

# Uso do solo da bacia hidrográfica do Alto Piauí através de imagens do satélite CBERS<sup>1</sup>

## Land use of Alto Piauí watershed through satellite CBERS images

Beatriz Fernandes Simplicio Sousa<sup>2</sup>, Adunias dos Santos Teixeira<sup>3</sup>, Raimundo Alípio de Oliveira Leão<sup>4</sup>  
e Alano Bastos Costa Filho<sup>5</sup>

**Resumo** – Esse trabalho visa comparar o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Alto Piauí, nos anos de 2004 e 2005, período chuvoso e seco, respectivamente, através do processamento de imagens de satélite, utilizando-se do algoritmo da classificação supervisionada de imagens por máxima verossimilhança no software ENVI 4.3. As seguintes classes foram obtidas: mata, água, antropizada, agricultura e nuvem. O uso do software ArcView 3.2 permitiu a quantificação e a espacialização destas classes. No ano de 2004 a ocupação do solo apresentou os seguintes resultados: água 5,1%; mata 55,1%; antropizada 10,8%; agricultura 10,8% e nuvens 18,0%. Para o ano de 2005 os resultados foram: água 2,1%; mata 59,5%; antropizada 18,1%; agricultura 18,9% e nuvens 1,1%. O algoritmo da máxima verossimilhança foi capaz de quantificar as classes de ocupação do solo na bacia entre os dois períodos. O primeiro processo de validação foi realizado utilizando-se 10 pontos coletados em campo por meio de um equipamento GPS e confirmando estes na imagem classificada. Também utilizou-se o cálculo do coeficiente de Kaapa e da Precisão Global para a validação, que apresentaram valores considerados excelentes. As informações obtidas poderão subsidiar os processos decisórios na gestão dos recursos naturais da bacia em estudo.

**Palavras-chave:** Sensoriamento remoto. Máxima verossimilhança. Geoprocessamento.

**Abstract** - This paper aims to compare land use in two different periods for the Alto Piauí watershed. The land use was characterized for 2004 and 2005 in the rainy and dry period, respectively, using satellite images and the algorithm of maximum likelihood available as a routine in the software ENVI 4.3. The statistical treatment of maximum likelihood was applied to identify the following classes: forest, water, anthropical, agriculture, and cloud cover. The software ArcView was applied to quantify the areas of each class. It was found that in 2004 the percentage of land use was characterized as: water 5.1%, forest 55.1%, anthropical 10.8%, agriculture 10.8%, and cloud cover 18%. In 2005 the results were: forest water 2.1%, 59.5%, anthropical 18.1%, agriculture 18.9% and cloud cover 1.1%. All points identified in the fields matched the results produced by the algorithm of maximum likelihood. The first validation process was developed by 10 points collected in field by a GPS equipment and assuring it in the classified image. It was also used Kaapa coefficient and the global precision for validation, which showed excellent values. Therefore, the information generated can be used as a tool to help in the management of natural resources of the watershed.

**Key words:** Remote sensing. Maximum likelihood. Geoprocessing.

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 30/03/2006; aprovado em 06/07/2007

Parte da monografia do primeiro autor – Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC.

<sup>2</sup> Eng. Agrônoma, Mestranda em Irrigação e Drenagem, Dep. de Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Caixa Postal 12168, CEP: 60455-970, Fortaleza, CE. Fone (85) 3366 9765, beatrizsimplicio@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Ph. D., Prof. do Dep. de Engenharia Agrícola, CCA/UFC, adunias@ufc.br

<sup>4</sup> Eng. Agrônomo, M. Sc. em Agronomia/Irrigação e Drenagem, Doutorando em Eng. Agrícola - Dep. Eng. Agrícola, UFV, MG, alipioleao@yahoo.com.br

<sup>5</sup> Eng. Agrônomo, alanocbfilho@yahoo.com.br

## Introdução

Desde que a reação do ambiente, face à ação crescente do antropismo, tornou-se sensível, a humanidade passou a se preocupar com a sustentabilidade ambiental, cuja manutenção consiste, resumidamente, na utilização dos recursos naturais em níveis compatíveis com sua disponibilidade e/ou capacidade de renovação. Ribeiro et al. (2002) afirmam que após séculos de gestão desastrosa dos recursos naturais, atingiu-se um estágio onde a manutenção do padrão de vida tornou-se incompatível com o de outras espécies e que a única chance de reverter esta situação talvez esteja no conhecimento sobre a dinâmica dos ecossistemas. Segundo Tonial (2003), nas últimas décadas a sociedade tem se preocupado com as mudanças ambientais globais, basicamente associadas com a degradação ambiental e com as práticas não-sustentáveis de uso dos recursos naturais.

Assim, sendo o solo o meio físico e biológico no qual se desenvolve a maioria das atividades humanas, é de fundamental importância informações acerca da sua ocupação e uso em determinada área, tanto no diagnóstico quanto nas recomendações para a melhor forma de utilizar os recursos naturais disponíveis nesta. Vários pesquisadores evidenciam a importância do conhecimento acerca do uso e ocupação do solo como subsídio para gerenciamento dos recursos naturais. Como exemplo, tem-se o estudo feito por Meira et al. (2004) sobre o uso e ocupação do solo e a formação de voçorocas no município de Caetité- BA. Em outra aplicação, Martins et al. (2005) fazem o zoneamento ambiental da sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS) com objetivo de avaliar a deterioração ambiental existente na referida sub-bacia, por meio de uma análise de seis parâmetros ambientais: declividade, densidade de drenagem, coeficiente de rugosidade, vegetação, ocupação humana e uso da terra.

Moreira (2005) define sensoriamento remoto como sendo um sistema por meio do qual se obtém informações a respeito dos recursos naturais renováveis e não-renováveis do planeta Terra, pela utilização de sensores colocados em aviões, satélites ou mesmo na superfície. O desenvolvimento dos sistemas de informações geográficas (SIG) em conjunto com o sensoriamento remoto tem facilitado sobremaneira a determinação do uso e ocupação do solo, permitindo a custos reduzidos, tanto a abrangência de áreas mais extensas quanto a evolução das alterações ocorridas ao longo do tempo.

A classificação das imagens de satélite é umas das ferramentas mais utilizadas nos SIG's para a determinação

do uso e ocupação do solo de uma determinada área e consiste na identificação e quantificação das manchas presentes na imagem obtida de uma determinada área. Leão et al. (2003) utilizaram uma imagem do centro sul do Estado do Ceará no algoritmo da classificação supervisionada, experimentando diferentes abordagens estatísticas a fim de determinar a de melhor aplicação para a imagem.

A Bacia Hidrográfica do Alto Piauí, assim como outras bacias, vêm sofrendo pressões devido à ocupação humana e seus recursos naturais estão sendo progressivamente degradados. Fontes poluidoras nos rios, desordenado crescimento urbano e agrícola, desaparecimento de matas ciliares, lixões a céu aberto são fatores que precisam ser estudados de forma que se tenha maior conservação dos recursos. Assim, avaliações temporais de uso e ocupação do solo são necessárias para o gerenciamento de planos estratégicos de preservação.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a evolução temporal e espacial do uso e ocupação do solo para os anos de 2004 e 2005 na bacia hidrográfica do Alto Piauí, utilizando imagens do satélite CBERS-2.

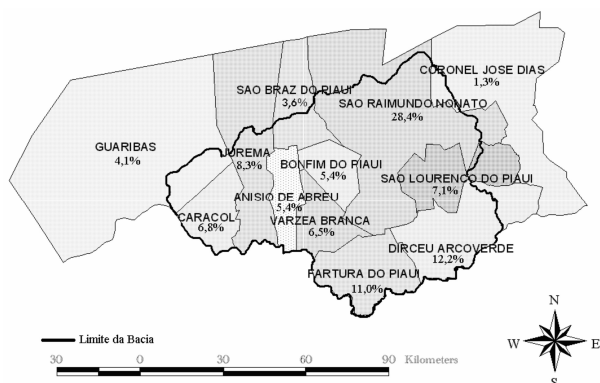
## Material e Métodos

A área abrangida correspondeu à bacia hidrográfica do Alto Piauí, a montante da barragem do açude Petrônio Portela, situada na região sudeste do Estado do Piauí, entre os paralelos 8° 45' 18.1" S e 9° 37' 8.8" S e os meridianos 42° 19' 59.1" W e 43° 26' 34.6" W, com extensão total de 6534 km<sup>2</sup>.

Distante cerca de 517 km da capital Teresina, o acesso à bacia se dá através da rodovia Transpiauí, partindo de Teresina, por 406 km ao sul, até o município de Canto do Buriti e, seguindo mais ainda ao sul, por mais cerca de 111 km da BR-324, a qual liga este município ao município de Remanso-BA. A Figura 1 apresenta os municípios que compõem a bacia do Alto Piauí e sua contribuição territorial (%) na mesma.

A determinação do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Alto Piauí nos anos de 2004 e 2005 foi realizada com base na classificação de imagens dos satélites CBERS-2. Todas as imagens foram adquiridas gratuitamente junto ao Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), nos anos de 2004 e 2005.

O satélite CBERS-2 possui três câmeras denominadas de CCD, IR-MSS e WFI. Cada uma é capaz de observar a terra com uma resolução espacial e temporal diferente em



**Figura 1** - Identificação dos municípios que compõem a bacia do Alto Piauí com valores de contribuição territorial (%)

várias faixas espectrais. A câmera CCD fornece imagens de uma faixa de 113 km de largura, com uma resolução de 20 m. Esta câmera tem capacidade de orientar seu campo de visão dentro de  $\pm 32$  graus, possibilitando a obtenção de imagens estereoscópicas da região que se quer analisar. Opera em cinco faixas espectrais: pancromática (0,51 a 0,73  $\mu\text{m}$ ); azul (0,45 - 0,52  $\mu\text{m}$ ); verde (0,52 - 0,59  $\mu\text{m}$ ); vermelho (0,63 - 0,69  $\mu\text{m}$ ) e infravermelho (0,77 - 0,89  $\mu\text{m}$ ). Este satélite requer 26 dias para realizar uma cobertura completa da Terra (INPE, 2006a).

Para a determinação das regiões de interesse e classificação das imagens, utilizou-se as cenas 154/110, 153/110 e 153/111 do CBERS-2, sendo a primeira com data de passagem em 10/05/2004 e as duas últimas em 22/03/2004. Para o ano de 2005, utilizaram-se as cenas 154/110, 153/110 e 153/111 do mesmo satélite, sendo a primeira com data de passagem em 26 de julho de 2005 e as duas últimas em 29 de julho do referido ano.

As imagens CBERS-2 possuem erro de localização de 7,1 km, por isso é necessário realizar a correção das distorções espaciais após obtê-las (INPE, 2006a). Assim, as imagens foram registradas no software ENVI 4.3 tendo como base os pontos de controle coletados no campo, com a utilização de um receptor GPS. Foram utilizados oito pontos de controle de fácil localização na imagem tais como: cruzamentos de rodovias, paredes de açudes e pontes para o registro da cena 154/110 do CBERS-2. Esta cena, devidamente registrada, serviu de base para o registro das demais cenas.

Utilizou-se a composição das bandas 4, 3 e 2 no espaço RGB para classificação física das imagens obtidas do sensor CCD do satélite CBERS-2, visando à determinação do uso e ocupação do solo. Foi realizada, através do software ENVI 4.3, a classificação supervisionada, através

do método da máxima verossimilhança, classifica os pixels em uma determinada classe conforme a distância estatística entre cada pixel e a média dos níveis de cinza da classe (ASSAD; SANO, 1998). Segundo estes autores, uma função de probabilidade  $P(x)$  define a que classe pertencerá determinado pixel. O cálculo é feito para as várias classes pré-definidas e o pixel é atribuído à classe cuja probabilidade de pertencer a esta seja maior. Foram utilizadas cinco classes de uso e ocupação do solo, cujas características são descritas a seguir:

**Água:** engloba os reservatórios tais como açudes, lagoas e lagunas, com extensões variadas, a partir de 0,09 ha, área mínima representada por um pixel. Apresenta tonalidade que variam do preto ao azul claro conforme as águas apresentem de menores a maiores quantidades de sedimentos;

**Mata:** engloba a caatinga, formação vegetal de porte variável, caducifólias, de caráter xerófilo, divididas em hipoxerófila e hiperxerófila. Apresenta-se na cor vermelha que varia de vermelho intenso a vermelho escuro conforme a mata varie de hipoxerófila a hiperxerófila;

**Antropização:** abrange as áreas onde não há cobertura vegetal devido a diversos tipos de atividades humanas, como áreas degradadas, estradas, aglomerados urbanos, jazidas, áreas de empréstimo, etc. Apresenta-se em tonalidades de cores que variam do branco ao cinza-esverdeado;

**Agricultura:** classe que engloba as áreas utilizadas na atividade agrícola, sendo caracterizada por polígonos de lados bem definidos, em vermelho intenso quando vegetada e branco a cinza quando solo em descanso ou preparado para o plantio;

**Nuvens:** incluem as áreas das imagens cobertas por nuvens e sombras de nuvens. As nuvens que se apresentam na cor branca são de fácil identificação devido à presença de formas idênticas e contíguas. Na cor preta, as sombras das mesmas, caracterizam-se pela distância e localização condizente com a inclinação dos raios solares sobre a área.

Após a classificação foram realizadas, também no programa ENVI 4.3, a vetorização das classes obtidas nas imagens a fim de serem analisadas e quantificadas. Depois de vetorizados, os dados foram exportados para o software ArcView onde foi realizada a quantificação da área de cada classe.

O processo de validação foi realizado em campo coletando dez pontos aleatórios das classes (região de interesse) com equipamento GPS e confirmando estes na imagem classificada. Outro processo de validação realizado foi o da matriz de confusão ou matriz erro. A partir das

amostras de treinamento para cada classe, obteve-se no software ENVI 4.3, esta matriz e o coeficiente de concordância Kaapa.

Para avaliação do coeficiente de concordância de Kaapa utilizou-se a classificação desenvolvida por Landis e Koch (1977) que é utilizada como referência para classificar mapas resultantes da utilização de imagens de sensoriamento remoto (Tabela 1).

**Tabela 1** – Qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kaapa

Valor de Kaapa	Qualidade do mapa temático
<0,00	Péssima
0,00-0,20	Ruim
0,20-0,40	Razoável
0,40-0,60	Boa
0,60-0,80	Muito boa
0,80-1,00	Excelente

## Resultados e Discussão

Como resultado final da classificação supervisionada para o ano de 2004 obteve-se que 5,1% da bacia do Alto Piauí estava ocupada com água, 55,1% com mata, 10,8% com área antropizada, 10,8% com agricultura, e 18% da área com nuvem. Para o ano de 2005 obteve-se, através da classificação supervisionada, que 2,1% da bacia estava ocupada com água, 59,5% com mata, 18,1% com área antropizada, 18,9% com agricultura, e 1,1% da área com nuvem. A distribuição absoluta e percentual das classes por município para o ano de 2004 e 2005, bem como da bacia do Alto Piauí encontra-se na Tabela 2 e 3, respectivamente.

Através da análise das Tabelas 2 e 3, observa-se que no ano de 2004 o maior percentual de área com água, em termos municipais, ocorreu em São Raimundo Nonato, sendo esta de 35,41%. O mesmo também apresentou a maior área em mata (26,17%) e antropização (37,98%) com relação ao total dessas classes na bacia. O município mais agrícola na bacia neste ano foi o de Caracol, representando 25,98% desta classe. Em 2005, São Raimundo Nonato continuou com maiores percentuais de área ocupada pela classe água (61,57%), mata (27,1%), antropização (19,07%), passando também a ser o maior município agrícola com 37,54% da área total dessa classe na bacia.

Utilizando o software ArcView 3.2® foram contabilizados, pelo método de classificação utilizado, 16306

pontos classificados como reservatórios em 2004 e 2564 em 2005 no município de São Raimundo. Já a parte do município de Coronel José Dias que está inserida na bacia, apresenta menor ocupação por esta classe, com 687 reservatórios classificados em 2004 e 76 reservatórios em 2005, estando esta área mais sujeita ao déficit hídrico, quando comparada à de São Raimundo Nonato.

Os dados percentuais de ocupação do solo para 2004 e 2005 estão expostos na Figura 2 e a variação percentual de cada classe, na Figura 3.

Pela análise das Tabelas 2 e 3 e das Figuras 2 e 3 pode-se constatar que na bacia estudada, a classe água apresentou um decréscimo de 59% do primeiro ano para o segundo. Isto ocorre pelo fato de as imagens em 2004 corresponderem à estação chuvosa e em 2005 à estação seca. Com relação à pluviosidade, segundo dados do INPE (2006b), a altura pluviométrica para a bacia foi de 811,12 mm em 2004 e de 650,51 mm em 2005. Constata-se, assim, que o ano de 2004 apresentou valores acima da média anual (689 mm), proporcionando o preenchimento dos reservatórios hídricos em toda a bacia contribuindo com que, neste ano, as áreas da classe água fossem superiores às de 2005. Outro fator que justifica esta redução é a época de aquisição das imagens. Deve-se notar que as chuvas concentram-se entre os meses de novembro a março e que, em 2004, as imagens correspondem a este último, logo, apresentarão maiores extensões de solo cobertos por água. O que não ocorre em 2005, já que as imagens são do período em que as chuvas já estão diminuindo sua frequência, ou seja, julho.

É importante salientar que os reservatórios rasos ou em avançado processo de eutrofização, onde o espelho d'água se apresenta vegetado o resultado da classificação foi vegetação e não água. Este fato foi comprovado em campo e no processo de validação da classificação (Tabela 4), quando um reservatório de baixa profundidade com vegetação nativa (tipo gramínea) de hábito aquático cobrindo sua superfície foi classificado como mata.

A classe mata passou de 55,1% em 2004 para 59,5% em 2005, apresentando aumento de 8%. Este aumento pode ser justificado pela ausência de nuvens nas imagens do segundo período, o que contribuiu para que esta classe fosse melhor contabilizada, como também a presença de espelho d'água com vegetação.

A classe antropizada ocupava cerca de 10,8% da área da bacia em 2004, passando este valor para 18,1% em 2005, apresentando um aumento de 68%. Acredita-se que este expressivo aumento possa ter ocorrido, primeiramente, pelo fato das imagens de 2005 estarem praticamente

**Tabela 2** – Distribuição absoluta e percentual, por município e total, das classes de ocupação do solo da bacia do Alto Piauí, no ano de 2004

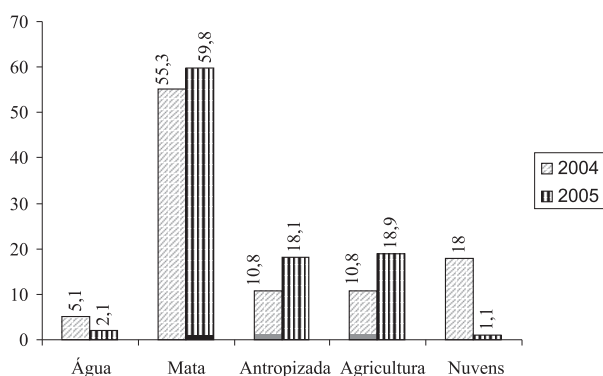
Município	Classes									
	Água		Mata		Antropizada		Agricultura		Nuvens	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
BAP	334,10	5,10	3604,80	55,10	709,50	10,80	707,20	10,80	1177,50	18,00
AA	14,90	4,45	184,30	5,11	33,67	4,74	44,05	6,22	75,75	6,43
BP	27,60	8,26	138,15	3,83	33,25	4,68	27,65	3,90	128,04	10,80
CA	13,90	4,15	140,80	3,90	34,32	4,83	183,77	25,98	74,60	6,33
CJD	2,20	0,66	3,75	0,10	17,54	2,47	1,84	0,26	59,80	5,07
DA	69,60	20,80	553,90	15,36	71,94	10,13	20,26	2,86	80,20	6,81
FP	17,70	5,30	505,50	14,02	121,10	17,06	38,87	5,49	33,50	2,84
GU	1,31	0,40	227,10	6,30	2,75	0,38	32,21	4,55	2,07	0,17
JU	12,17	3,64	186,10	5,16	25,73	3,62	170,51	24,10	146,50	12,40
SBP	23,15	6,92	60,47	1,67	19,85	2,79	34,72	4,90	94,51	8,02
SLP	18,20	5,47	358,80	9,95	49,34	6,95	11,37	1,60	24,30	2,06
SRN	118,30	35,41	943,50	26,17	269,51	37,90	118,80	16,79	405,80	34,40
VB	14,87	4,45	302,27	8,38	30,52	4,30	23,16	3,27	52,20	4,43

Onde: BAP: Alto Piauí; AA: Anísio de Abreu; BF: Bonfim do Piauí; CA: Caracol; CJD: Coronel José Dias; DA: Dirceu Arcoverde; FP: Fartura do Piauí; GU: Guaribas; JU: Jurema; SBP: São Braz do Piauí; SLP: São Lourenço do Piauí; SRN: São Raimundo Nonato; VB: Várzea Branca.

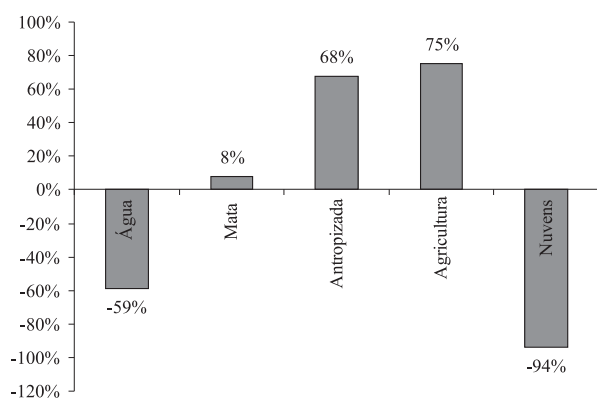
**Tabela 3** – Distribuição absoluta e percentual, por município e total, das classes de ocupação do solo da bacia do Alto Piauí, no ano de 2005

Município	Classes									
	Água		Mata		Antropização		Agricultura		Nuvens	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
BAP	139,70	2,10	3896,70	59,50	1185,45	18,10	1241,30	18,90	69,70	1,10
AA	1,64	1,17	208,60	5,35	135,87	11,46	7,23	0,60	-	-
BP	4,84	3,46	165,10	4,23	182,39	15,38	2,98	0,24	-	-
CA	3,35	2,40	304,54	7,81	126,47	10,66	14,30	1,15	-	-
CJD	1,59	1,14	67,86	1,74	2,69	0,22	10,70	0,86	1,60	2,30
DA	5,04	3,61	365,20	9,37	32,88	2,77	364,70	29,30	26,10	37,40
FP	5,72	4,10	574,10	14,73	44,79	3,77	85,80	6,91	5,25	7,53
GU	4,45	3,18	195,20	5,01	57,78	4,87	8,23	0,66	-	-
JU	12,76	9,13	388,10	9,96	135,19	11,40	5,30	0,42	-	-
SBP	7,49	5,36	112,80	2,89	109,68	9,25	3,13	0,25	-	-
SLP	4,33	3,10	160,40	4,11	18,79	1,58	259,6	20,90	16,90	24,20
SRN	86,02	61,57	1058,40	27,10	226,16	19,07	466,09	37,54	19,83	28,40
VB	2,42	1,7	296,02	7,59	112,72	9,50	12,93	1,04	0,013	0,018

Onde: BAP: Alto Piauí; AA: Anísio de Abreu; BF: Bonfim do Piauí; CA: Caracol; CJD: Coronel José Dias; DA: Dirceu Arcoverde; FP: Fartura do Piauí; GU: Guaribas; JU: Jurema; SBP: São Braz do Piauí; SLP: São Lourenço do Piauí; SRN: São Raimundo Nonato; VB: Várzea Branca.



**Figura 2** - Percentual da área ocupada por cada classe na bacia hidrográfica do Alto Piauí nos anos 2004 e 2005



**Figura 3** - Variação percentual da área ocupada por cada classe na bacia hidrográfica Alto Piauí entre os anos 2004 e 2005

livres da presença de nuvens, contribuindo para a contabilização destas áreas principalmente nos municípios de Bonfim do Piauí, São Braz do Piauí e São Raimundo Nonato. O fato de a vegetação nativa ser constituída, em maior parte, por caatinga hiperxerófila, que tem por características a queda das folhas no período seco, faz com que estas áreas reflitam na imagem características de reflectância de solo descoberto, ou seja, podem se apresentar em um tom característico de antropização. Também deve-se levar em consideração a ação do homem, porém, em menor escala já que o período estudado é curto.

A classe agricultura aumentou 75%, passando de 10,8% em 2004 para 18,9% em 2005. O fato de esta classe aumentar do período chuvoso para o seco pode parecer um pouco contraditório. Porém, isso provavelmente ocorreu pelo fato das áreas cultivadas estarem no período de descanso, apresentando-se na imagem em um tom esbranquiçado a cinza, o que também foi definido como

região de interesse para esta classe. Ressalta-se também, que a resposta espectral desta classe consiste em um tom semelhante ao da classe mata (vermelho), assim, áreas agrícolas que se encontravam em pleno vigor devido o período de chuvas podem ter sido classificadas como mata, ou seja, podem ter sido subestimadas em 2004.

A classe nuvens, a qual, sendo decorrente da presença de nuvens quando da passagem do satélite, apresentou comportamento coerente, estando mais presente na imagem selecionada no período chuvoso (2004) e apresentando redução em 94% na imagem selecionada para estudo do período seco (2005).

A validação foi feita utilizando-se pontos coletados de classes de uso do solo em campo com um GPS e, após a classificação das imagens, encontrando os mesmos pontos e confirmando as classes destes. Estando estes expostos na Tabela 4.

Observa-se, pela análise da Tabela 4, que todos os pontos identificados em campo tiveram a mesma identificação no algoritmo da máxima verossimilhança com as poucas variações apresentadas devendo-se a mudanças ocorridas no espaço de tempo entre as obtenções das imagens.

A comparação destas classes observadas em campo e nas imagens classificadas pelo método da máxima verossimilhança foi confirmada. A área classificada como antropizada na visita de campo representada pelo paralelo  $8^{\circ} 58' 50.98'' S$  e pelo meridiano  $42^{\circ} 29' 40.77'' W$ , quando analisada na imagem classificada de 2004 apresentou-se como mata, isso porque quando a visita foi feita esta área tinha sido recentemente modificada pelo homem, porém no período da passagem do satélite a área ainda se encontrava como mata. Para o ano de 2005 a mesma área apresentou-se como antropizada, confirmando o que foi visto em campo, validando o método utilizado.

A partir das regiões de interesse (ROIs) utilizadas para a classificação das imagens, obteve-se a matriz de confusão em cada cena utilizada. A partir desta, o software ENVI 4.3 realizou os cálculos necessários e gerou os seguintes valores de precisão global e o coeficiente de Kaapa apresentados na Tabela 5.

Portanto, têm-se respectivamente como valores médios de exatidão global e coeficiente de Kaapa de 97,23% e 0,9232 para as cenas utilizadas.

O valor de exatidão global encontrado indica que 97,23% dos pixels foram classificados corretamente. O valor do coeficiente de Kaapa encontrado, de acordo a classificação de Landis e Koch (1977), é considerado excelente já que se encontra no intervalo entre 0,8 e 1.

**Tabela 4** – Pontos analisados e confirmados na imagem classificada para os anos em estudo

ID	Longitude	Latitude	Classes		
			Observada	2004	2005
1	42° 26' 26.59" W	9° 20' 19.78" S	Água	Água	Água
2	42° 41' 57.66" W	9° 1' 10.23" S	Água	Água	Água
3	42° 42' 12.59" W	9° 0' 29.88" S	Água	Mata	Agricultura
4	42° 38' 32.38" W	8° 59' 11.57" S	Mata	Mata	Mata
5	42° 30' 54.57" W	9° 22' 15.56" S	Mata	Mata	Mata
6	42° 39' 25.05" W	9° 4' 23.84" S	Agricultura	Agricultura	Agricultura
7	42° 30' 47.62" W	8° 57' 38.95" S	Agricultura	Agricultura	Agricultura
8	42° 29' 40.77" W	8° 58' 50.98" S	Antropizada	Mata	Antropizada
9	42° 37' 35.9" W	9° 5' 18.38" S	Antropizada	Antropizada	Antropizada
10	42° 30' 47.34" W	8° 57' 57.67" S	Antropizada	Antropizada	Antropizada

**Tabela 5** – Valores de Kaapa e Exatidão Global

Cenas	2004		2005	
	Exatidão Global (%)	Coefficiente de Kaapa	Exatidão Global (%)	Coefficiente de Kaapa
153/110	98,69	0,9618	99,00	0,9406
153/111	99,24	0,9897	99,91	0,9826
154/110	88,14	0,7092	99,83	0,9412

WATZLAWICK (2003) objetivando realizar classificações digitais e avaliar os resultados utilizando o método da matriz de confusão em imagens de vídeo multiespectral, conclui que o método para avaliar a acurácia de resultados de classificações digitais prestou-se ao trabalho proposto e ainda que este deva ser utilizado para avaliar diferentes classificadores. Portanto, os valores encontrados demonstram o bom índice de acerto na interpretação do uso e ocupação do solo nesta bacia. Portanto, os valores encontrados demonstram o bom índice de acerto na interpretação do uso e ocupação do solo nesta bacia.

## Conclusões

1. A classificação supervisionada utilizando imagens do satélite CBERS-2 para os anos de 2004 e 2005 pelo método da máxima verossimilhança foi capaz de identificar as classes de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Alto Piauí além de apresentar fácil utilização. 2. Os resultados da classificação apresentaram-se coerentes

com as características da região na qual a bacia está inserida e o processo de validação em cada classe confirmou a mesma.

3. O processo de validação utilizando pontos amostrais mostrou-se eficiente, já que foram confirmados na imagem classificada. O coeficiente de Kaapa e a Exatidão Global apresentaram valores considerados excelentes, o que significa dizer que os mapas gerados possuem confiabilidade.
5. Nota-se que o crescimento das áreas agrícolas e antropizadas são uma ameaça a conservação da bacia. Porém, sendo a classe mata predominante sobre as demais, pode-se dizer que a bacia ainda está conservada.
6. A partir dos resultados obtidos pode-se nortear as decisões do homem naquela região de forma que este utilize os recursos naturais racionalmente e, assim, contribua para a sustentabilidade do meio ambiente.

## Referências

- ASSAD, E. D., SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA-SPI/EMBRAPA-CPAC, 1998. 434p.
- CAMPOS, S.; JÚNIOR, A. A. A.; BARROS, Z. X.; CARDOSO, L.G.; PIROLI, E. L. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao uso da terra em microbacias hidrográficas, Botucatu – SP. **Revista de Engenharia Agrícola**, v. 4, n. 2, p. 431-435, 2004.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Satélites**. 2006a. Disponível em: <[http://www.cbers.inpe.br/pt/programas/cbers1-2\\_cameras.htm](http://www.cbers.inpe.br/pt/programas/cbers1-2_cameras.htm)>. Acesso em 25 jan. 2006.

- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2006b. **Programa de monitoramento climático em tempo real na região Nordeste**. Disponível em: <[http://www.cptec.inpe.br/proclima2/balanco\\_hidrico/balancohidrico.shtml](http://www.cptec.inpe.br/proclima2/balanco_hidrico/balancohidrico.shtml)>. Acesso em 20 jan. de 2006.
- LANDIS, J.R., KOCH, G.C. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-14, 1977.
- LEÃO, R. A. O.; NUNES, A. B. A.; MESQUITA, T. B. ; TEIXEIRA, A. S. . Processamento e análise de uma imagem do centro-sul do Estado do Ceará pelo método da classificação supervisionada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. **Resumos...** Jaboticabal: SBEA, 2003.
- MARTINS, F. B.; ROCHA, J. S. M. da.; ROBAINA, A. D.; KURTZ, S. M. de J. M.; GARCIA, M. S.; SANTOS, A. H. de O.; DILL, P. R. J.; NOAL, T. N. Zoneamento ambiental da sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS) (estudo de caso). **Centro de Estudos em Recursos Naturais Renováveis**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 315-322, jul./set. 2005. Disponível em <<http://www.dcf.ufla.br/cerne/RevistaV11n3-2005/artigo%2010.pdf>> Acesso em: 26 de Janeiro de 2005
- MEIRA, A. S.; LEÃO, J. L.; SANTOS, M. S. O uso e ocupação do solo e a formação de voçorocas no município de Caetité-BA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS, 6., 2004. Goiás. **Anais eletrônicos...** Goiânia: AGB, 2004. Disponível em: [http://www.igeo.uerj.br/VICBG-2004/Eixo2/E2\\_015.htm](http://www.igeo.uerj.br/VICBG-2004/Eixo2/E2_015.htm). Acesso em: 16 jan. 2005.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2005. 320 p.
- RIBEIRO, C. A. A. S. ; VARELLA, C. A. A. ; SENA JÚNIOR, D. G. ; SOARES, V. P. Sistemas de Informações Geográficas. In: Borém, A.; M. P. del Giúdice; Daniel Marçal de Queiroz; Evandro Chartuni Mantovani; Lino Roberto Ferreira; Francisco Xavier Ribeiro do Valle; Reinaldo Lúcio Gomide. (Org.). **Agricultura de Precisão**, 2000, v. 2, p. 381-407.
- TONIAL, T. M. **Dinâmica da paisagem na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul**. 2003. 119 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade de São Carlos, São Carlos.
- WATZLAWICK, L. F., KIRCHNER, F.F., MADRUGA, P. R de A. Avaliação de classificação digital em imagens de vídeo multiespectral utilizando matriz confusão. **Revista de Ciências Exatas e Naturais**, v. 5, n.1, p. 47-57, 2003. Disponível em:<<http://www.unicentro.br/pesquisa/editora/revistas/exatas/v5n1/avaliacaodeclassificacao.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2006.