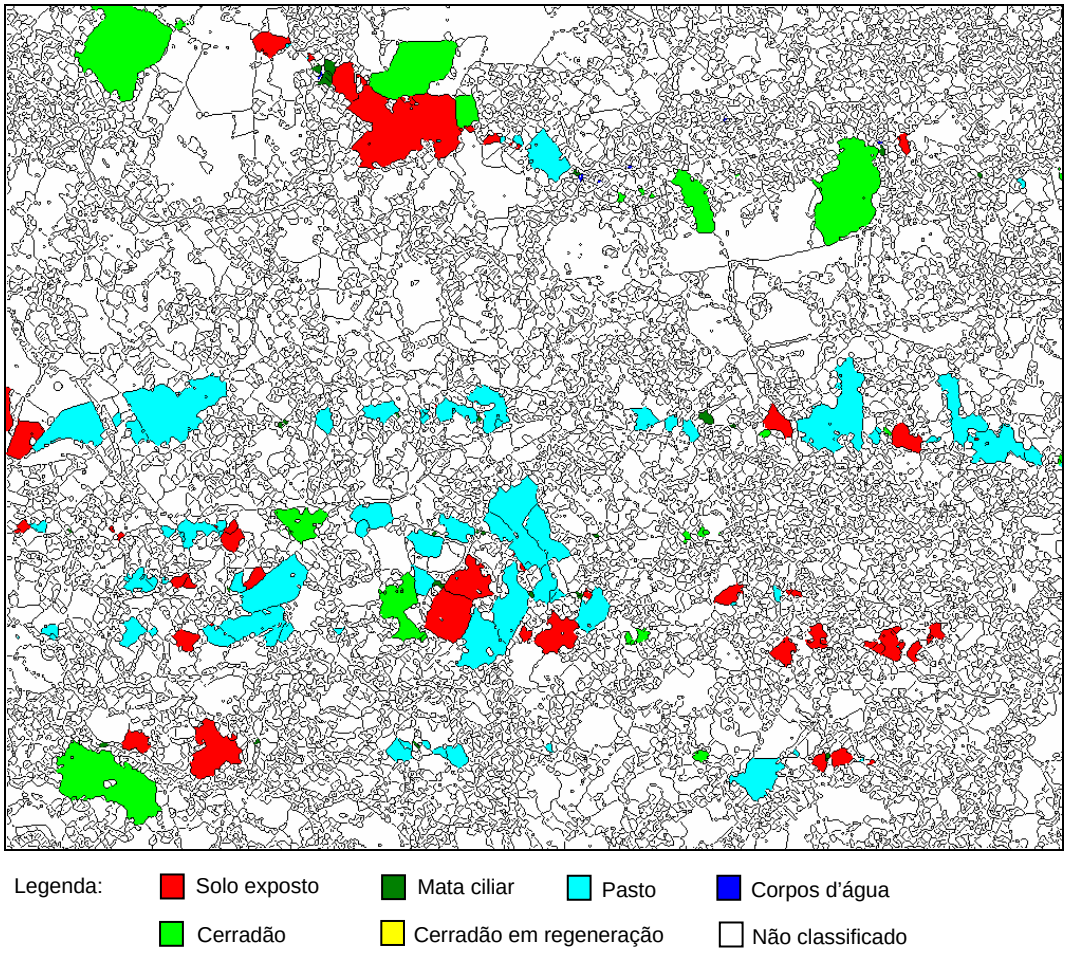

Figura 66 – Resultado para a área 1 em 2001 da classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário e o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

A tabela 31 e a tabela 32 apresentam a comparação dos resultados obtidos empregando os conhecimentos espectral, contextual e multitemporal discreto para as imagens de 2000 (intervalo 1999-2000) e 2001 (intervalo 2000-2001) com os dados de referência, para conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Dados de Referência							
Classificação	**ω_1**	**ω_2**	**ω_3**	**ω_4**	**ω_5**	**ω_6**	**Total da linha**
ω_1	61	0	253	0	0	0	314
ω_2	0	60	0	0	0	0	60
ω_3	23	2	257	0	3	0	285
ω_4	0	0	0	28	0	0	28
ω_5	0	0	0	0	129	5	134
ω_6	0	0	0	0	0	1	1
Total da Coluna	84	62	510	28	132	6	822

Taxa de reconhecimento 65,2 %

	Erro de omissão	**Erro de comissão**
ω_1 - Solo exposto	27,3 %	80,5 %
ω_2 - Mata ciliar	3,2 %	0 %
ω_3 - Pasto	49,6 %	9,8 %
ω_4 - Corpos d'água	0 %	0 %
ω_5 - Cerradão	2,2 %	3,7 %
ω_6 - Cerradão em reg.	83,3 %	0 %

Tabela 31 – Avaliação da classificação da imagem de 2000 empregando conhecimento espectral, contextual e multitemporal binário (matriz de confusão, taxa de reconhecimento erros de omissão e comissão) utilizando a seleção automática do conjunto de treinamento intervalo 1999-2000.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Dados de Referência							
Classificação	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6	**Total da linha**
ω_1	31	0	230	0	0	0	261
ω_2	0	56	0	0	0	0	56
ω_3	30	1	308	0	4	0	343
ω_4	0	0	0	28	0	0	28
ω_5	0	0	0	0	128	3	131
ω_6	0	0	0	0	0	3	3
Total da Coluna	61	57	538	28	132	6	822

Taxa de reconhecimento 67,4 %

	Erro de omissão	**Erro de comissão**
ω_1 **- Solo exposto**	49,1 %	88 %
ω_2 **- Mata ciliar**	1,75 %	0 %
ω_3 **- Pasto**	42,7 %	10,2 %
ω_4 **- Corpos d'água**	0 %	0 %
ω_5 **- Cerradão**	3 %	2.3 %
ω_6 **- Cerradão em reg.**	50 %	0 %

Tabela 32 – Avaliação da classificação da imagem de 2001 empregando conhecimento espectral, contextual e multitemporal binário (matriz de confusão, taxa de reconhecimento erros de omissão e comissão) utilizando a seleção automática do conjunto de treinamento intervalo 2000-2001.

A fim de facilitar a análise dos resultados com seleção manual e automática do conjunto de treinamento, as taxas de reconhecimento produzidas,

- pela classificação empregando conhecimentos espectral e contextual;
- pela classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal binário e;
- pela classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário;

para as imagens de 2000 e 2001 são apresentadas na figura 67 e na figura 68 respectivamente.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

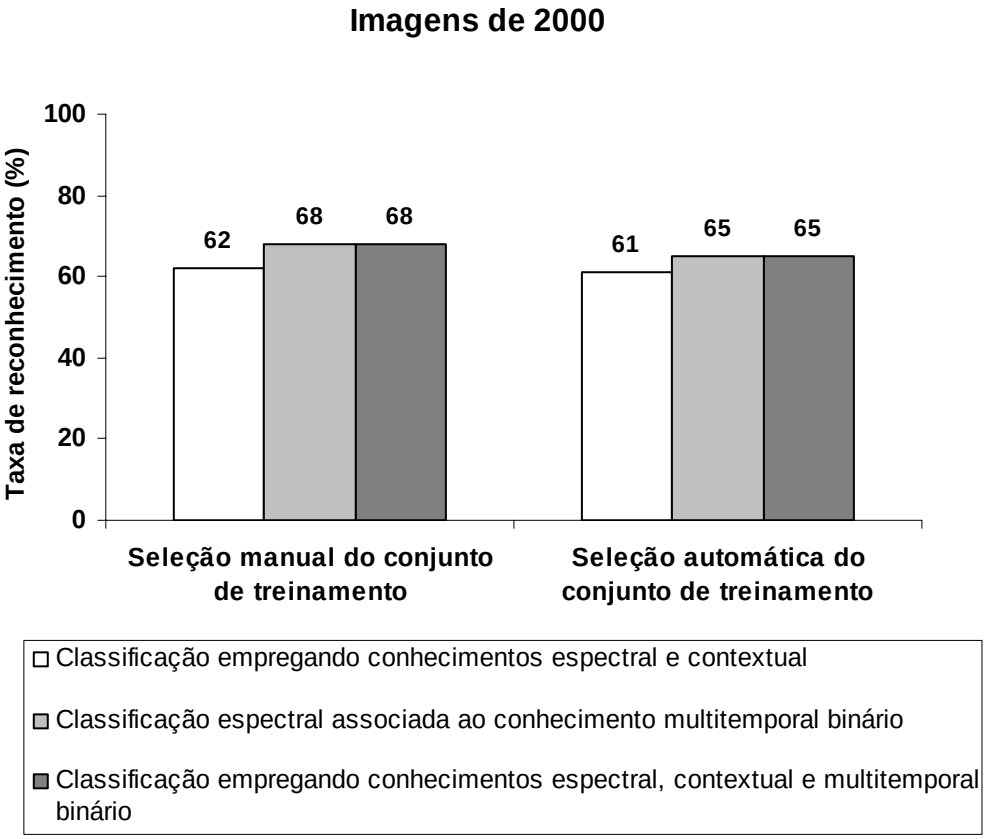

Figura 67 - Taxas de reconhecimento, com seleção manual e automática do conjunto de treinamento para a imagem de 2000, produzidas pela classificação empregando conhecimentos espectral e contextual, pela classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal binário e pela classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

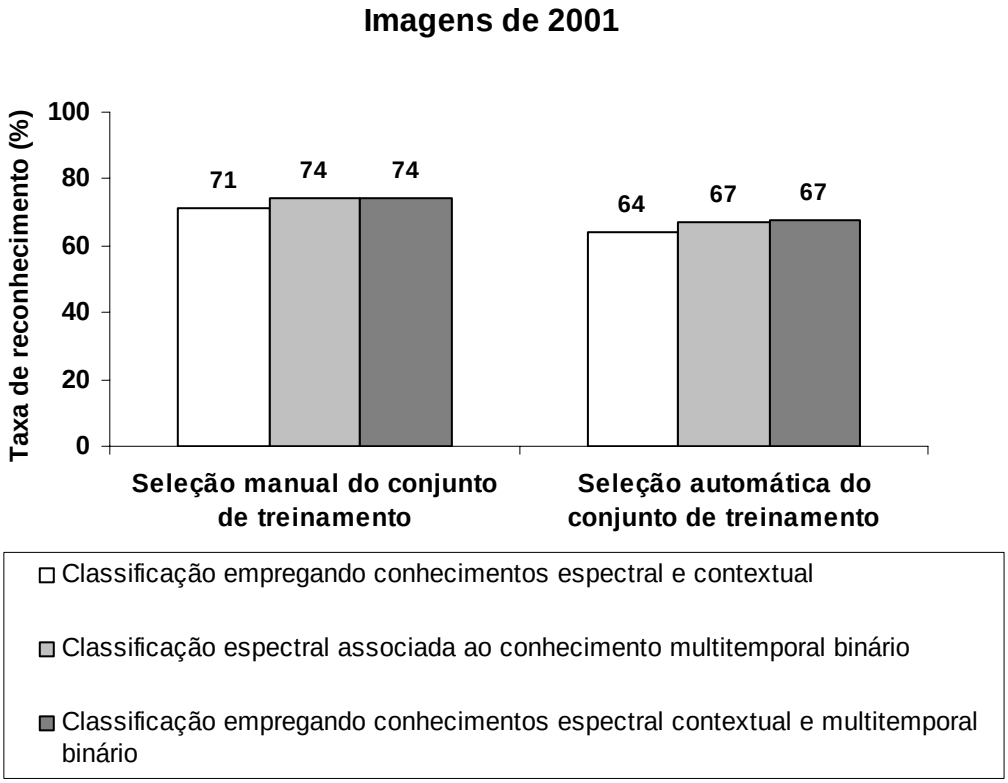

Figura 68 – Taxas de reconhecimento, com seleção manual e automática do conjunto de treinamento para a imagem de 2001, produzidas pela classificação empregando conhecimentos espectral e contextual, pela classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal binário e pela classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário.

Examinando a figura 67 e a figura 68 pode ser observado que o desempenho alcançado ao agregar-se o conhecimento multitemporal binário foi, em todos os casos, superior ao que se obteve empregando apenas os conhecimentos espectral e contextual.

A fim de examinar estes resultados em detalhe a figura 69, para as imagens de 2000, e a figura 70, para as imagens de 2001, apresentam os resultados dos mesmos experimentos classe a classe.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

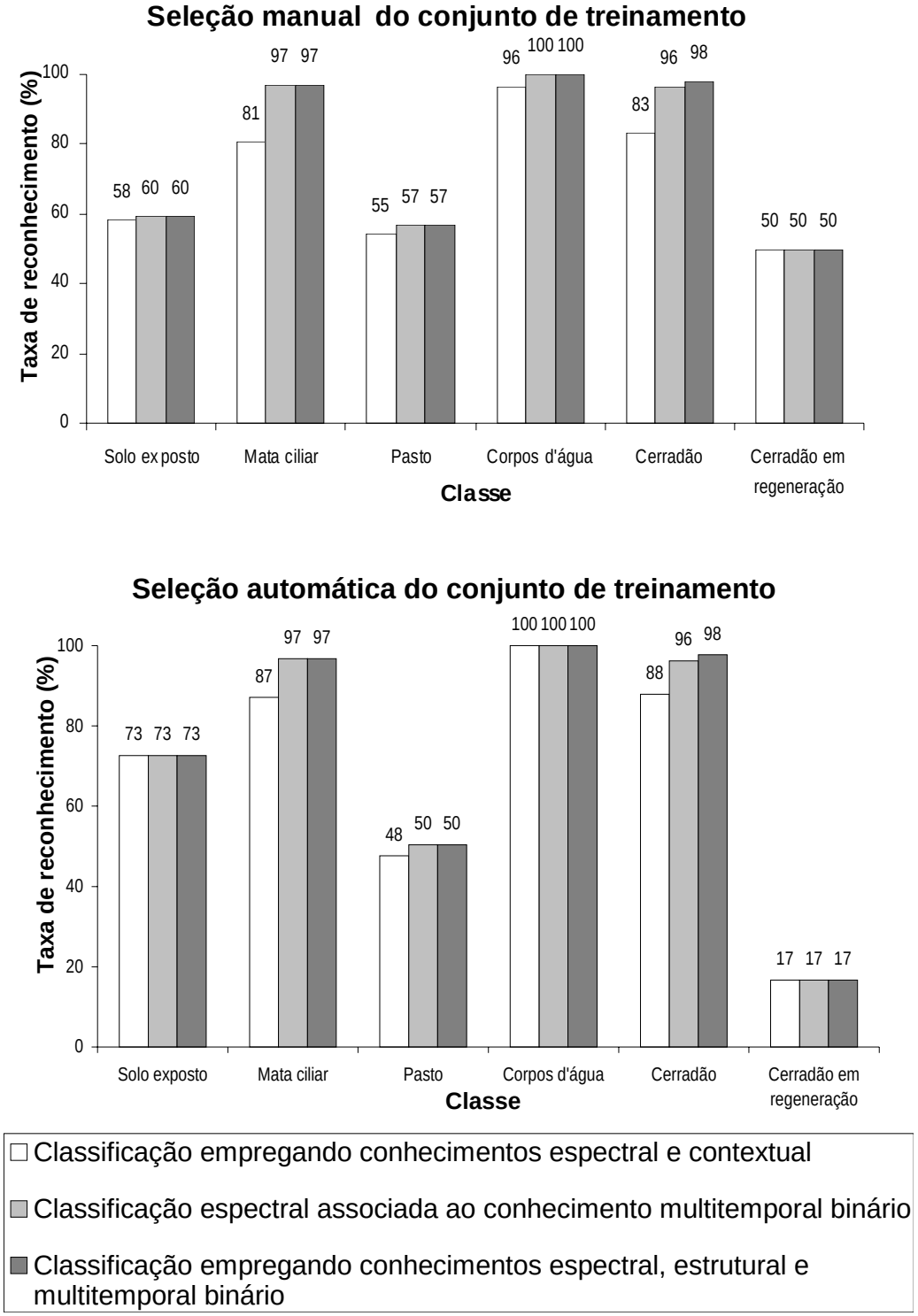

Figura 69 – Comparação das taxas de reconhecimento classe a classe, para a imagem de 2000 com seleção manual e automática do conjunto de treinamento, produzidas pela classificação considerando conhecimentos espectral e contextual, pela classificação espectral combinada com o conhecimento multitemporal binário e a classificação considerando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

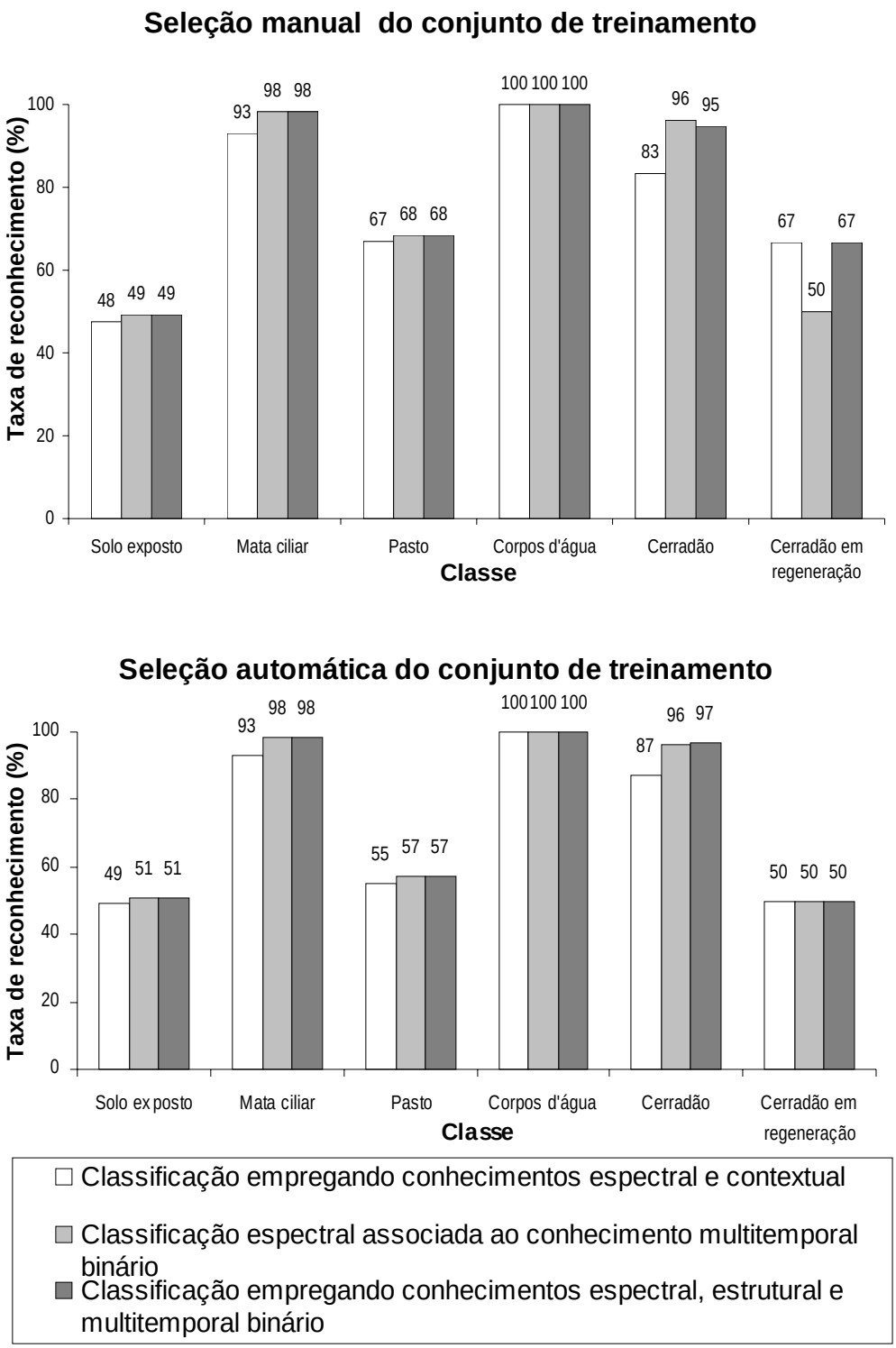

Figura 70 – Comparação das taxas de reconhecimento classe a classe, para a imagem de 2001 com seleção manual e automática do conjunto de treinamento, produzidas pela classificação considerando conhecimentos espectral e contextual, pela classificação espectral combinada com o conhecimento multitemporal binário e a classificação considerando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Conforme pode ser observado nas figuras anteriores, a contribuição do conhecimento multitemporal binário foi, em quase todos os casos, positiva, inclusive nos experimentos onde não foi considerado o conhecimento contextual, reforçando a hipótese de que no geral a contribuição do conhecimento multitemporal binário seja superior a do conhecimento contextual.

Examinando os resultados classe a classe, percebe-se que, para as classes solo exposto e pasto, o incremento na taxa de classificação foi muito pequeno. No caso destas classes, nem o conhecimento contextual, nem o conhecimento multitemporal binário incrementam significativamente a taxa de reconhecimento.

Para as classes mata ciliar e cerradão, a agregação do conhecimento multitemporal binário proporcionou um incremento da taxa de acerto mais significativo. Tendo sido a taxa de reconhecimento considerando os conhecimentos contextual, espectral e multitemporal binário, quase sempre, superior às taxas produzidas nos demais experimentos em questão. A exceção foi a classe cerradão com seleção manual do conjunto de treinamento imagem de 2001, que foi ligeiramente inferior ao produzido pela classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal binário.

Para a classe corpos d'água, somente ocorreu incremento na taxa de reconhecimento para a imagem de 2000 com conjunto de treinamento selecionado manualmente. Nos demais casos, a classificação empregando conhecimento espectral e contextual já havia proporcionado taxa de reconhecimento de 100 %.

Para a classe cerradão em regeneração, a taxa de reconhecimento para o conjunto de treinamento selecionado automaticamente e para o conjunto de treinamento produzido de forma manual na a imagem de 2000 foi idêntica para todas as três modalidades de classificação em questão. No caso da imagem de 2001, para o conjunto de treinamento selecionado manualmente, o resultado produzido pela classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal binário foi inferior aos demais experimentos em questão. Neste momento, deve ser mencionado que existem somente 6 padrões desta classe presentes em cada imagem de entrada. Portanto, deixar de classificar um único padrão desta classe implica numa redução de cerca de 16 % na taxa de reconhecimento.

De uma forma geral, estes resultados indicam que a inclusão do conhecimento multitemporal binário tende a produzir melhores resultados do que somente os conhecimentos espectral e contextual.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

6.4.4.2. Classificação agregando o conhecimento multitemporal ponderado

Os experimentos apresentados e avaliados nesta seção tem como objetivo verificar a contribuição individual do conhecimento multitemporal ponderado apresentado na tabela 12. Assim sendo, para os conjuntos de treinamento produzidos manualmente e automaticamente, são, primeiramente, apresentados os resultados produzidos pela classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal ponderado. Em seguida, são apresentados os resultados produzidos pela classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal ponderado. No final desta seção, com referência nos resultados produzidos com a agregação do conhecimento multitemporal binário, é avaliada a contribuição do conhecimento multitemporal ponderado.

As figuras 71 a 74 apresentam para as áreas 1 e 2 em 2000 e 2001 o resultado da classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal ponderado utilizando o conjunto de treinamento selecionado manualmente.

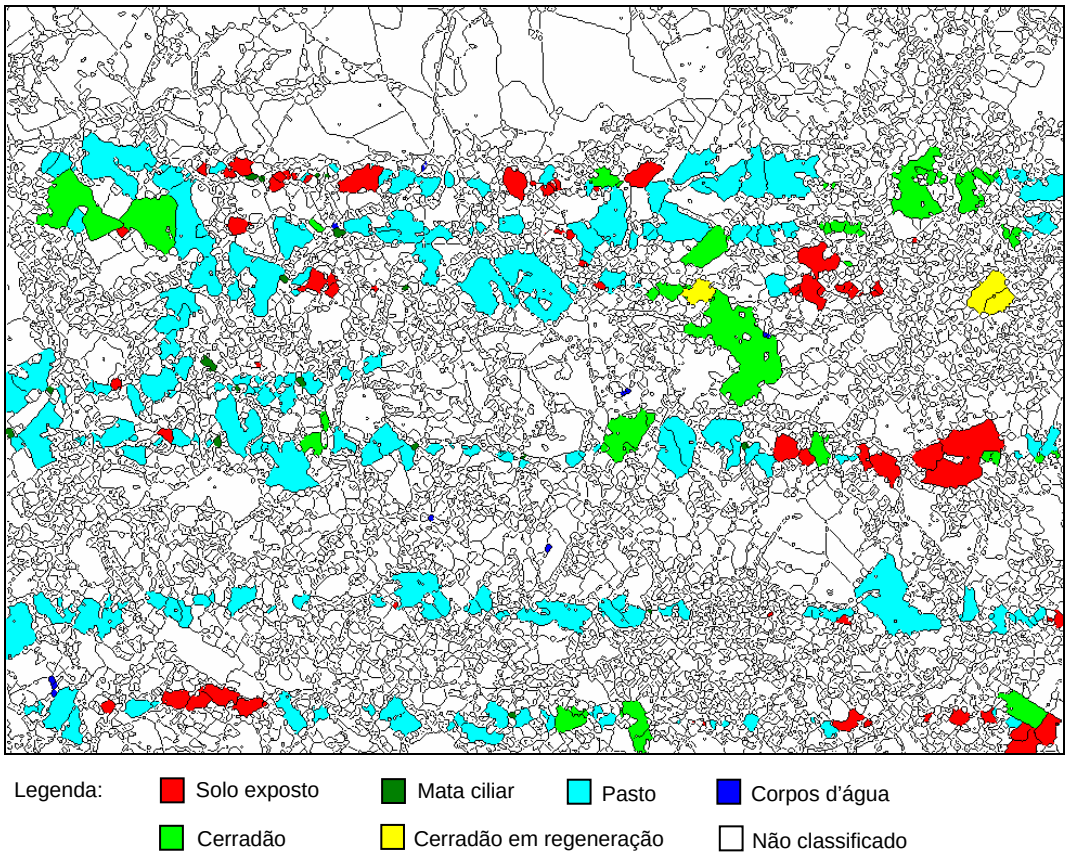

Figura 71 – Resultado para a área 1 em 2000 da classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal ponderado empregando o conjunto de treinamento selecionado de forma manual.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

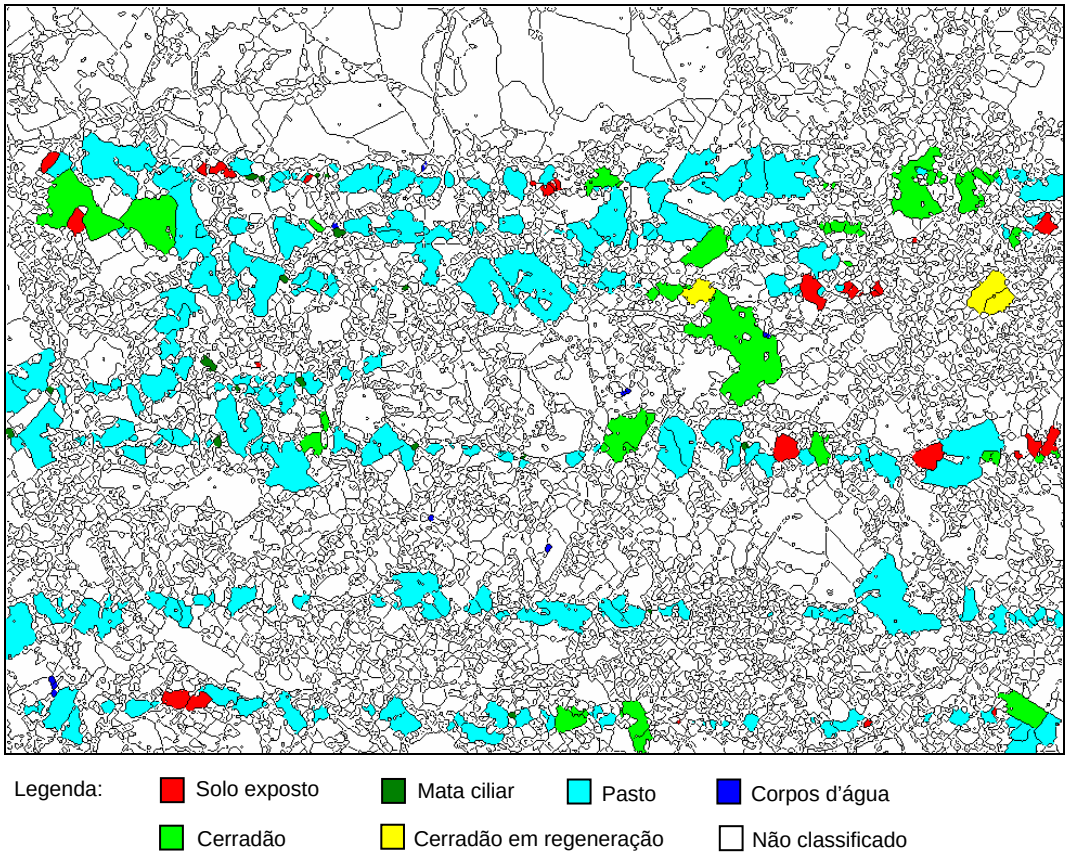

Figura 72 – Resultado para a área 1 em 2001 da classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal ponderado empregando o conjunto de treinamento produzido de forma manual.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

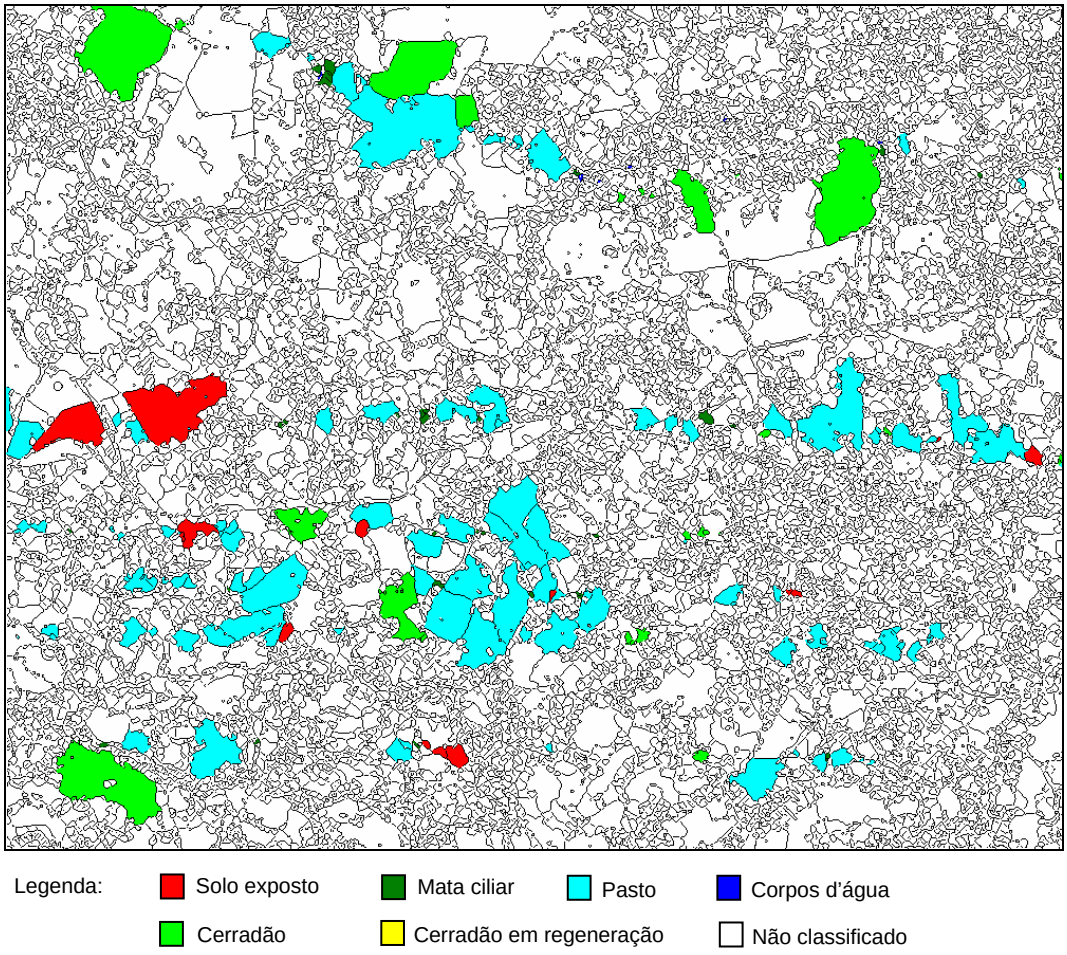

Figura 73 – Resultado para a área 2 em 2000 da classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal ponderado empregando o conjunto de treinamento produzido de forma manual.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

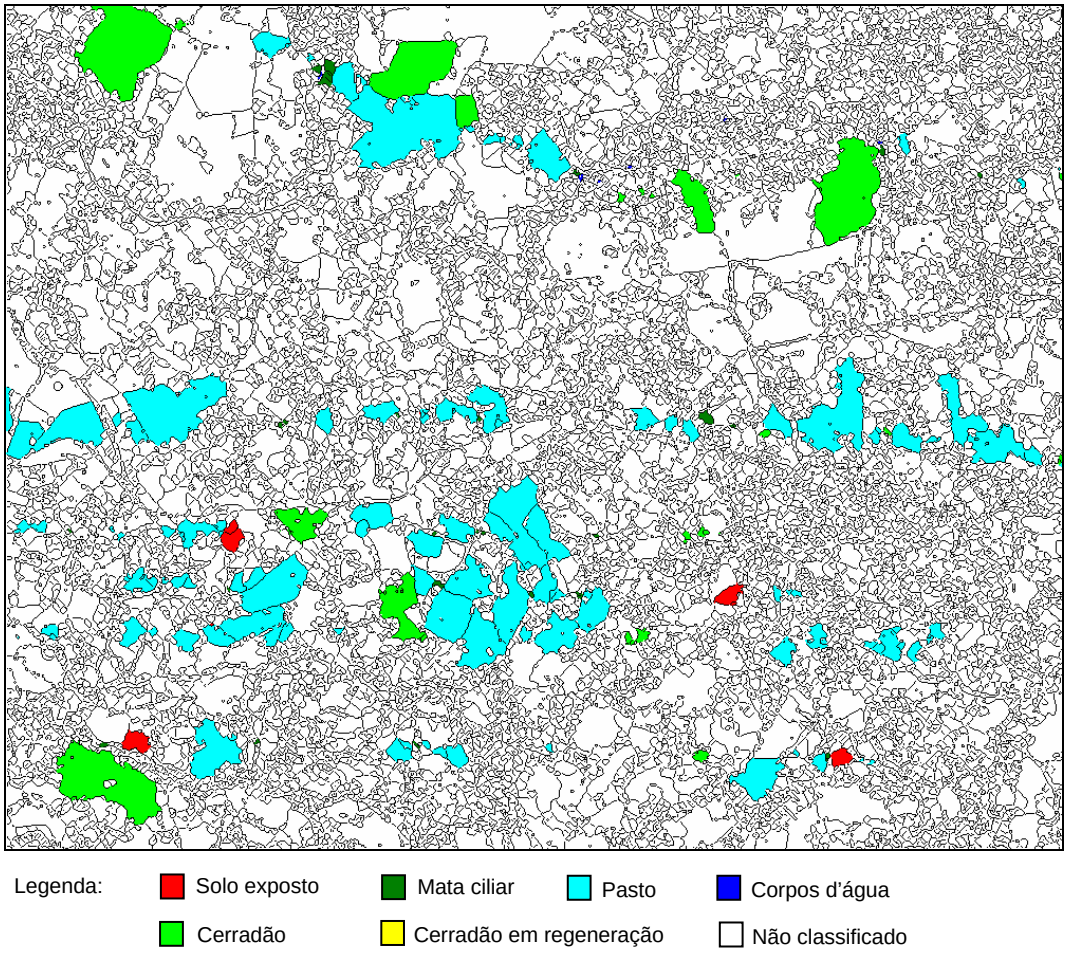

Figura 74 – Resultado para a área 2 em 2001 da classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal ponderado empregando o conjunto de treinamento produzido de forma manual.

A tabela 33 e a tabela 34 apresentam respectivamente a comparação dos resultados produzidos empregando o classificador espectral associado ao conhecimento multitemporal ponderado para a imagem de 2000 (intervalo 1999-2000) e 2001 (intervalo 2000-2001) com os dados de referência, partindo-se do conjunto de treinamento manual.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Dados de Referência							
Classificação	**ω_1**	**ω_2**	**ω_3**	**ω_4**	**ω_5**	**ω_6**	**Total da linha**
ω_1	49	0	57	0	0	0	*106*
ω_2	0	61	0	0	0	0	*61*
ω_3	35	1	453	0	5	0	*494*
ω_4	0	0	0	28	0	0	*28*
ω_5	0	0	0	0	127	2	*129*
ω_6	0	0	0	0	0	4	*4*
Total da Coluna	*84*	*62*	*510*	*28*	*132*	*6*	***822***

Taxa de reconhecimento 87,8 %

	Erro de omissão	**Erro de comissão**
ω_1 - Solo exposto	41,6 %	53,7 %
ω_2 - Mata ciliar	1,6 %	0 %
ω_3 - Pasto	11,1 %	8,2 %
ω_4 - Corpos d'água	0 %	0 %
ω_5 - Cerradão	3,7 %	1,5 %
ω_6 - Cerradão em reg.	33,3 %	0 %

Tabela 33 – Avaliação da classificação da imagem de 2000 empregando a classificação espectral e conhecimento multitemporal ponderado (matriz de confusão, taxa de reconhecimento erros de omissão e comissão) utilizando a seleção manual do conjunto de treinamento intervalo 1999-2000.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Dados de Referência							
Classificação	**ω_1**	**ω_2**	**ω_3**	**ω_4**	**ω_5**	**ω_6**	**Total da linha**
ω_1	28	0	21	0	0	0	*49*
ω_2	0	56	0	0	0	0	*56*
ω_3	33	1	517	0	5	0	*556*
ω_4	0	0	0	28	0	0	*28*
ω_5	0	0	0	0	127	1	*128*
ω_6	0	0	0	0	0	5	*5*
Total da Coluna	*61*	*57*	*538*	*28*	*132*	*6*	***822***

Taxa de reconhecimento 92,5 %

	Erro de omissão	**Erro de comissão**
ω_1 - Solo exposto	54 %	42,8 %
ω_2 - Mata ciliar	1,7 %	0 %
ω_3 - Pasto	3,9 %	7 %
ω_4 - Corpos d'água	0 %	0 %
ω_5 - Cerradão	3.7 %	0.78 %
ω_6 - Cerradão em reg.	16.6 %	0 %

Tabela 34 – Avaliação da classificação da imagem de 2001 empregando a classificação espectral e conhecimento multitemporal ponderado (matriz de confusão, taxa de reconhecimento erros de omissão e comissão) utilizando a seleção manual do conjunto de treinamento intervalo 2000-2001.

As figuras 75 a 78 apresentam para as áreas 1 e 2 em 2000 e 2001 o resultado da classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal ponderado utilizando o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

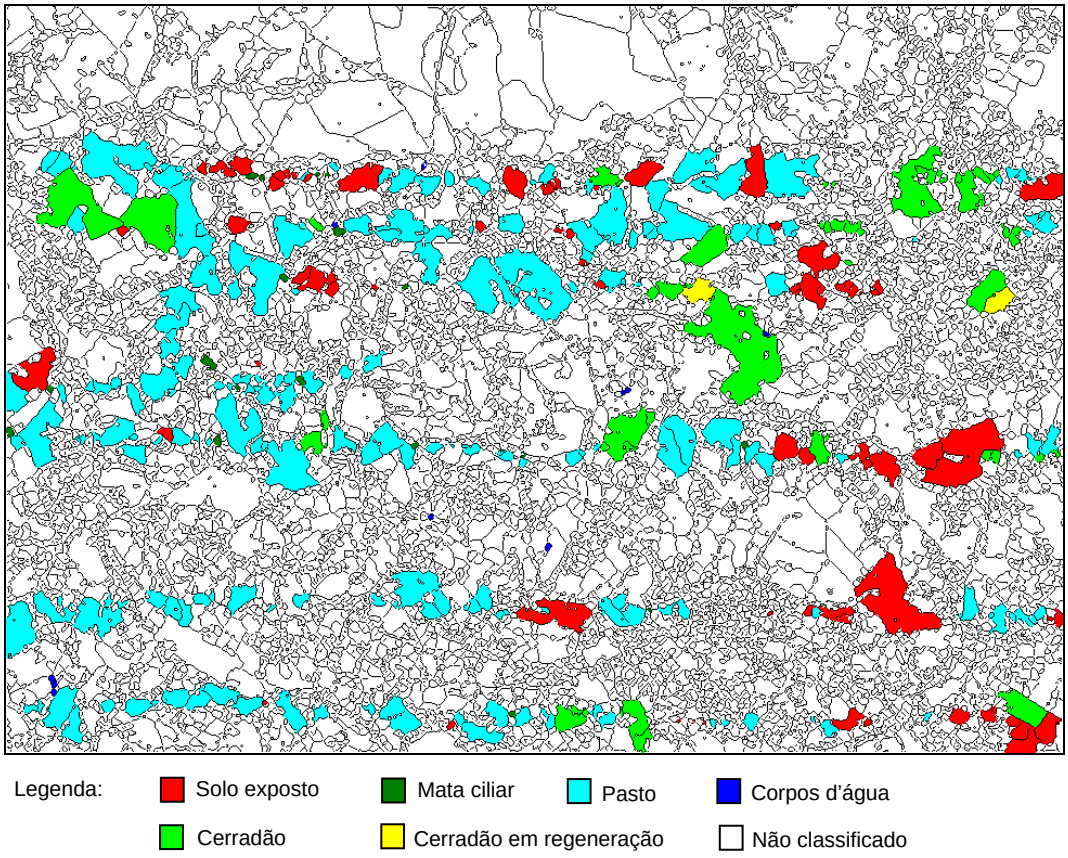

Figura 75 – Resultado para a área 1 em 2000 da classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal ponderado empregando o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

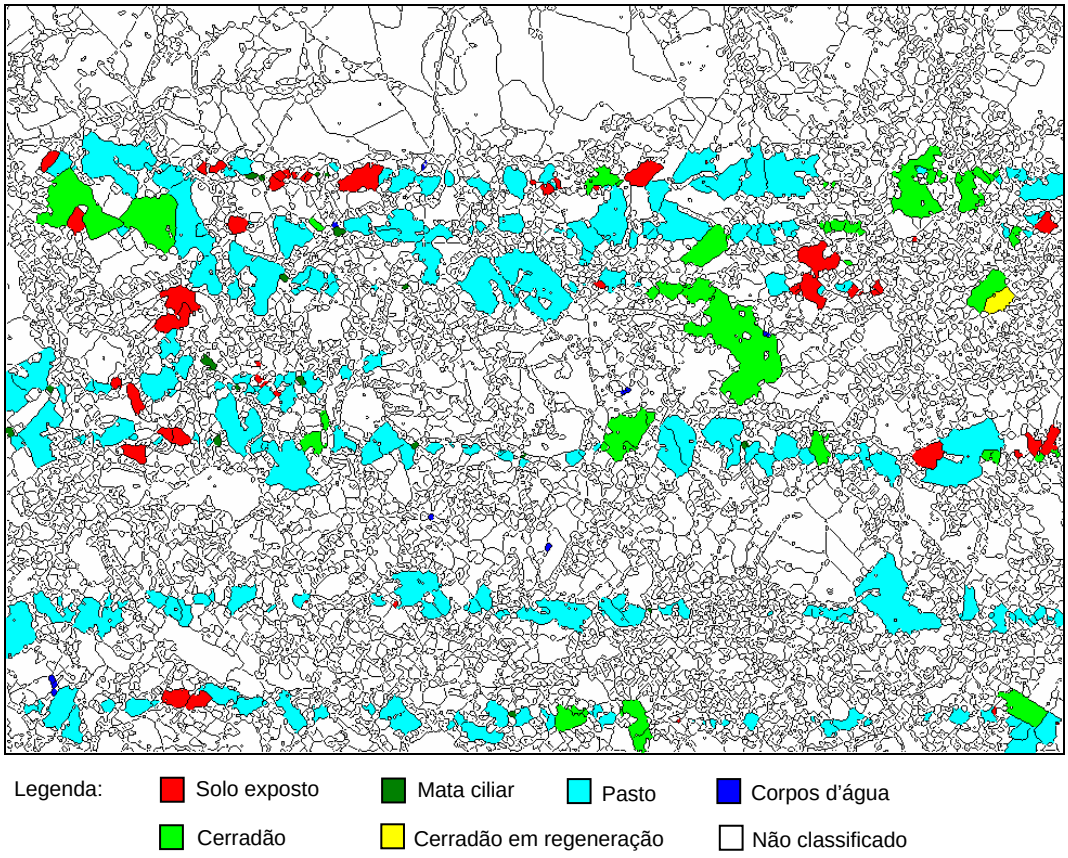

Figura 76 – Resultado para a área 1 em 2001 da classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal ponderado empregando o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

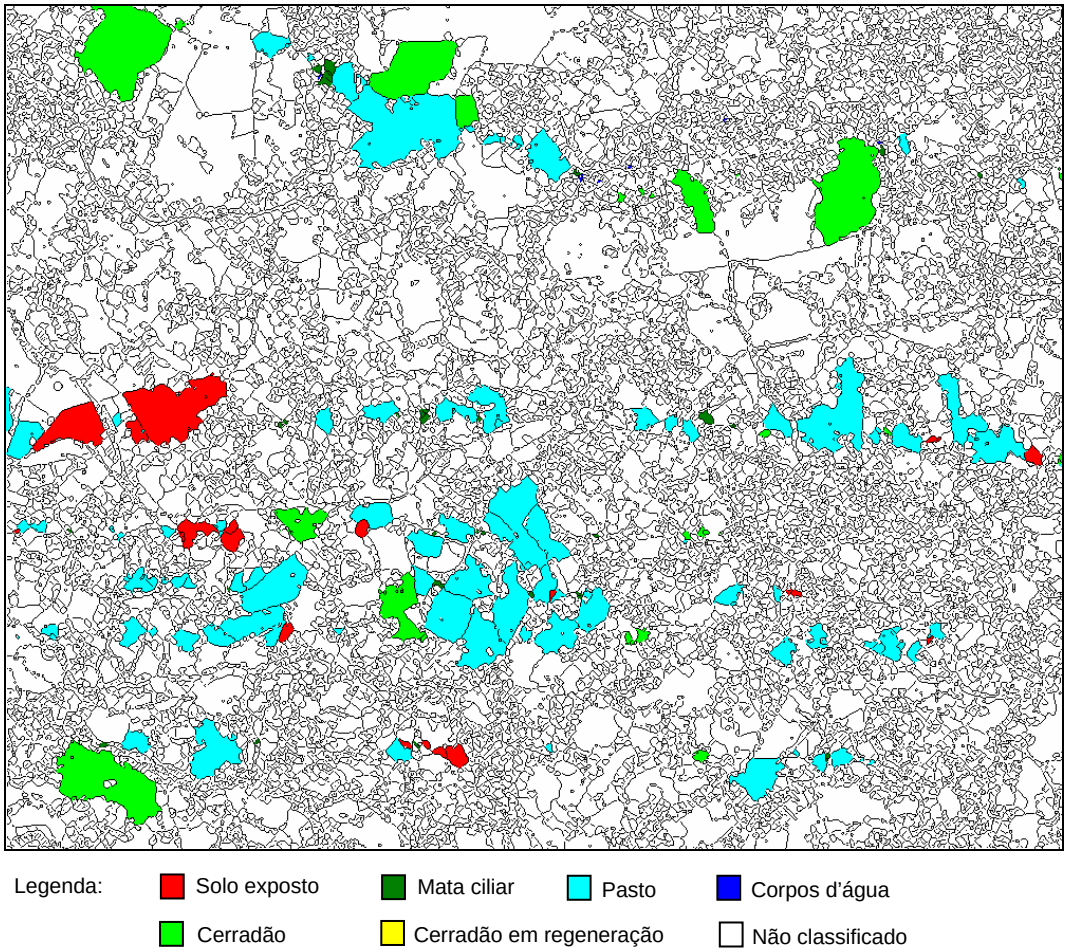

Figura 77 – Resultado para a área 2 em 2000 da classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal ponderado empregando o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

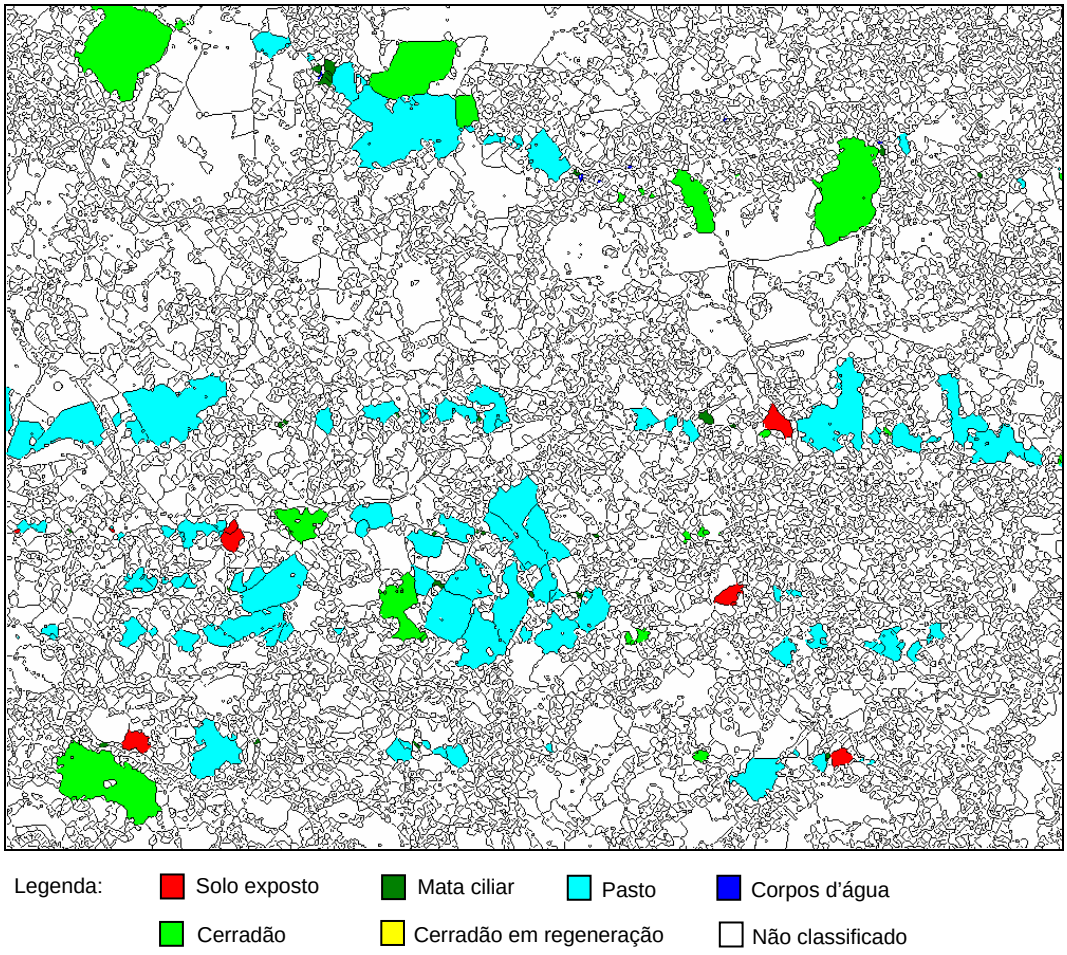

Figura 78 – Resultado para a área 2 em 2001 da classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal ponderado empregando o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

Considerando o conjunto de treinamento produzido de forma automática, a tabela 35 e a tabela 36 apresentam respectivamente a comparação dos resultados produzidos pelo classificador espectral associado ao conhecimento multitemporal ponderado para as imagens de 2000 (intervalo 1999-2000) e 2001 (intervalo 2000-2001) com os dados de referência.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Dados de Referência							
Classificação	**ω_1**	**ω_2**	**ω_3**	**ω_4**	**ω_5**	**ω_6**	**Total da linha**
ω_1	55	0	82	0	0	0	*137*
ω_2	0	61	0	0	0	0	*61*
ω_3	29	1	428	0	5	0	*463*
ω_4	0	0	0	28	0	0	*28*
ω_5	0	0	0	0	127	2	*129*
ω_6	0	0	0	0	0	4	*4*
Total da Coluna	*84*	*62*	*510*	*28*	*132*	*6*	***822***

Taxa de reconhecimento 85,5 %

	Erro de omissão	**Erro de comissão**
ω_1 - Solo exposto	34,5 %	59,8 %
ω_2 - Mata ciliar	1,6 %	0 %
ω_3 - Pasto	16 %	7,5 %
ω_4 - Corpos d'água	0 %	0 %
ω_5 - Cerradão	3,7 %	1,5 %
ω_6 - Cerradão em reg.	33,3 %	0 %

Tabela 35 – Avaliação da classificação da imagem de 2000 empregando a classificação espectral e conhecimento multitemporal ponderado (matriz de confusão, taxa de reconhecimento erros de omissão e comissão) utilizando a seleção automática do conjunto de treinamento intervalo 1999-2000.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Dados de Referência							
Classificação	**ω_1**	**ω_2**	**ω_3**	**ω_4**	**ω_5**	**ω_6**	**Total da linha**
ω_1	33	0	47	0	0	0	*80*
ω_2	0	57	0	0	0	0	*57*
ω_3	28	0	491	0	5	0	*524*
ω_4	0	0	0	28	0	0	*28*
ω_5	0	0	0	0	127	3	*130*
ω_6	0	0	0	0	0	3	*3*
Total da Coluna	*61*	*57*	*538*	*28*	*132*	*6*	***822***

Taxa de reconhecimento 89,9 %

	Erro de omissão	**Erro de comissão**
ω_1 - Solo exposto	45,9 %	58,7 %
ω_2 - Mata ciliar	0 %	0 %
ω_3 - Pasto	8,7 %	6,2 %
ω_4 - Corpos d'água	0 %	0 %
ω_5 - Cerradão	3,7 %	2,3 %
ω_6 - Cerradão em reg.	50 %	0 %

Tabela 36 – Avaliação da classificação da imagem de 2001 empregando a classificação espectral e conhecimento multitemporal ponderado (matriz de confusão, taxa de reconhecimento erros de omissão e comissão) utilizando a seleção automática do conjunto de treinamento intervalo 2000-2001.

As figuras 79 a 82 apresentam para as áreas 1 e 2 em 2000 e 2001 o resultado da classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal ponderado e utilizando o conjunto de treinamento selecionado de forma manual.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

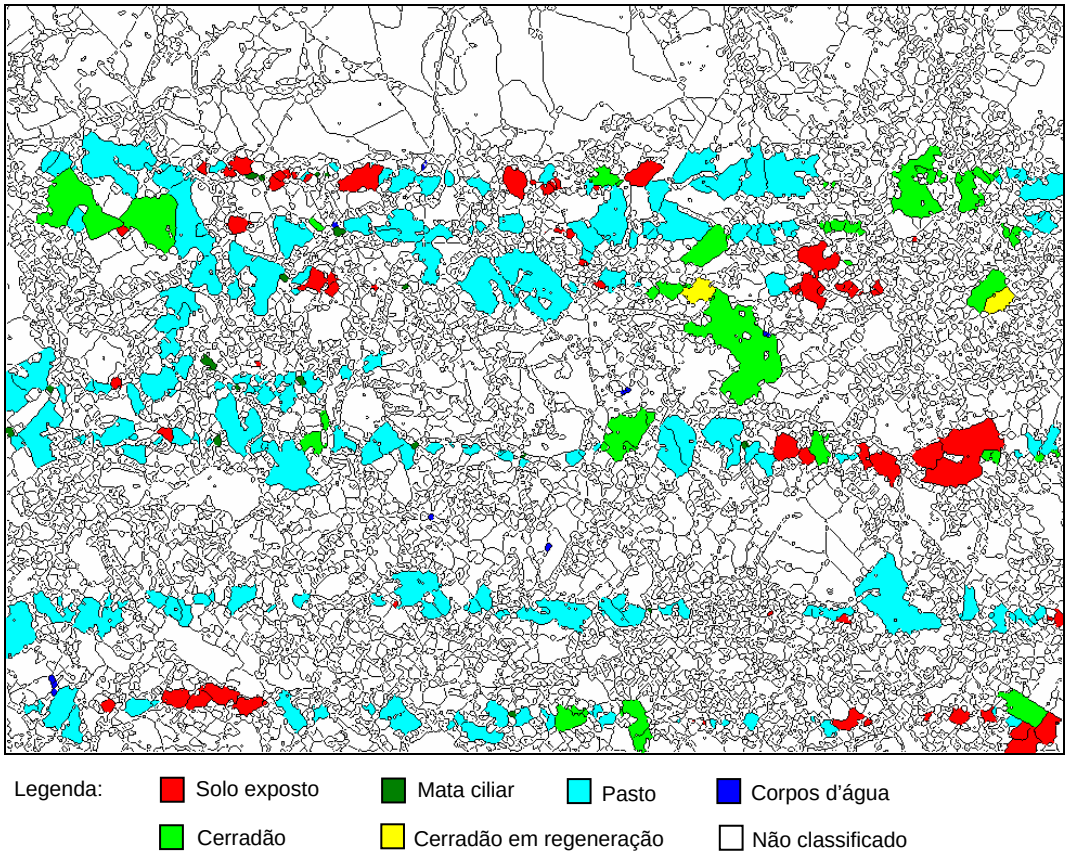

Figura 79 – Resultado para a área 1 em 2000 da classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal ponderado e utilizando o conjunto de treinamento selecionado de forma manual.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

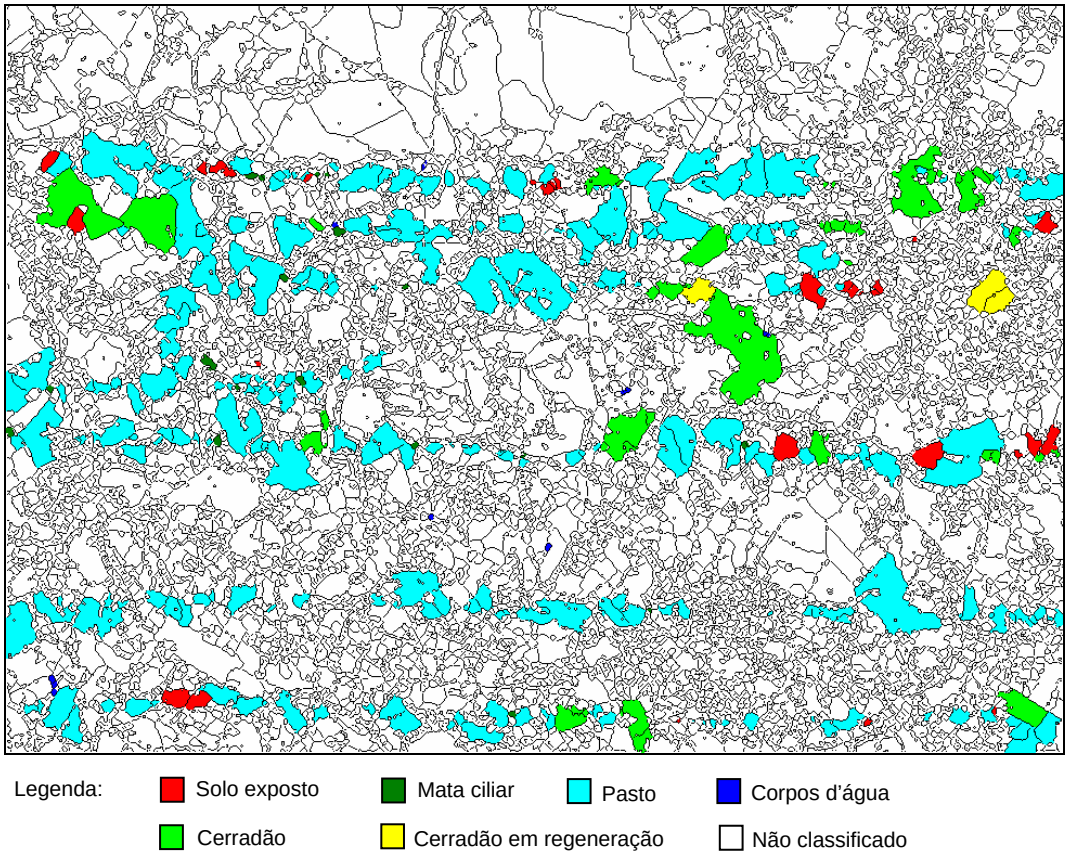

Figura 80 – Resultado para a área 1 em 2001 da classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal ponderado e utilizando o conjunto de treinamento selecionado de forma manual.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

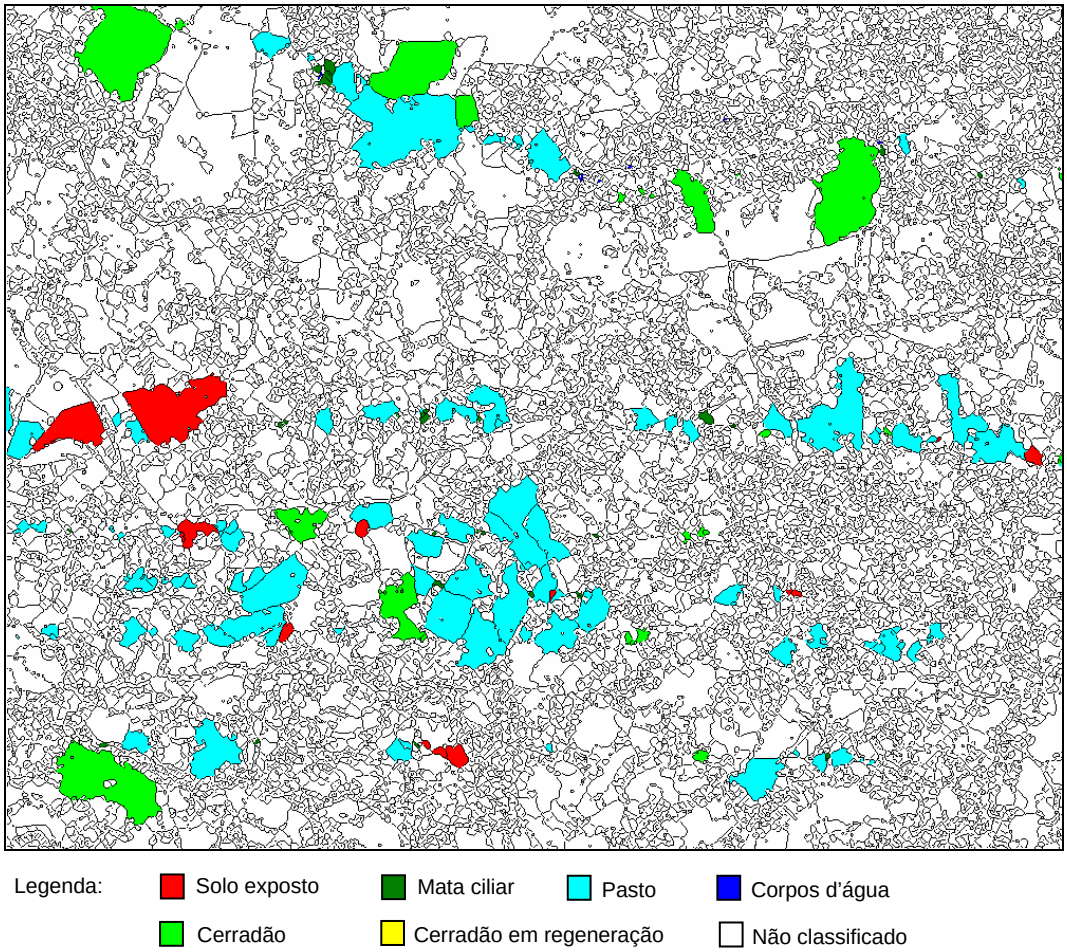

Figura 81 – Resultado para a área 2 em 2000 da classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal ponderado e utilizando o conjunto de treinamento selecionado de forma manual.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

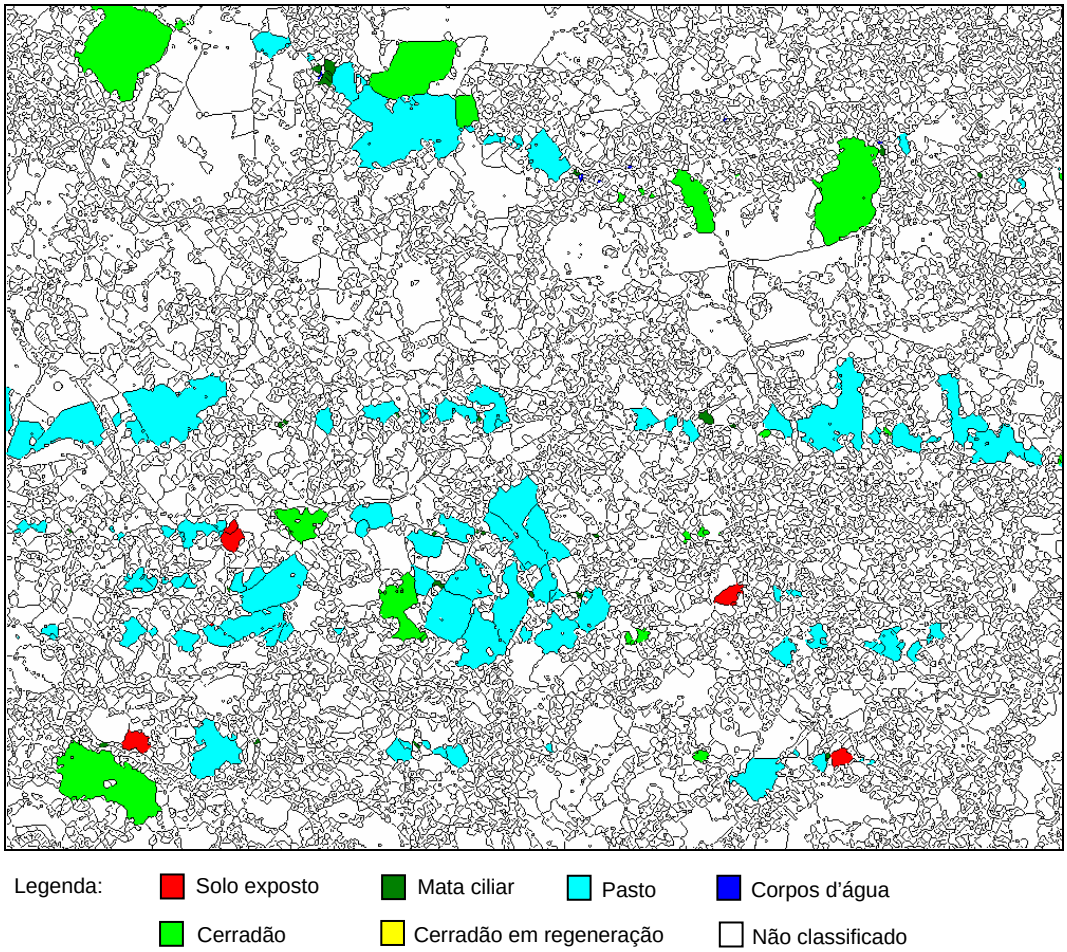

Figura 82 – Resultado para a área 2 em 2001 da classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal ponderado e utilizando o conjunto de treinamento selecionado de forma manual.

Considerando o conjunto de treinamento produzido de forma manual, a tabela 37 e a tabela 38 apresentam respectivamente a comparação dos resultados produzidos pela classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal ponderado para as imagens de 2000 (intervalo 1999-2000) e 2001 (intervalo 2000-2001) com os dados de referência.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Dados de Referência							
Classificação	**ω_1**	**ω_2**	**ω_3**	**ω_4**	**ω_5**	**ω_6**	**Total da linha**
ω_1	49	0	57	0	0	0	*106*
ω_2	0	60	0	0	0	0	*60*
ω_3	35	2	453	0	3	0	*493*
ω_4	0	0	0	28	0	0	*28*
ω_5	0	0	0	0	129	2	*131*
ω_6	0	0	0	0	0	4	*4*
Total da Coluna	*84*	*62*	*510*	*28*	*132*	*6*	***822***

Taxa de reconhecimento 87,9 %

	Erro de omissão	**Erro de comissão**
ω_1 - Solo exposto	41,6 %	53,7 %
ω_2 - Mata ciliar	3,2 %	0 %
ω_3 - Pasto	11,1 %	8,1 %
ω_4 - Corpos d'água	0 %	0 %
ω_5 - Cerradão	2,2 %	1,5 %
ω_6 - Cerradão em reg.	33,3 %	0 %

Tabela 37 – Avaliação da classificação da imagem de 2000 empregando conhecimento espectral, contextual e multitemporal ponderado (matriz de confusão, taxa de reconhecimento erros de omissão e comissão) utilizando a seleção manual do conjunto de treinamento intervalo 1999-2000.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Dados de Referência							
Classificação	**ω_1**	**ω_2**	**ω_3**	**ω_4**	**ω_5**	**ω_6**	**Total da linha**
ω_1	28	0	21	0	0	0	*49*
ω_2	0	56	0	0	0	0	*56*
ω_3	33	1	517	0	7	0	*558*
ω_4	0	0	0	28	0	0	*28*
ω_5	0	0	0	0	125	1	*126*
ω_6	0	0	0	0	0	5	*5*
Total da Coluna	*61*	*57*	*538*	*28*	*132*	*6*	***822***

Taxa de reconhecimento 92,3 %

	Erro de omissão	**Erro de comissão**
ω_1 - Solo exposto	54 %	42,8 %
ω_2 - Mata ciliar	1,7 %	0 %
ω_3 - Pasto	3,9 %	7,3 %
ω_4 - Corpos d'água	0 %	0 %
ω_5 - Cerradão	5,3 %	0,79 %
ω_6 - Cerradão em reg.	16,6 %	0 %

Tabela 38 – Avaliação da classificação da imagem de 2001 empregando conhecimento espectral, contextual e multitemporal ponderado (matriz de confusão, taxa de reconhecimento erros de omissão e comissão) utilizando a seleção manual do conjunto de treinamento intervalo 2000-2001.

As figuras 83 a 86 apresentam para as áreas 1 e 2 em 2000 e 2001 o resultado da classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal ponderado e utilizando o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

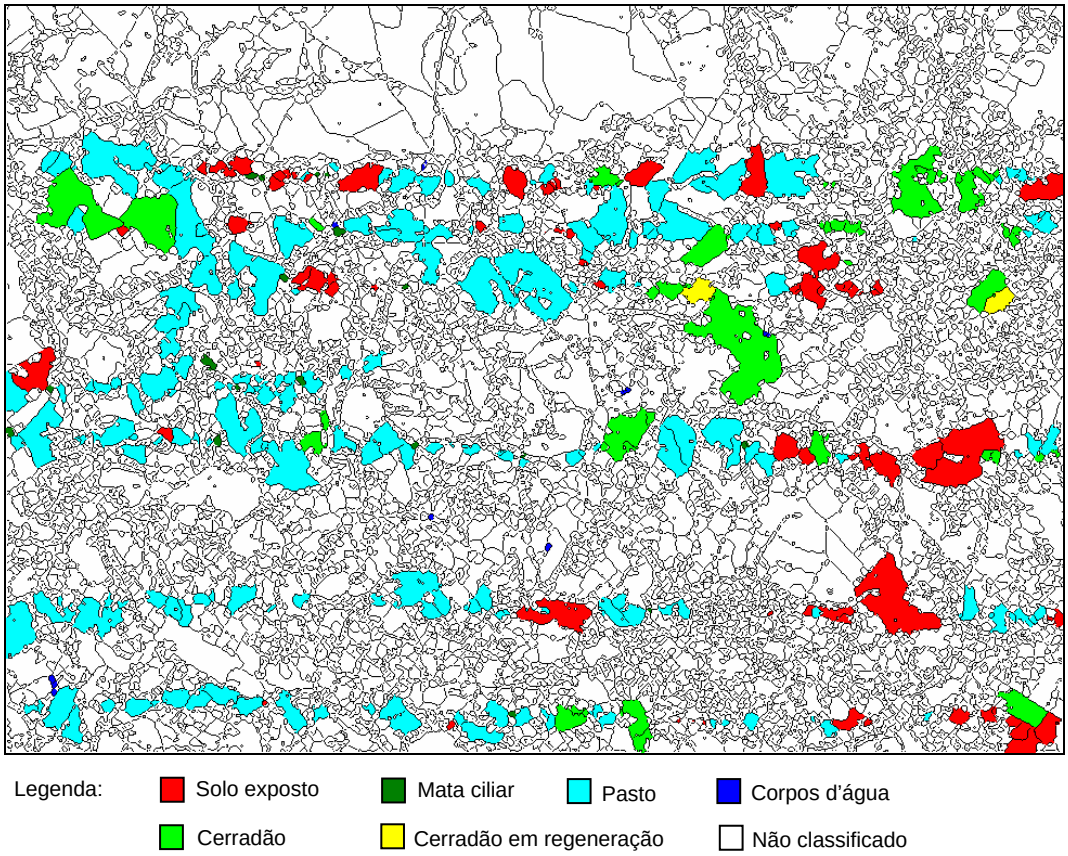

Figura 83 – Resultado para a área 1 em 2000 da classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal ponderado e utilizando o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

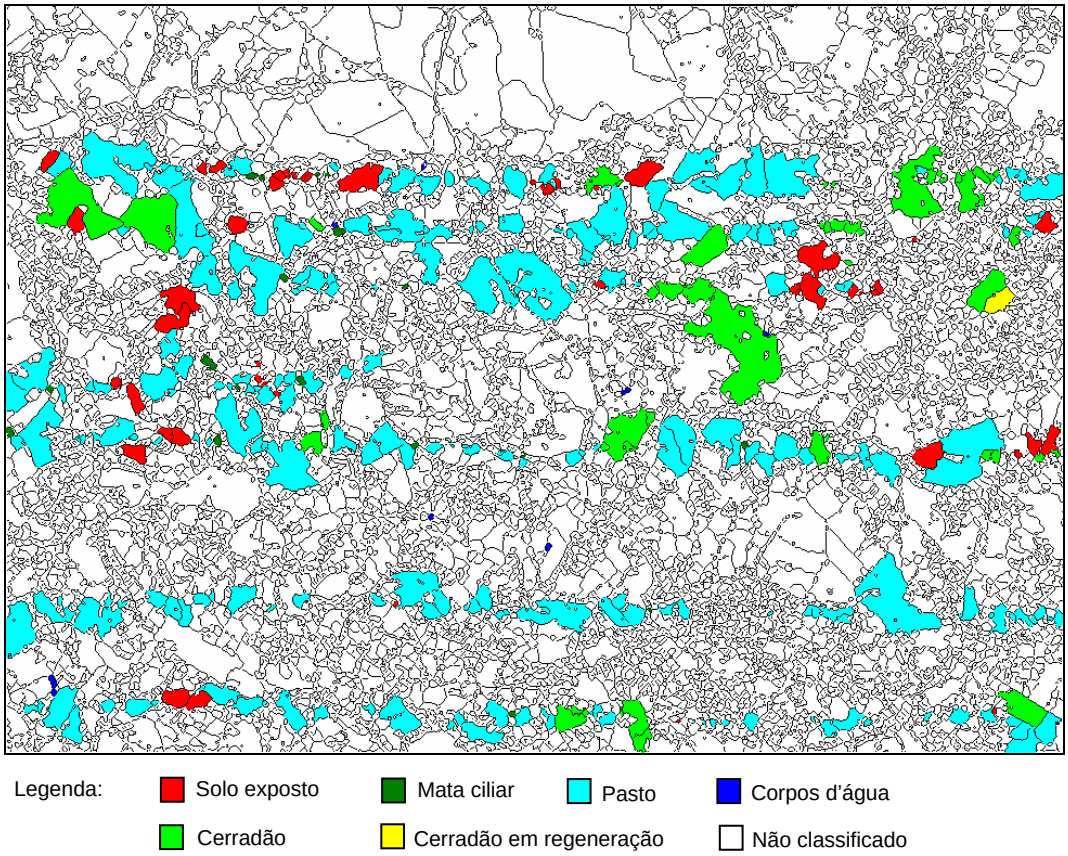

Figura 84 – Resultado para a área 1 em 2001 da classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal ponderado e utilizando o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

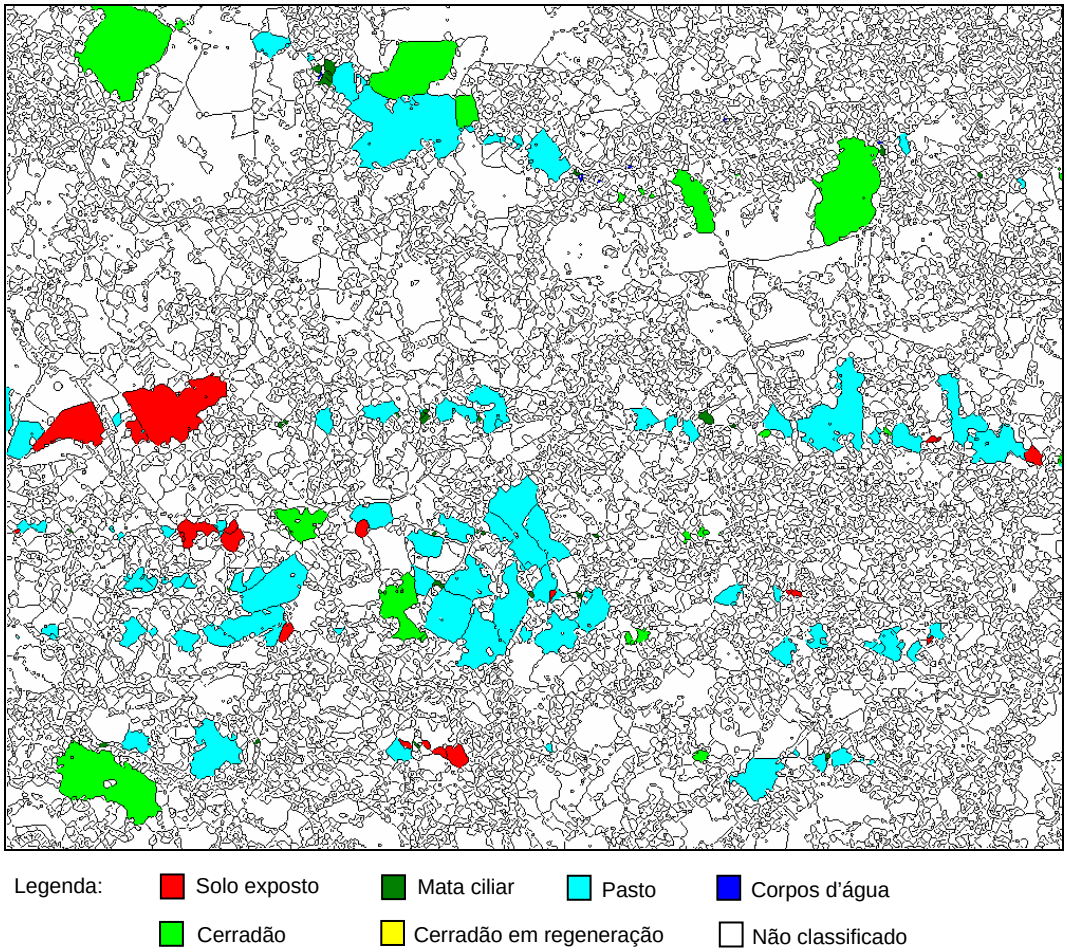

Figura 85 – Resultado para a área 2 em 2000 da classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal ponderado e utilizando o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

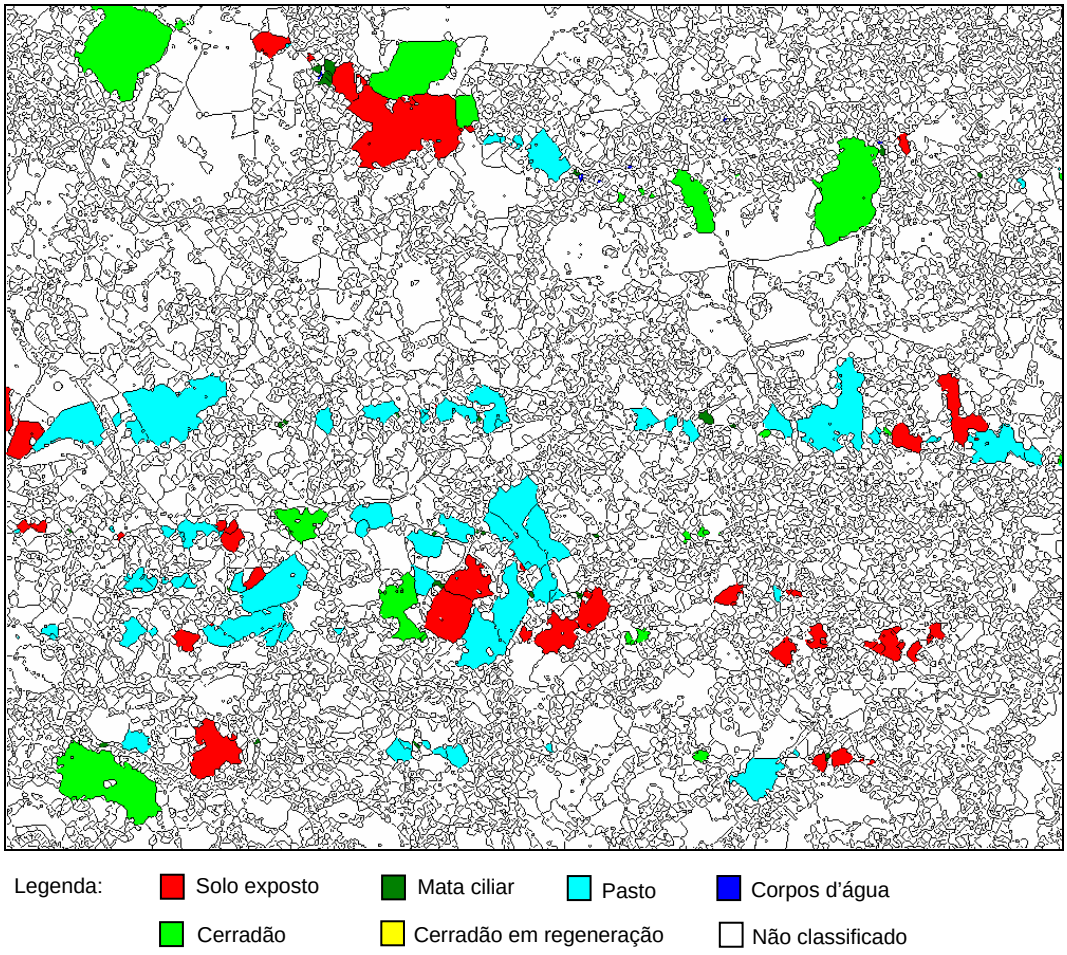

Figura 86 – Resultado para a área 2 em 2001 da classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal ponderado e utilizando o conjunto de treinamento produzido pelo método de seleção automática.

Considerando o conjunto de treinamento produzido de forma automática, a tabela 39 e a tabela 40 apresentam respectivamente a comparação dos resultados produzidos pelo classificador empregando conhecimento espectral, contextual e multitemporal ponderado para as imagens de 2000 (intervalo 1999-2000) e 2001 (intervalo 2000-2001) com os dados de referência.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Dados de Referência							
Classificação	**ω_1**	**ω_2**	**ω_3**	**ω_4**	**ω_5**	**ω_6**	**Total da linha**
ω_1	55	0	82	0	0	0	*137*
ω_2	0	60	0	0	0	0	*60*
ω_3	29	2	428	0	3	0	*462*
ω_4	0	0	0	28	0	0	*28*
ω_5	0	0	0	0	129	2	*131*
ω_6	0	0	0	0	0	4	*4*
Total da Coluna	*84*	*62*	*510*	*28*	*132*	*6*	***822***

Taxa de reconhecimento 85,6%

	Erro de omissão	**Erro de comissão**
ω_1 - Solo exposto	34,5 %	59,8 %
ω_2 - Mata ciliar	3,2 %	0 %
ω_3 - Pasto	16 %	7,3 %
ω_4 - Corpos d'água	0 %	0 %
ω_5 - Cerradão	2,2 %	1,5 %
ω_6 - Cerradão em reg.	33,3 %	0 %

Tabela 39 – Avaliação da classificação da imagem de 2000 empregando conhecimento espectral, contextual e multitemporal ponderado (matriz de confusão, taxa de reconhecimento erros de omissão e comissão) utilizando a seleção automática do conjunto de treinamento intervalo 1999-2000.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Dados de Referência							
Classificação	**ω_1**	**ω_2**	**ω_3**	**ω_4**	**ω_5**	**ω_6**	**Total da linha**
ω_1	33	0	47	0	0	0	*80*
ω_2	0	56	0	0	0	0	*56*
ω_3	28	1	491	0	4	0	*524*
ω_4	0	0	0	28	0	0	*28*
ω_5	0	0	0	0	128	3	*131*
ω_6	0	0	0	0	0	3	*3*
Total da Coluna	*61*	*57*	*538*	*28*	*132*	*6*	***822***

Taxa de reconhecimento 89,9%

	Erro de omissão	**Erro de comissão**
ω_1 - Solo exposto	45,9 %	58,7 %
ω_2 - Mata ciliar	1,75 %	0 %
ω_3 - Pasto	8,7 %	6,2 %
ω_4 - Corpos d'água	0 %	0 %
ω_5 - Cerradão	3 %	2,29 %
ω_6 - Cerradão em reg.	50 %	0 %

Tabela 40 – Avaliação da classificação da imagem de 2001 empregando conhecimento espectral, contextual e multitemporal ponderado (matriz de confusão, taxa de reconhecimento erros de omissão e comissão) utilizando a seleção automática do conjunto de treinamento intervalo 2000-2001.

A fim de avaliar a contribuição do conhecimento multitemporal ponderado, são comparados os seguintes resultados:

- classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário;
- classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal ponderado; e
- classificação considerando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal ponderado.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

A figura 87 e a figura 88 apresentam a comparação das taxas de reconhecimento, para a seleção manual e automática do conjunto de treinamento e as imagens de 2000 e 2001, produzidas pelos experimentos anteriormente mencionados.

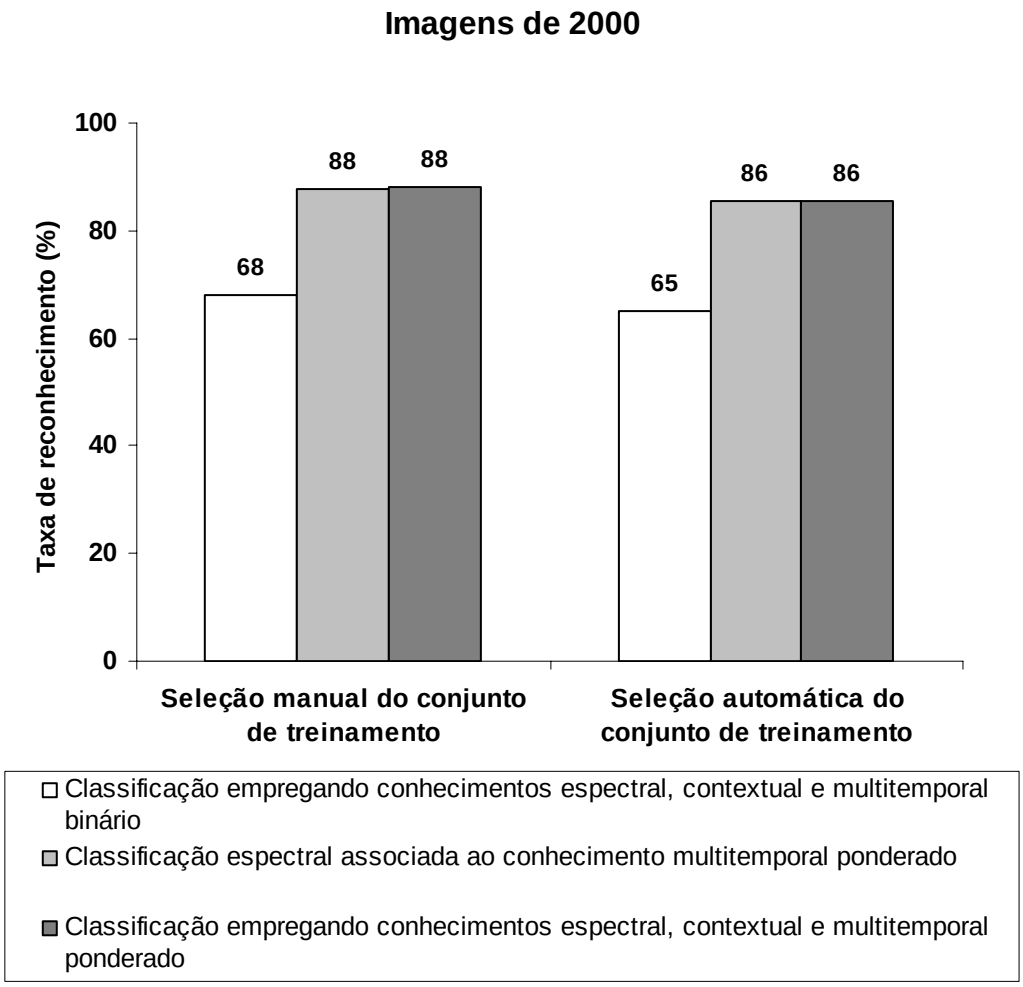

Figura 87 – Taxa de reconhecimento, para a imagem de 2000 empregando os conjuntos de treinamento produzidos de forma manual e automática, possibilitada pela classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário, pela classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal ponderado e pela classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal ponderado.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

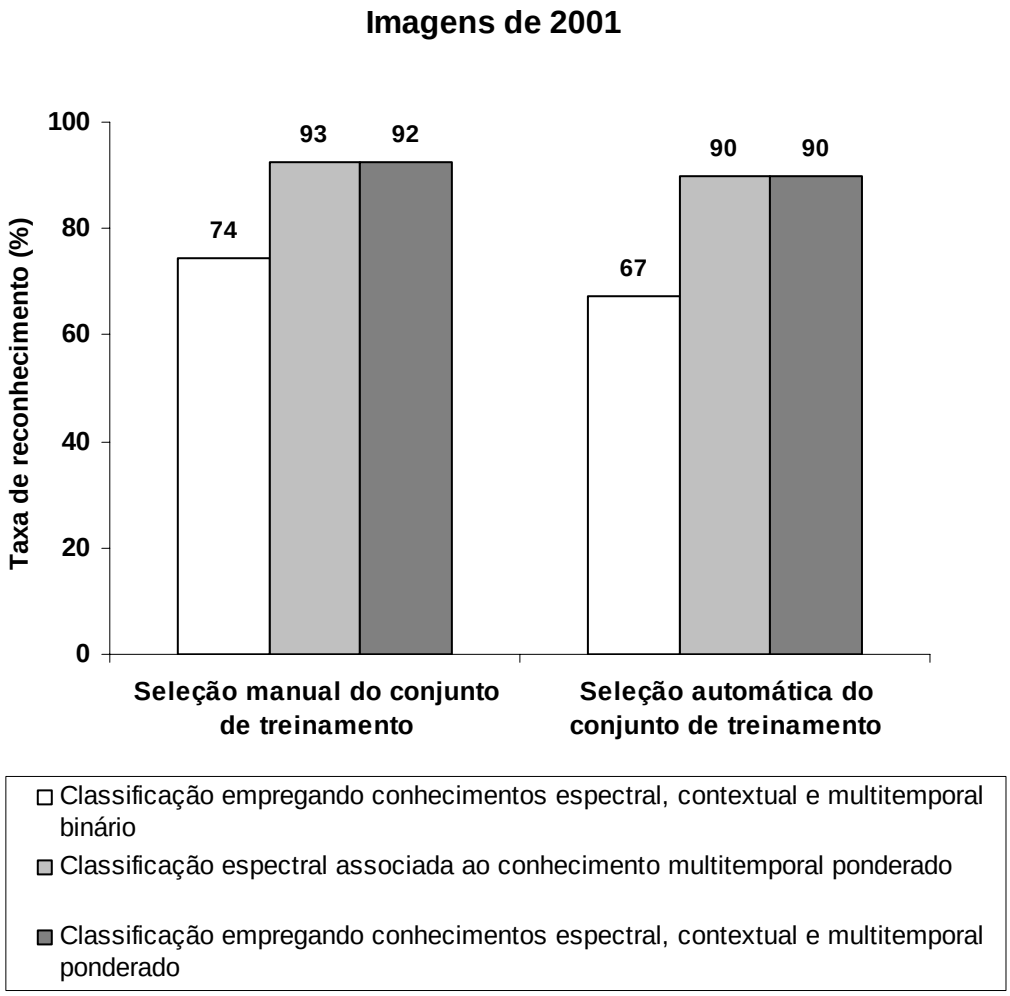

Figura 88 – Taxa de reconhecimento, para a imagem de 2001 empregando os conjuntos de treinamento produzidos de forma manual e automática, possibilitada pela classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário, pela classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal ponderado e pela classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal ponderado.

Pode ser observado nas figuras anteriores que a agregação do conhecimento multitemporal ponderado possibilitou taxas de reconhecimento superiores àquelas obtidas com a agregação do conhecimento multitemporal binário.

A fim de verificar o resultado por classe, a figura 89 e a figura 90 apresentam as taxas de reconhecimento classe a classe, para as imagens de 2000 e 2001 empregando seleção manual e automática do conjunto de treinamento, produzidas pelos mesmos experimentos anteriormente mencionados.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

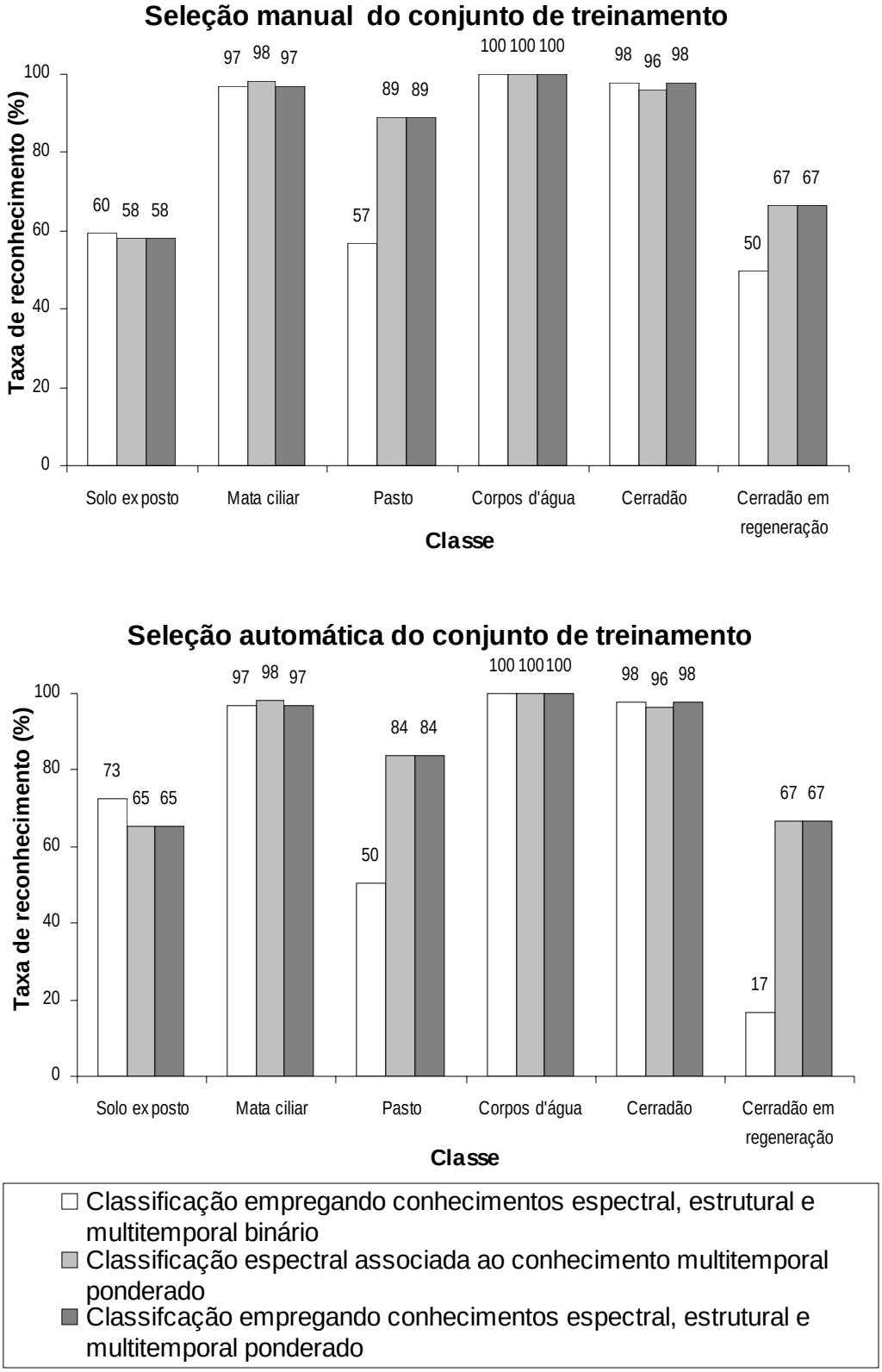

Figura 89 – Taxa de reconhecimento classe a classe, para a imagem de 2000, possibilitada pela classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário, pela classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal ponderado e pela classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal ponderado.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

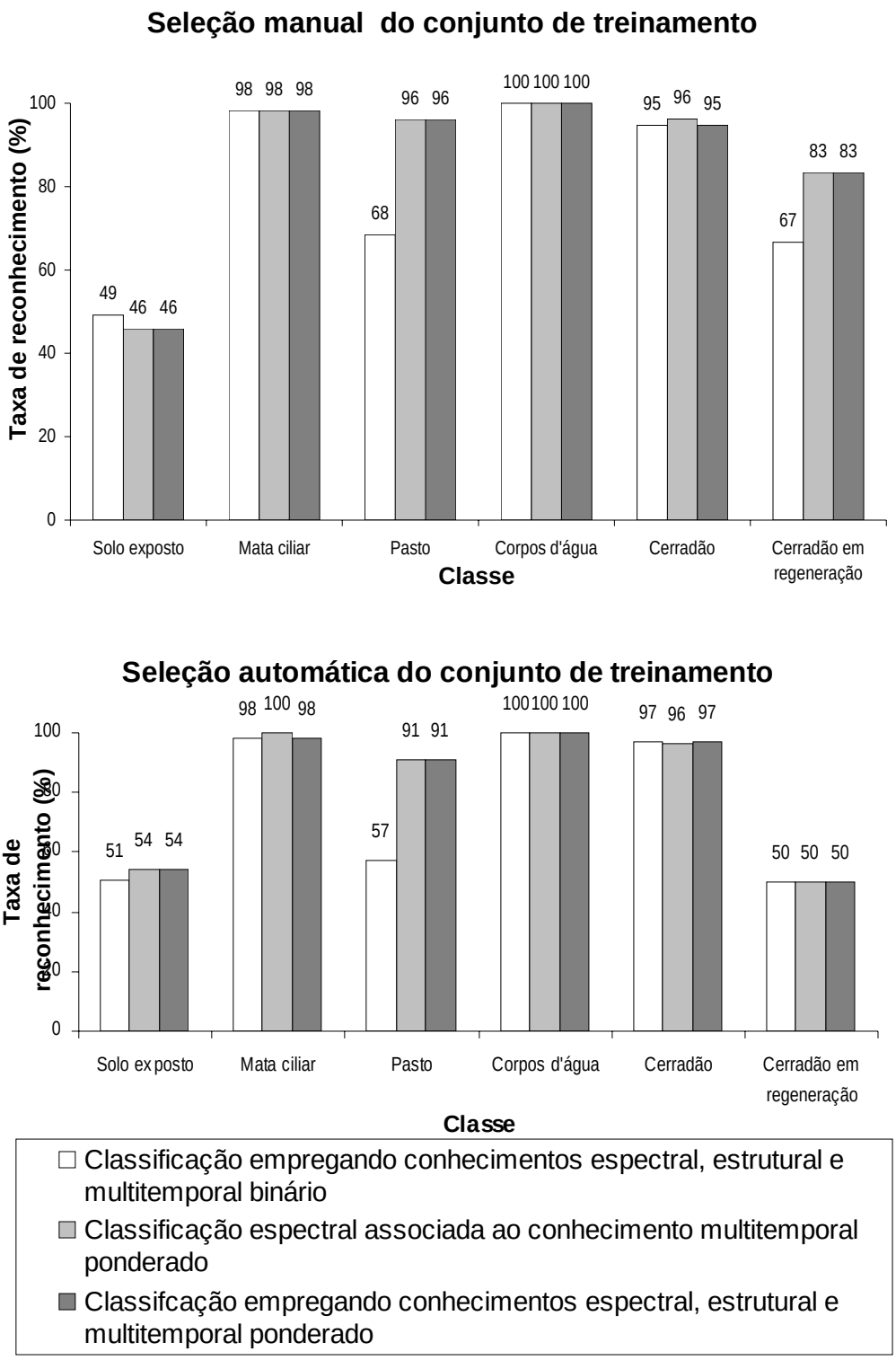

Figura 90 – Taxa de reconhecimento classe a classe, para a imagem de 2001 possibilitada pela classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário, pela classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal ponderado e pela classificação empregando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal ponderado

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

Observando o resultado classe por classe, pode ser concluído que para as classes mata ciliar, corpos d'água e cerradão as taxas de reconhecimento produzidas agregando o conhecimento multitemporal binário foram equivalentes às taxas de reconhecimento produzidas agregando o conhecimento multitemporal ponderado. Entretanto, é preciso mencionar que, para estas classes, o conhecimento multitemporal binário já havia proporcionado taxas de reconhecimento ao menos próximas de 100 %.

Para a classe solo exposto, a taxa de reconhecimento com a agregação do conhecimento multitemporal ponderado permaneceu muito baixa. Este resultado foi equivalente àquele obtido sem o uso desta modalidade de conhecimento. Com o conjunto de treinamento produzido de forma manual e para o conjunto de treinamento produzido de forma automática para imagem de 2000, a taxa de classificação chegou a ser inferior à produzida com o uso do conhecimento multitemporal binário. Neste momento deve ser mencionado que o fraco desempenho para a classe solo exposto poderia ser melhorado pela inclusão de novos itens de conhecimento ou pelo uso de imagens de alta resolução.

Para a classe cerradão em regeneração, os resultados produzidos com o uso do conjunto de treinamento selecionado pelo processo manual e com o uso do conjunto de treinamento selecionado de forma automática para a imagem de 2000, com a agregação do conhecimento multitemporal ponderado foram superiores aos proporcionados pela agregação do conhecimento multitemporal binário.

No caso específico da classe pasto, houve aumento muito significativo da taxa de reconhecimento com agregação do conhecimento multitemporal ponderado, em relação ao resultado produzido com a agregação do conhecimento multitemporal binário. Lembrando que a classe pasto é classe mais presente nas imagens, mais de 50 % dos segmentos presentes nas imagens de teste pertencem a esta classe, pode ser compreendido o significativo aumento da taxa de reconhecimento global com a agregação do conhecimento multitemporal ponderado.

De uma forma geral, estes experimentos indicam que é possível a obtenção de resultados mais apurados com o conhecimento multitemporal ponderado do que ocorria com a utilização do conhecimento multitemporal binário.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

6.4.5.
Avaliação final dos resultados

A fim de permitir a comparação do desempenho do modelo proposto com as diversas modalidades de conhecimento empregadas, a figura 91 e a figura 92 apresentam as taxas de reconhecimento produzidas nos experimentos anteriormente apresentados.

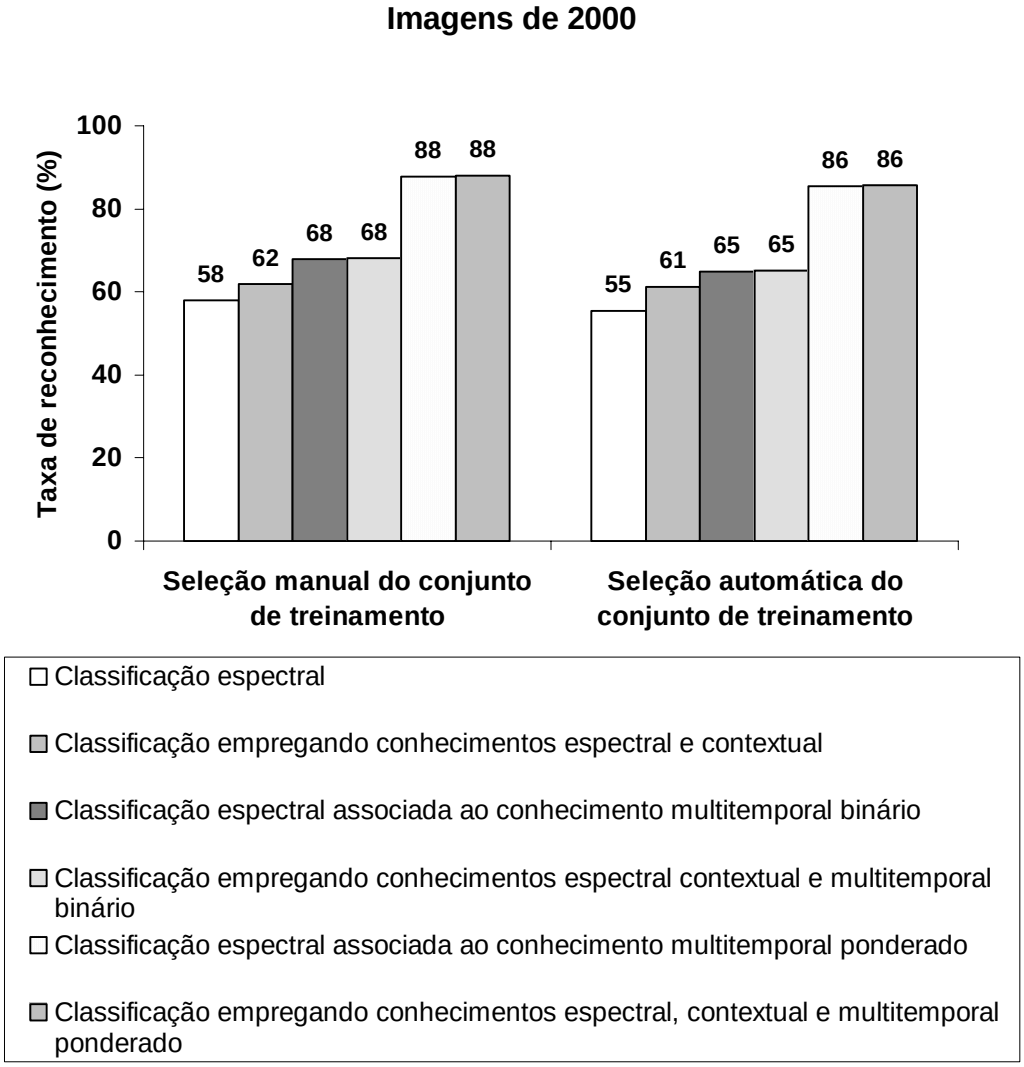

Figura 91 – Taxa de reconhecimento, para a imagem de 2000 com os conjuntos de treinamento produzidos de forma manual e automática, fornecida pela classificação espectral, classificação empregando os conhecimentos espectral e contextual, classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal binário, classificação considerando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário, classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal ponderado, classificação considerando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal ponderado.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

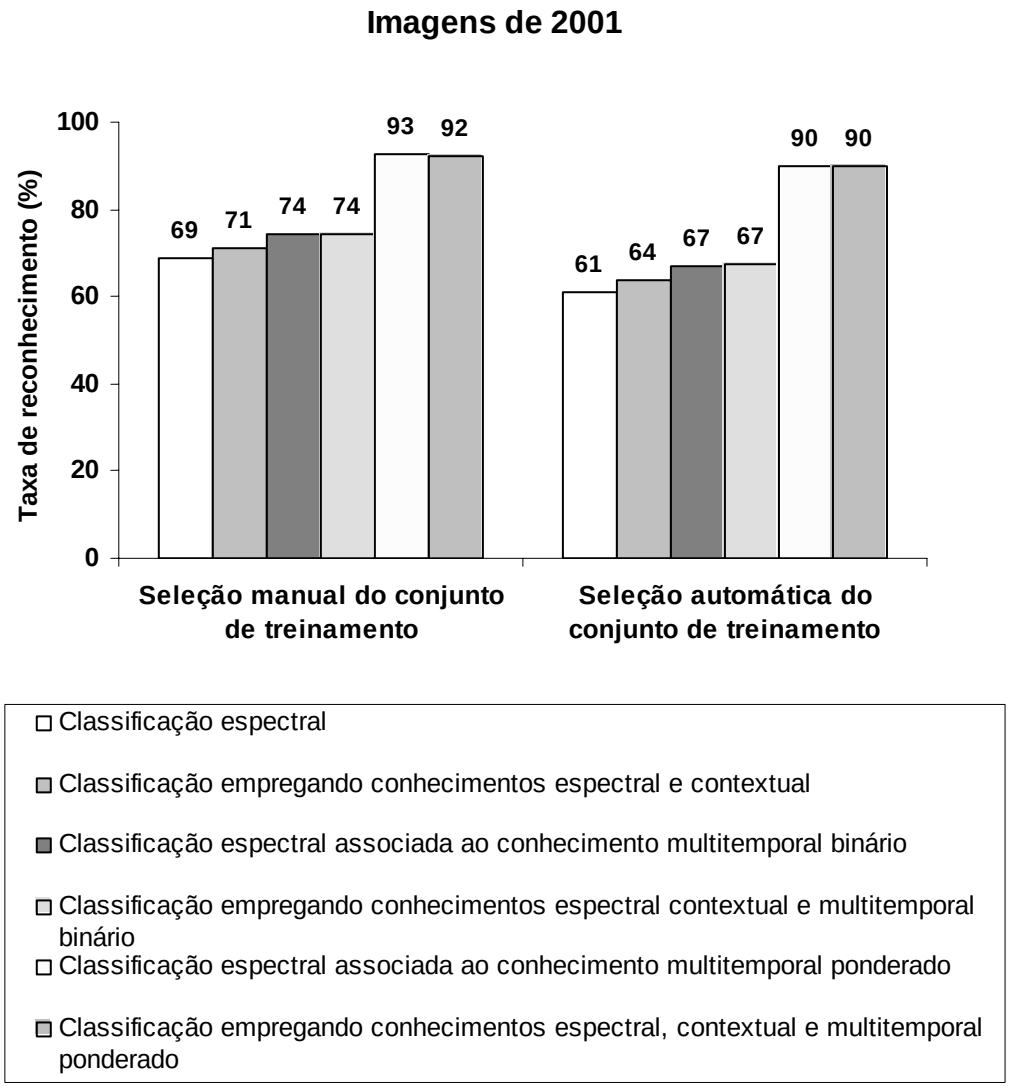

Figura 92 – Taxa de reconhecimento, para a imagem de 2001 com os conjuntos de treinamento produzidos de forma manual e automática, fornecida pela classificação espectral, classificação empregando os conhecimentos espectral e contextual, classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal binário, classificação considerando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário, classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal ponderado, classificação considerando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal ponderado.

Considerando os resultados apresentados na figura 91 e na figura 92, pode ser notado que os resultados com o uso do conhecimento foram sempre superiores aos resultados fornecidos pela classificação espectral. Também pode ser observado que o incremento da taxa de reconhecimento possibilitado pela inclusão do conhecimento multitemporal ponderado foi superior àqueles possibilitados pelas demais modalidades de conhecimento. Além disso,

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

especificamente no caso estudado, a melhoria na taxa de reconhecimento possibilitada pelo conhecimento contextual foi pequena. Entretanto, o impacto de cada uma das diversas formas de conhecimento pode variar sensivelmente de um problema para outro.

Um outro dado importante a ser comentado, é que tanto na imagem de 2000, quanto na imagem de 2001 predominam segmentos da classe pasto. Portanto, a taxa de reconhecimento global é fortemente influenciada pela taxa de reconhecimento desta classe.

Comparando as taxas de reconhecimento produzidas por ambos conjuntos de treinamento, sobretudo pela classificação espectral e pela classificação considerando conhecimento espectral, contextual e multitemporal ponderado, pode ser afirmado que com o uso simultâneo destas modalidades de conhecimento, as taxas de reconhecimento para ambos conjuntos de treinamento são mais próximas do que com a mera classificação espectral. Este resultado reforça a importância do conhecimento no desempenho do procedimento de classificação.

As figuras 93 a 96 apresentam as taxa de reconhecimento classe a classe produzidas pelos experimentos anteriormente apresentados.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

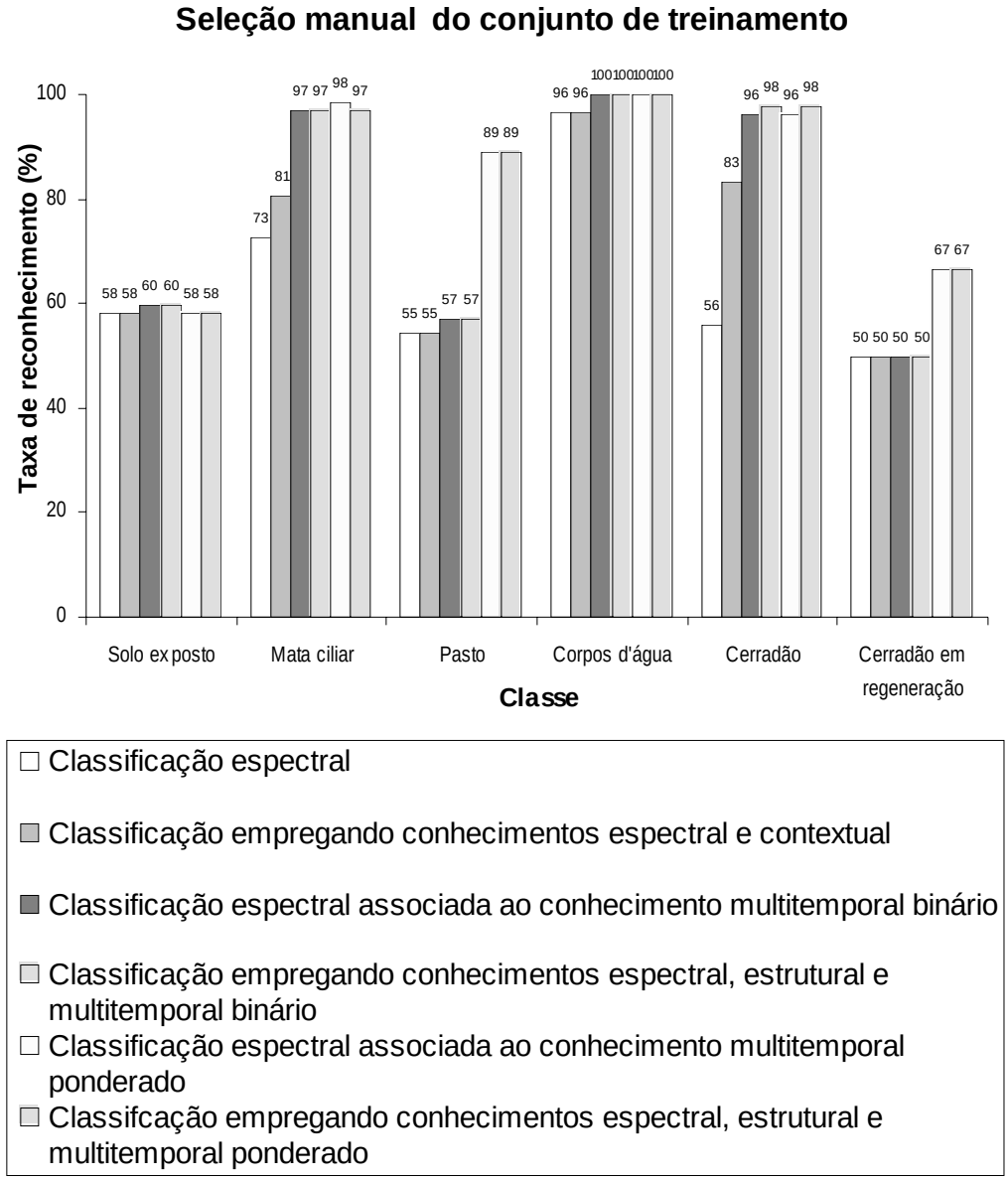

Figura 93 – Taxa de reconhecimento classe a classe, para a imagem de 2000 com o conjunto de treinamento selecionado de forma manual, produzida pela classificação espectral; classificação empregando os conhecimentos espectral e contextual; classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal binário; classificação considerando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário; classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal ponderado; classificação considerando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal ponderado.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

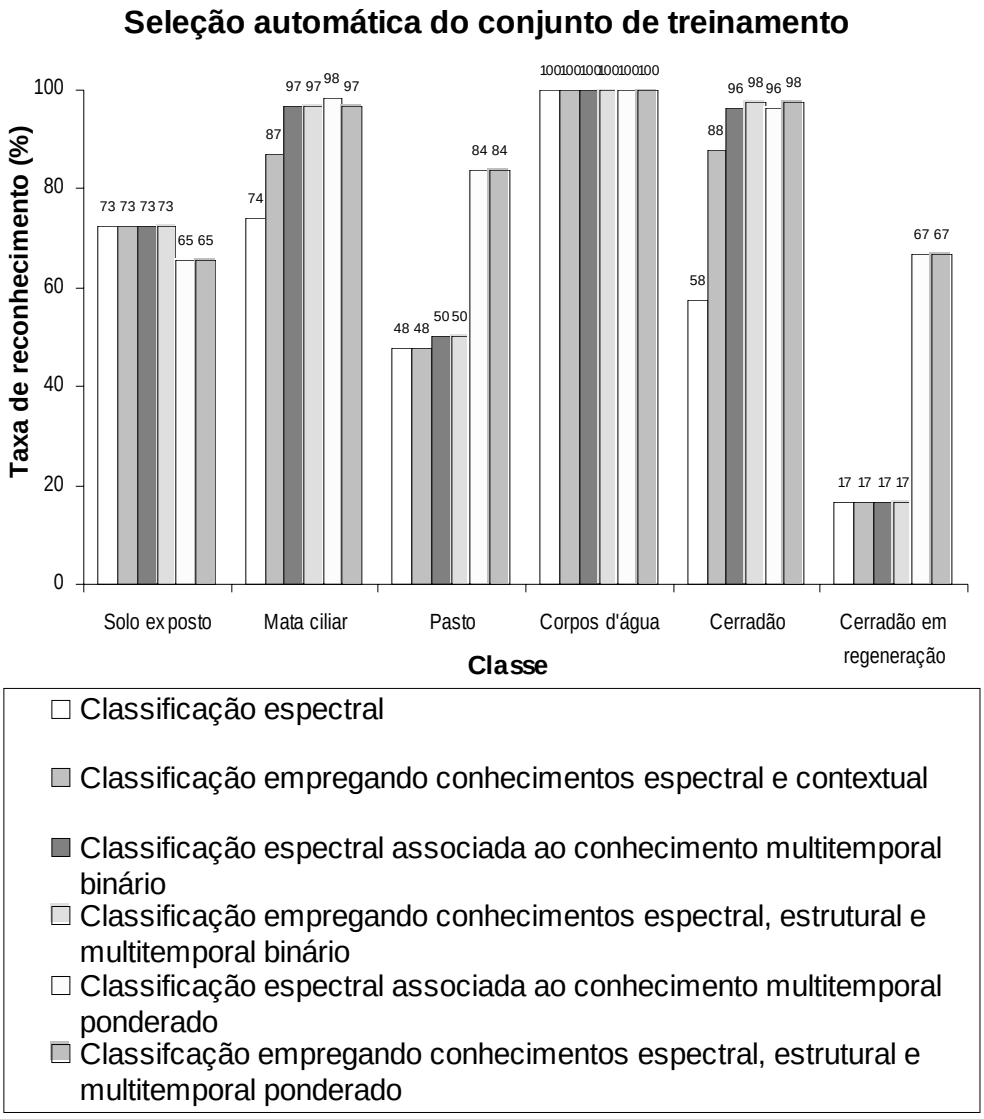

Figura 94 – Taxa de reconhecimento classe a classe, para a imagem de 2000 com o conjunto de treinamento selecionado de forma automática, produzida pela classificação espectral; classificação empregando os conhecimentos espectral e contextual; classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal binário; classificação considerando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário; classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal ponderado; classificação considerando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal ponderado.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

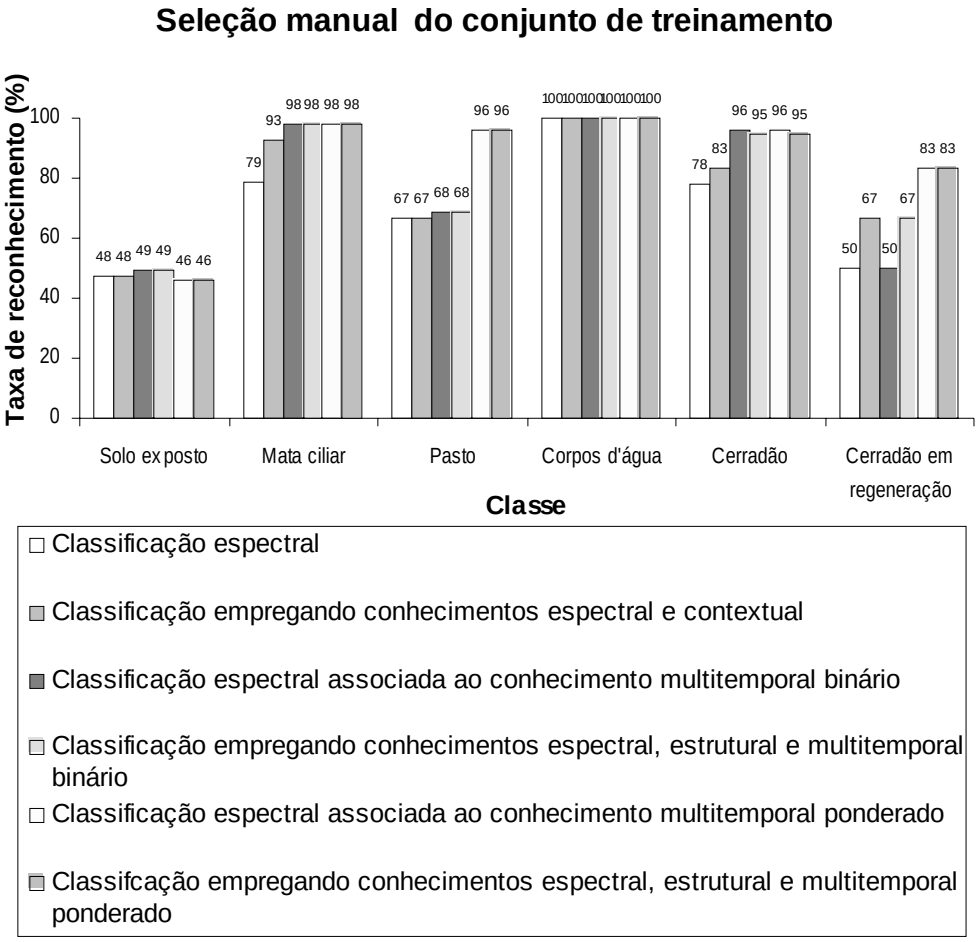

Figura 95 – Taxa de reconhecimento classe a classe, para a imagem de 2001 com o conjunto de treinamento selecionado de forma manual, produzida pela classificação espectral; classificação empregando os conhecimentos espectral e contextual; classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal binário; classificação considerando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário; classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal ponderado; classificação considerando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal ponderado.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

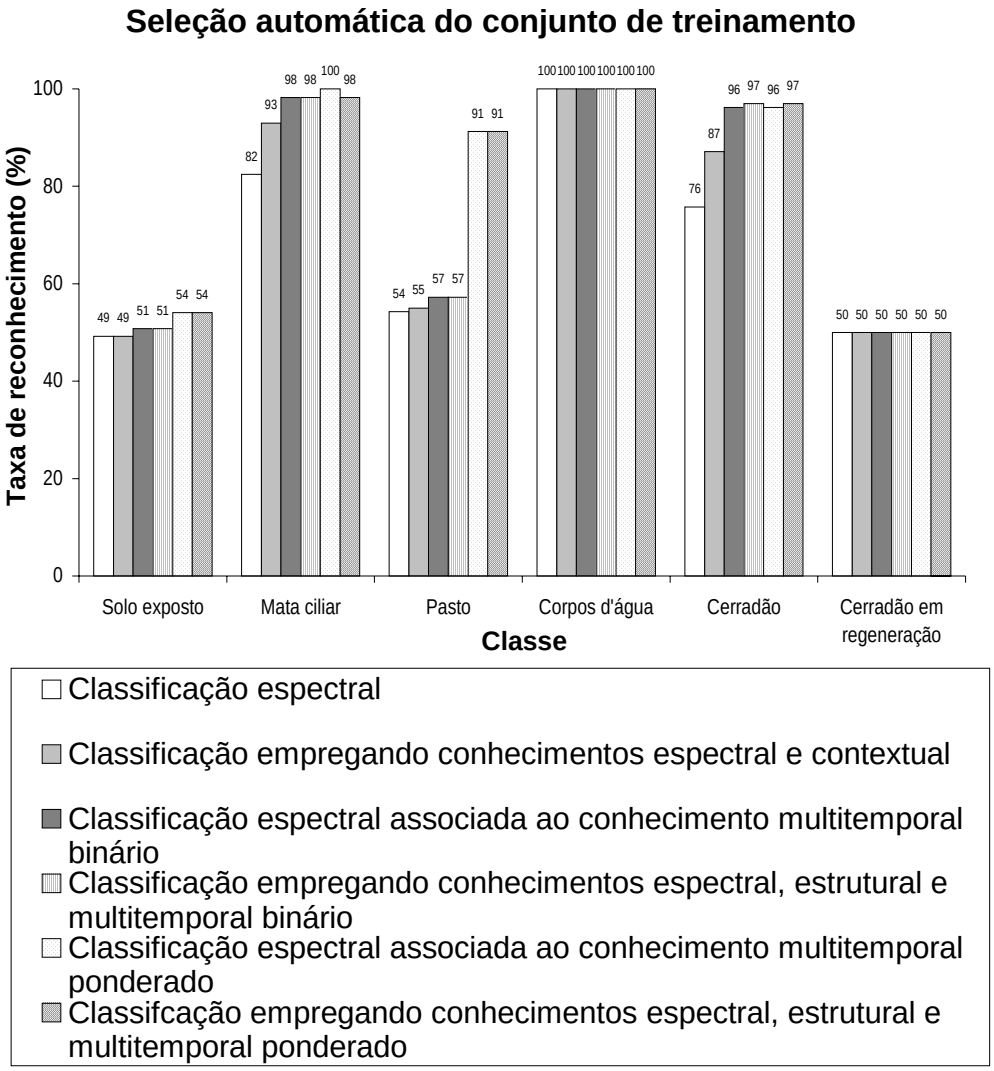

Figura 96 – Taxa de reconhecimento classe a classe, para a imagem de 2001 com o conjunto de treinamento selecionado de forma automática, produzida pela classificação espectral; classificação empregando os conhecimentos espectral e contextual; classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal binário; classificação considerando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal binário; classificação espectral associada ao conhecimento multitemporal ponderado; classificação considerando conhecimentos espectral, contextual e multitemporal ponderado..

No presente momento, a influência das diversas modalidades de conhecimento empregadas será analisada com base nos resultados classe a classe apresentados nas figuras 93 a 96. Para a classe solo exposto, a taxa de reconhecimento permaneceu muito baixa em todos os experimentos. Portanto os itens e modalidades de conhecimento empregados não melhororaram a taxa de classificação desta classe. Deve ser mencionado que o desempenho para a classe

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA

solo exposto poderia ser melhorado pela inclusão de novos itens de conhecimento ou, talvez, pelo uso de imagens de alta resolução.

Para as classes mata ciliar e cerradão, a agregação dos conhecimentos contextual e multitemporal binário proporcionaram um incremento significativo da taxa de reconhecimento em relação à classificação espectral. Um outro dado importante é que as taxas de reconhecimento produzidas agregando o conhecimento multitemporal binário foram equivalentes às taxas de reconhecimento produzidas agregando o conhecimento multitemporal ponderado. Para estas classes, o uso do conhecimento multitemporal binário já havia proporcionado taxas de reconhecimento ao menos próximas de 100 %.

No caso da classe pasto, houve aumento muito significativo da taxa de reconhecimento com agregação do conhecimento multitemporal ponderado, em relação ao resultado produzido com a agregação do conhecimento multitemporal binário. Por ser esta a classe mais presente nas imagens usadas na validação da metodologia proposta, houve significativo aumento da taxa de reconhecimento global com a agregação do conhecimento multitemporal ponderado.

Para a classe corpos d’água, a classificação espectral foi capaz de reconhecê-la apropriadamente, tendo sido atingidas taxas de reconhecimento superiores a 96 %. A razão para este fato pode ser atribuída ao padrão espectral da classe corpos d’água que além de bem definido é bastante particular (vide figura 2). Assim sendo, pode ser concluído que, no caso estudado, a classe corpos d’água pode ser reconhecida com facilidade mesmo sem o uso de conhecimento específico.

Nas imagens de teste, somente 6 segmentos são cobertos pela classe cerradão em regeneração. Portanto, não exite numero de padrões suficiente para extrair conclusões sobre a influência das diversas modalidades de conhecimento sobre esta classe.

De uma forma geral, estes experimentos indicam que o uso de conhecimento específico possibilita a obtenção de resultados consideravelmente superiores aos produzidos com abordagens convencionais sem o uso de conhecimento.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0016216/CA