



## AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS MUDANÇAS DE COBERTURA DA TERRA NO NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO DE GILBUÉS-PI

**Denilson Ribeiro Viana, Rita Marcia da Silva Pinto Vieira,  
Sebastião Ferraz Neto, Regina Célia dos Santos Alvalá**

Centro de Ciências do Sistema Terrestre  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
E-mail: [denilson.ribeiro@inpe.br](mailto:denilson.ribeiro@inpe.br), [rita.marcia@inpe.br](mailto:rita.marcia@inpe.br),  
[sebastiao.neto@inpe.br](mailto:sebastiao.neto@inpe.br), [regina.alvala@inpe.br](mailto:regina.alvala@inpe.br)

### **Resumo**

A região do semi-árido nordestino brasileiro apresenta sérios problemas ambientais, entre os quais se destacam os processos de desertificação. Sendo assim, o objetivo deste estudo consiste em avaliar as mudanças de cobertura da terra em uma área de desertificação: o Núcleo de Desertificação de Gilbués, Estado do Piauí, Brasil. A análise engloba o período entre 1999 e 2009, e busca, além de avaliar as alterações ocorridas, identificar possíveis fatores do meio físico responsáveis pela dinâmica do processo de desertificação, como precipitação e pedologia. Para este estudo considerou-se imagens do satélite Landsat, sensores TM e ETM+, e estimativas de precipitação da plataforma TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*). Além disso, foram utilizados mapas pedológicos, desenvolvidos pela EMBRAPA. A avaliação das alterações das classes de cobertura da terra mostrou que as áreas de cerrado sofreram uma redução de 9%, o equivalente a 550 km<sup>2</sup>. O cerrado cedeu lugar às atividades agropecuárias e às áreas de desertificação, que sofreram um aumento de 5% (315 km<sup>2</sup>) e 4% (240 km<sup>2</sup>), respectivamente. As demais classes, como floresta perene, corpos d'água, área urbana e estradas permaneceram constantes. A precipitação na região variou entre 1.000 mm no setor sudeste e 1.300 mm no noroeste, concentradas essencialmente no verão, entre dezembro e fevereiro. Em relação à variabilidade interanual da precipitação, verificou-se que os eventos de secas ocorreram em anos de *El Niño*. O crescimento da classe agropecuária está associado às classes de precipitação no intervalo de 1100 a 1250 mm e com as áreas de ocorrência de Latossolo Amarelo. Observou-se associação entre a expansão da agropecuária e tipos de solo; no entanto, o mesmo não aconteceu com a precipitação. As áreas de solo exposto expandiram-se proporcionalmente de acordo com os intervalos de precipitação e com as classes de solos.

**Palavras-chave:** semiárido, desertificação, variabilidade da precipitação, cobertura da terra

## **Abstract**

The semiarid region in the Brazilian northeastern presents severe environmental problems, including desertification. Thus, the objective of this study is to assess land cover changes in a desertification's area, located in Gilbués municipality, Piauí State – Brazil, between 1999 and 2009. The analysis aimed to evaluate land cover changes and also to identify possible environmental factors that are responsible for this dynamic process, such as rainfall and pedology. This study used Landsat TM and ETM<sup>+</sup> satellite images, rainfall estimates derived from TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), and soil maps developed by EMBRAPA (Brazilian Institute for Agricultural Research). The results showed that savanna vegetation have been reduced by 9%, equivalent to 550 km<sup>2</sup> and replaced by agricultural activities and desertification's areas, which were increased by 5% (315 km<sup>2</sup>) and 4% (240 km<sup>2</sup>), respectively. The others land use/cover classes as evergreen forest, water bodies, urban areas and roads remained invariable. The rainfall ranged from 1000 mm, in the southeastern, to 1300 mm, in the northwest, and occurred primarily during the Southern Hemisphere summer, between December and February. Regarding the rainfall interannual variability, it was observed that the years of drought occurred during El Niño events. The agriculture expansion has occurred mainly in areas of annual precipitation values between 1100 and 1250 mm, and in Oxisol soil type areas (*Latossolo Amarelo*). It was also observed an association between agriculture expansion and soil type, however, the same was not true for rainfall. The areas of desertification expanded proportionately in accordance to the ranges of rainfall and soil classes.

**Key words:** semiarid, desertification, rainfall variability, land cover

## **1 Introdução**

Os processos de degradação ambiental dependem da fragilidade natural do meio, marcada pelas características climáticas e edáficas, além das atividades antrópicas, especialmente em sistemas naturalmente secos. Segundo a Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (UNCCD), a América do Sul pode ter até um quinto de suas terras produtivas afetadas pelo processo de degradação até o ano de 2025. A degradação tem se intensificado nos últimos anos, especialmente em países de grandes extensões territoriais, como o Brasil e a Argentina. A ONU também estima que cerca de 30% das terras do planeta estejam afetadas pelo processo de degradação.

A degradação ambiental, em especial de terras áridas, semiáridas e sub-úmidas secas, resultante de fatores como variações climáticas e atividades antrópicas, é denominada, segundo a Organização das Nações Unidas, desertificação (ONU, 1997). Este processo vem acarretando ao longo dos anos a fome, a miséria e a migração das populações diretamente afetadas. Trata-se de um processo dinâmico, resultante da interação de fatores naturais e atividades humanas, definida pela redução ou perda da fertilidade e da produtividade biológica ou econômica das terras áridas, sendo considerada como uma forçante das mudanças climáticas do planeta (OLIVEIRA-GALVÃO *et al.*, 2003).

No Brasil, uma das regiões mais afetadas pelo processo de desertificação é o semiárido nordestino. Isso se deve ao fato da área apresentar características peculiares em relação às demais regiões do país, tais como: 1) ocorrência de precipitação em períodos de 2-5 meses, com alto grau de variabilidade espaço-temporal em suas meso-regiões; 2) peculiaridades geológicas do semiárido, como extensas áreas com recobrimento do cristalino, por vezes aflorando à superfície, em que os solos possuem baixa capacidade de armazenamento de água; 3) variabilidade interanual da precipitação, devido à influência de fenômenos de grande escala resultantes da interação entre a atmosfera e os oceanos tropicais (SOUZA *et al.*, 2001). Além disso, a região vem sofrendo com a degradação ambiental que, associada com as particularidades mencionadas, intensificam os processos de desertificação, cada vez mais significativos, com conseqüente perda da fertilidade do solo e da biodiversidade. Como causas da desertificação no Nordeste do Brasil destacam-se, além das condições climáticas favoráveis, o uso inadequado dos recursos naturais (desmatamento) e as práticas inapropriadas de uso do solo, como o sobrepastoreio e o cultivo excessivo.

Nos últimos anos, a introdução de práticas modernas de irrigação e da agroindústria tem provocado sérios problemas de erosão e salinização de corpos d'água. Isso ocorre devido à falta de precauções quanto aos impactos ambientais resultantes do uso inadequado dos recursos hídricos, da mecanização e da aplicação de defensivos agrícolas, principalmente nos vales dos rios Jaguaribe e São Francisco e em grandes açudes. Esses processos de degradação produzem conseqüências sobre os diferentes componentes ambientais, tais como: 1) eliminação da cobertura vegetal original e presença de uma cobertura invasora, com conseqüente redução na biodiversidade; 2) perda parcial ou total do solo devido a fenômenos físicos (erosão) ou químicos (salinização e alcalinização); 3) diminuição na quantidade e qualidade dos recursos hídricos, afetando principalmente o escoamento superficial; 4) diminuição da fertilidade e da produtividade do solo (ROSS, 2001).

Segundo ANDRADE (2008), é possível verificar, especialmente em escala global, que a população pobre desenvolve um 'ruralismo tradicional' com dificuldade de acesso e absorção de novas tecnologias sobressaindo, nestas áreas, a policultura de autoconsumo, a pecuária extensiva e alguns pólos de agricultura irrigada. Estas atividades tradicionais vêm sofrendo constantes perdas de produtividade em função do despreparo das populações rurais frente às adversidades climáticas, além de problemas decorrentes da diminuição de fertilidade dos solos e, conseqüentemente, de competitividade nos mercados. Dessa forma, devido ao crescente processo de mudança dos usos e da cobertura vegetal, seja pela ação antrópica ou por fatores ambientais, vários estudos vêm sendo realizados para tentar responder qual seria a contribuição e o impacto do clima nos processos de desertificação.

Sendo assim, o objetivo do presente estudo consiste em avaliar as mudanças de cobertura da terra no Núcleo de Desertificação de Gilbués, Estado do Piauí, região nordeste do Brasil, em um período de dez anos, entre 1999 e 2009. Além de identificar as possíveis alterações observadas no período, este estudo busca avaliar os fatores responsáveis pelas mesmas, investigando como algumas variáveis climáticas e ambientais podem estar contribuindo para a dinâmica das mudanças de cobertura do solo da região. Desse modo, espera-se gerar subsídios para um melhor entendimento dos fatores desencadeadores dos processos de degradação ambiental, os quais a região nordeste do Brasil está sujeita.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

A área de estudo selecionada foi o Núcleo de Desertificação de Gilbués, localizado no Estado do Piauí, região Nordeste do Brasil. Ao todo, o núcleo corresponde a uma área de 17.161 km<sup>2</sup>, cobrindo sete municípios: Monte Alegre, Gilbués, São Gonçalo do Gurguéia, Barreiras do Piauí, Corrente, Riacho Frio e Curimatá (FAPEPI, 2006). No presente trabalho, será apresentado apenas o mapeamento dos municípios de Gilbués e Monte Alegre, cuja área total é de aproximadamente 5900 km<sup>2</sup>, correspondente a 34% da área total do núcleo (Figura 1).

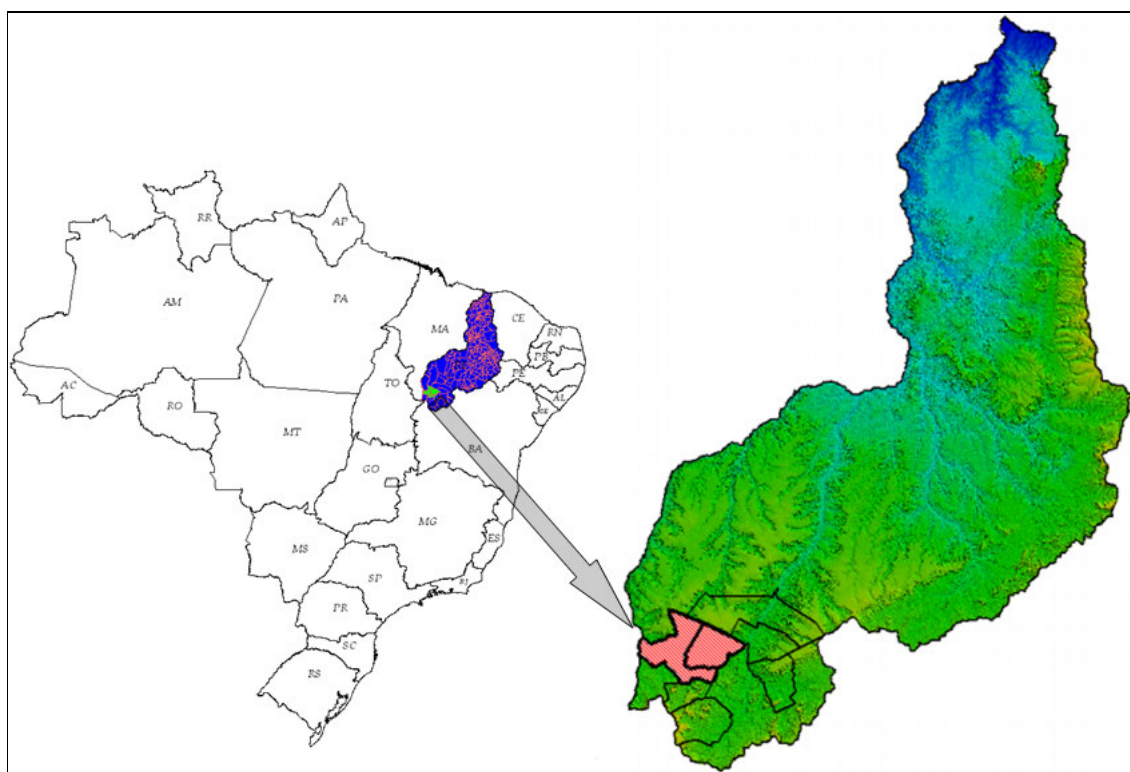


Figura 1: Localização da área de estudo (adaptado de CREPANI et al., 2008).

O clima da área de estudo, segundo a classificação climática de KÖEPPEN (1948), corresponde ao tipo *Aw*, Equatorial Tropical, com estação seca no período de inverno. O período chuvoso, de novembro a março, ocorre devido à atuação da massa de ar Equatorial continental (*Ec*), área de baixa pressão atmosférica que atua no centro do país; e à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que avança em direção ao continente neste período. No inverno, o período seco é decorrente do recuo da ZCIT para norte e do avanço do Centro de Alta Pressão Semipermanente do Oceano Atlântico Sul em direção ao interior do continente (ANDRADE, 1972).

A precipitação média anual da região varia entre 900 mm e 1250 mm, sendo o verão, trimestre de dezembro a fevereiro, o período chuvoso. Cabe destacar que a duração do período seco na região é de cerca de sete meses, de abril a outubro (NIMER, 1979). Ressalta-se que NIMER (1979) considerou, para a definição do período seco, o critério proposto por BAGNOULS & GAUSSEN (1962), baseado em trabalhos de ecologia vegetal, em que a precipitação (mm) é menor ou igual ao dobro da temperatura média mensal (°C).

A variabilidade interanual da precipitação na Região Nordeste do Brasil está relacionada às anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) das regiões tropicais dos oceanos Pacífico e Atlântico (KAYANO & ANDEREOLI, 2009). As anomalias de TSM do Pacífico, em especial, são caracterizadas pelo fenômeno *El Niño*-Oscilação Sul (ENOS). A fase positiva do fenômeno (*El Niño*) está associada a eventos de secas severas na região, enquanto a fase negativa (*La Niña*) provoca aumento da precipitação (INPE/CPTEC, 2010).

Em relação às características do meio físico, a área está assentada sobre terrenos paleozóicos da Bacia Sedimentar do Maranhão-Piauí e mesozóicos da Bacia do São Francisco. Localizado nas cabeceiras dos rios Gurguéia, Uruçuí-Vermelho e Parnaíba, este setor destaca-se por apresentar litologias bastante vulneráveis à erosão, representados basicamente por siltitos, arenitos e conglomerados distintos pertencentes às Formações Poti, Piauí, Areado e Urucua. Quanto aos tipos de solos, predominam associações de Areias Quartzosas (AQ) com Latossolo-Amarelo (LA), perfazendo 75% da área total. Esses solos ocorrem principalmente nas chapadas que circundam áreas rebaixadas e dissecadas (SALES, 2003). Também são encontradas associações de Podzólicos Vermelho-amarelo e outros tipos de solos.

## 2.2 Dados

Para a avaliação dos tipos de cobertura da terra da região de estudo foram adquiridas imagens do satélite Landsat, sensores *TM* e *ETM<sup>+</sup>*, dos anos de 1999, 2006 e 2009, com resolução espacial de 30 m. Foi selecionada uma cena para cada ano, correspondente ao período de seca da região.

Na avaliação das características da precipitação, considerou-se uma série de dados mensais cobrindo um período de 12 anos, entre janeiro de 1998 e dezembro de 2009. Os dados correspondem às estimativas de precipitação do satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), algoritmo 3B43, com resolução espacial de 0,25° x 0,25°, totalizando 24 amostras. Essas estimativas são calibradas com dados de uma rede global de postos pluviométricos. Os dados orbitais apresentam, entre outras vantagens, em relação aos postos, a disposição em grade regular, o que facilita sua manipulação e garante uma ampla cobertura da superfície.

Os dados de solos da área de estudo foram obtidos a partir de trabalhos publicados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (JACOMINE et al., 1986), contendo informações pedológicas da Bacia do Parnaíba. Estes dados foram refinados por CREPANI et al. (2008), que utilizou um Modelo Numérico do Terreno (MNT), com resolução espacial de 90 m, para a definição dos limites entre as diferentes unidades de solos (Figura 2).

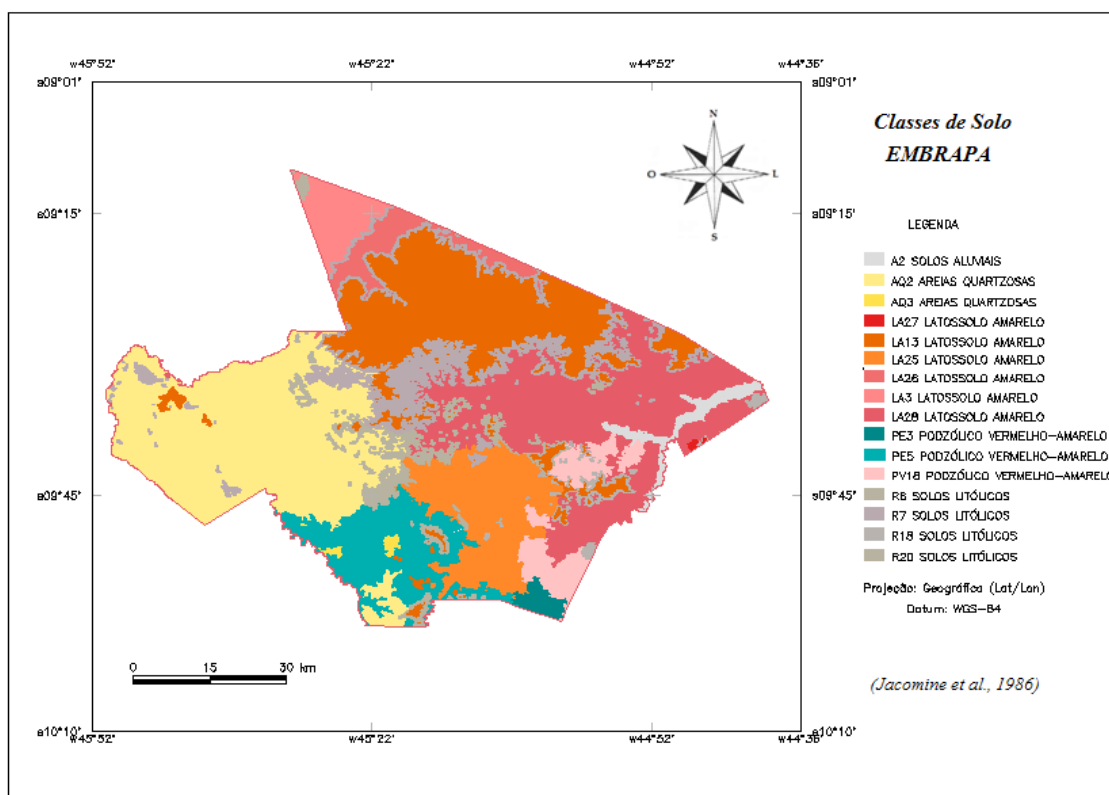


Figura 2: Classificação dos tipos de solo da área de estudo.

Fonte: CREPANI et al. (2008).

## 2.3 Metodologia

### 2.3.1 Avaliação da cobertura do solo

Os mosaicos das imagens de satélite foram gerados no aplicativo SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (INPE, 2001). As composições coloridas utilizadas para a interpretação das imagens foram: bandas 3 (azul), 4 (vermelho) e 5 (verde). Após a seleção das bandas, foi realizado o processo de registro das imagens. Para obtenção do registro com o menor erro possível, foi utilizado como referência o mosaico de imagens *GeoCover*.

Visando agilizar o processo de interpretação das imagens, foi utilizado o classificador automático MAXVER disponível no SPRING. Esse classificador baseia-se no método estatístico de Máxima Verossimilhança, e consiste em uma classificação "pixel a pixel". Para que a classificação por Máxima Verossimilhança seja precisa o suficiente, é necessário um número razoavelmente elevado de "pixels", para cada conjunto de treinamento (INPE, 2001). Sendo assim, selecionou-se, para cada conjunto de alvos a serem extraídos das imagens, um número de aproximadamente vinte amostras.

No presente trabalho foram criados e extraídos os seguintes temas referentes às classes cobertura da terra: floresta perene, cerrado, agropecuária, solo exposto, água, estradas, e mancha urbana. A classe 'solo exposto' corresponde às áreas de desertificação, características da região de estudo. Para cada conjunto de amostras adquirido foram realizadas análises, com base nas matrizes de confusão, visando à verificação do índice de rejeição das mesmas. O limiar de aceitação utilizado para gerar a imagem classificada foi de 90%. Em seguida foi realizada a pós-classificação para o refinamento da classificação obtida. Nessa etapa foi possível suprimir pixels isolados em função de um determinado limiar e peso, sendo utilizado o limiar igual a 2 e peso igual a 5.

Para realização do processo de classificação visual, em que o fotointérprete confere as classes geradas automaticamente, foi necessário transformar a imagem classificada (modelo imagem) para um mapa temático em formato *raster* (modelo temático). Finalmente, foi realizada a conferência das classes de cobertura, obtidas pela classificação automática, acoplando a imagem de satélite ao mapa temático. O resultado final deste processo foi a geração de três mapas temáticos correspondente aos anos de 1999, 2006 e 2009, contendo as informações das classes de cobertura extraídas. A partir deste resultado foi possível avaliar as mudanças de cobertura observadas no período.

### 2.3.2 Análise da precipitação

A distribuição espacial das amostras de precipitação do produto 3B43/TRMM pode ser observada na Figura 3. Com base nos dados mensais do período de janeiro de 1998 a dezembro de 2009, foram calculadas as climatologias mensal, sazonal e anual, correspondente à média das 24 amostras.

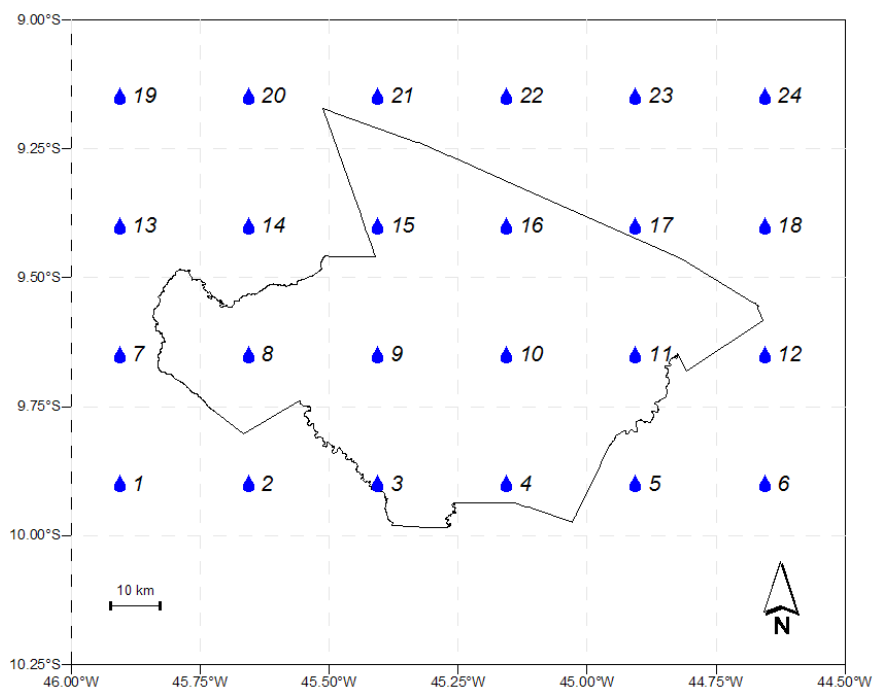


Figura 3: Distribuição espacial das amostras de precipitação 3B43/TRMM.

Os valores climatológicos calculados foram espacializados e reamostrados para uma resolução espacial de 30 m, tornando possível o cruzamento com as informações de cobertura da terra. Embora tenha sido utilizado apenas 12 anos de dados de precipitação, estas informações, segundo MONTEIRO (1971), são suficientes para avaliar tanto as características climáticas, quanto a variabilidade das chuvas na região. De acordo com o autor, a análise climática deve atentar para a disponibilidade de séries de dados, podendo esses serem menores que os 30 anos de registros exigidos pela meteorologia analítica, mas que sejam de fontes confiáveis e permitam representar as variações anuais e mensais dos elementos climáticos.

### 2.3.3 Avaliação da dinâmica espaço-temporal da cobertura da terra

A dinâmica espaço-temporal da cobertura da terra foi avaliada através do cruzamento das informações dos três períodos analisados (1999, 2006 e 2009) com os dados de precipitação média anual, e de pedologia. A evolução da área total de cada uma das classes de cobertura foi comparada com a precipitação média anual, dividida em intervalos, e com as classes de solo. Desse modo, buscou-se avaliar as possíveis relações entre as alterações de cobertura observadas ao longo do período com as variáveis do meio físico, representadas neste estudo pela precipitação e pela pedologia.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Avaliação das mudanças de cobertura da terra

A Figura 4 ilustra a distribuição dos tipos de cobertura da terra nos municípios de Gilbués e Monte Alegre em 1999 (Figura 4a) e em 2009 (Figura 4b). A partir da análise visual é possível observar que em grande parte da área de estudo, predominam áreas de cerrado, formação pioneira desta região. No setor norte destaca-se a presença de atividades agropecuárias, que sofreram um incremento ao longo de dez anos. Ao sul destacam-se as áreas de solo exposto, que caracterizam as áreas desertificadas existentes na região.

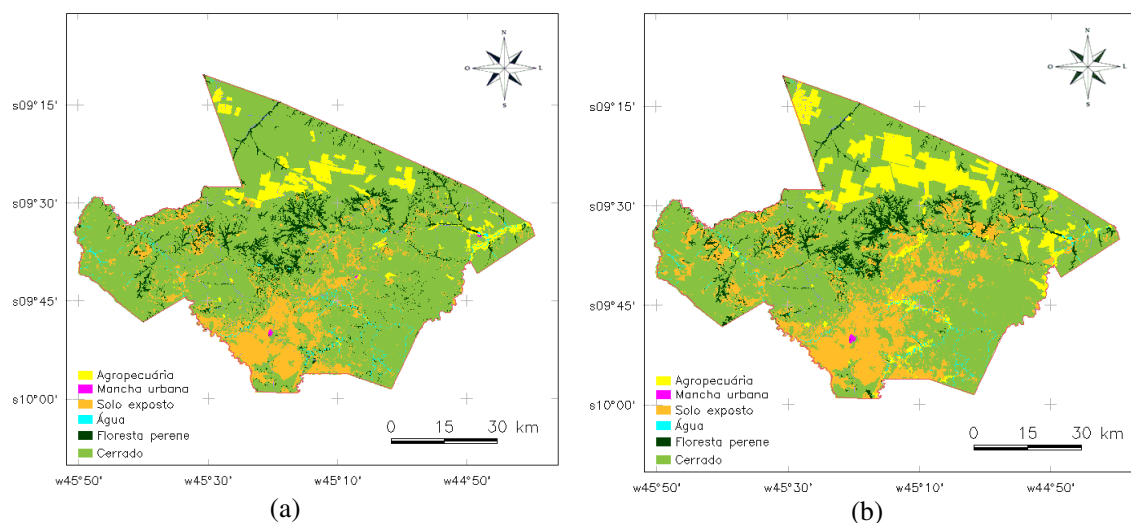


Figura 4: Mapa de cobertura da terra da área de estudo em 1999 (a) e 2009 (b).



A avaliação das alterações das classes de cobertura da terra, mostradas na Figura 5, indica que a cobertura de cerrado sofreu uma redução de 9%, já que em 1999 totalizavam 75% da área, enquanto que, em 2009, ocupavam 66%. Este percentual de redução equivale a cerca de 550 km<sup>2</sup>. As áreas de cerrado cederam lugar às atividades agropecuárias e às áreas de solo exposto, que sofreram um aumento de 5% e 4%, respectivamente. A agropecuária expandiu em torno de 315 km<sup>2</sup> e as áreas desertificadas em cerca de 240 km<sup>2</sup>. A classe floresta perene permaneceu constante ao longo do período, em torno de 6%, o equivalente a 340 km<sup>2</sup>. As demais classes identificadas, corpos d'água, mancha urbana e estradas; foram agrupadas, já que seus percentuais mostraram-se bastante baixos, variando entre 1% e 2%, e não apresentando, portanto, alterações significativas ao longo do período de estudo. Estas três classes juntas representam aproximadamente 85 km<sup>2</sup>.

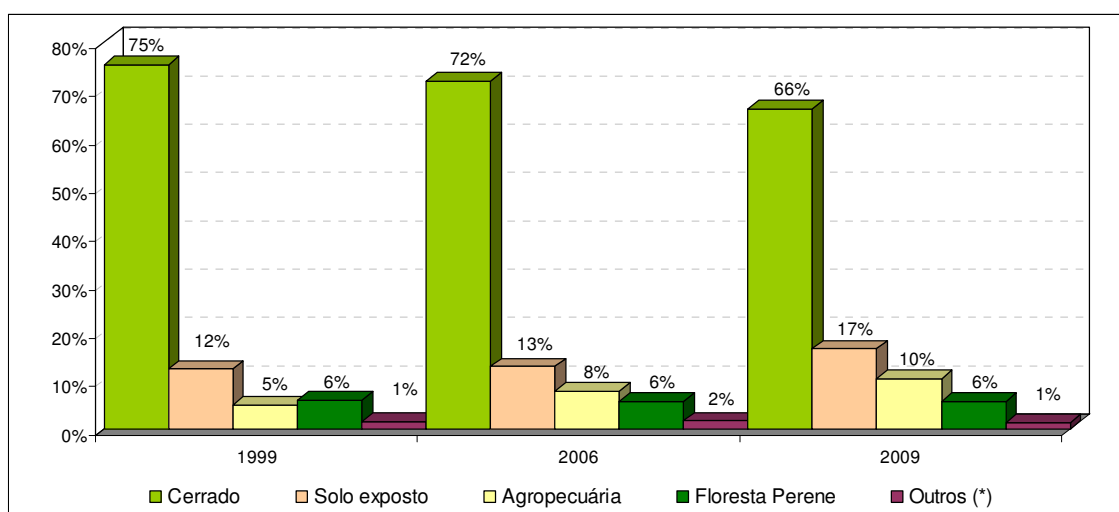


Figura 5: Percentual de área total das classes de cobertura da terra da região de estudo.

### 3.2 Características climatológicas e de variabilidade da precipitação

A precipitação média anual para o período de 1998 a 2009 é de 1.172 mm/ano. A distribuição espacial dos valores médios observados, conforme ilustrado na Figura 6, indica que os totais anuais aumentam no sentido SE-NO, variando entre 1.000 mm no setor sudeste e 1.300 mm no noroeste. Estes resultados corroboram os estudos climatológicos de NIMER (1979), que encontrou valores médios anuais e orientação praticamente idênticos.

A precipitação anual concentra-se essencialmente nos meses de verão (DJF), com o valor acumulado médio neste período em torno de 50% do total. Cerca de 80% da precipitação anual concentra-se em cinco meses, entre novembro e março; enquanto os 20% restantes distribuem-se entre os meses de abril a outubro. Estes dados também corroboram os estudos de NIMER (1979), que encontrou o mesmo período de concentração máxima (DJF) e o também o mesmo percentual observado (50%). Embora tenha sido utilizado um período de apenas 12 anos de dados de precipitação, os resultados observados neste estudo não revelam evidências de mudanças no padrão espacial e no regime de chuvas da região, se comparados com os dados de NIMER (1979) para o período de 1931-1960.

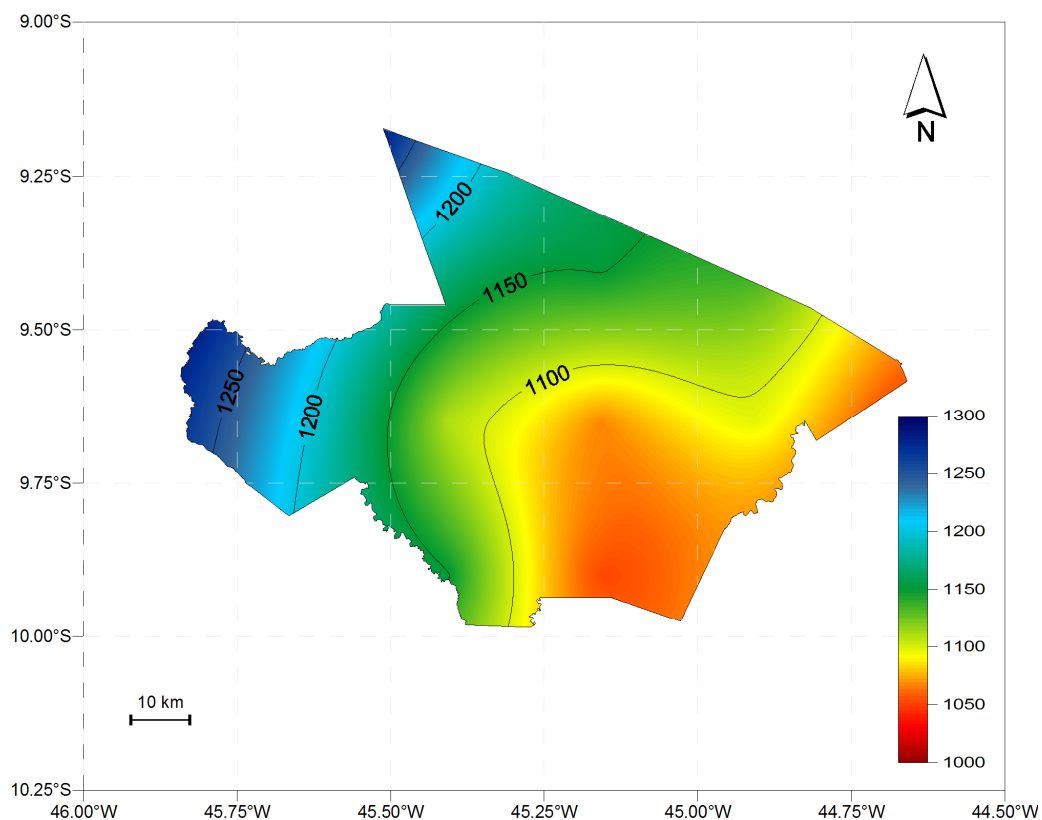


Figura 6: Precipitação média anual para a área de estudo no período de 1998 a 2009.

A Figura 7 mostra a distribuição sazonal da precipitação. Conforme citado anteriormente, cerca de 50% do total anual concentra-se nos meses de verão (DJF), com valores em torno de 600 mm. As estações de transição, outono (MAM) e primavera (SON), concentram em torno de 28% (330 mm) e 21% (240 mm), respectivamente. No período de inverno (JJA), apenas 1% da precipitação anual é observada, sendo o acumulado médio inferior a 10 mm.

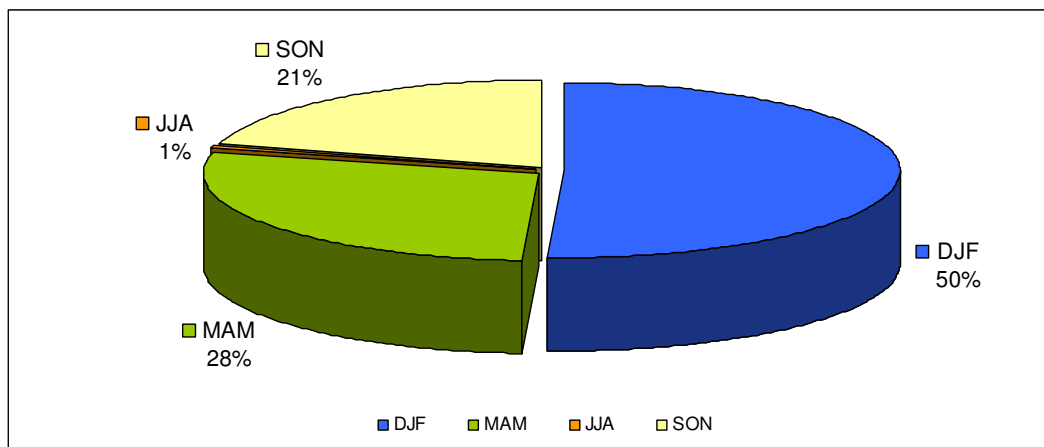


Figura 7: Distribuição sazonal da precipitação na área de estudo entre 1998 e 2009.

Entre os meses de dezembro e março, as médias mensais de precipitação ficam em torno de 200 mm. A Figura 8 mostra o comportamento da precipitação média mensal ao longo do ano. A partir do mês de abril as precipitações começam a decrescer até o período de junho a agosto, cujos valores são praticamente nulos. A partir de setembro, os volumes voltam a aumentar, atingindo seu ápice nos meses de verão, conforme já mencionado.

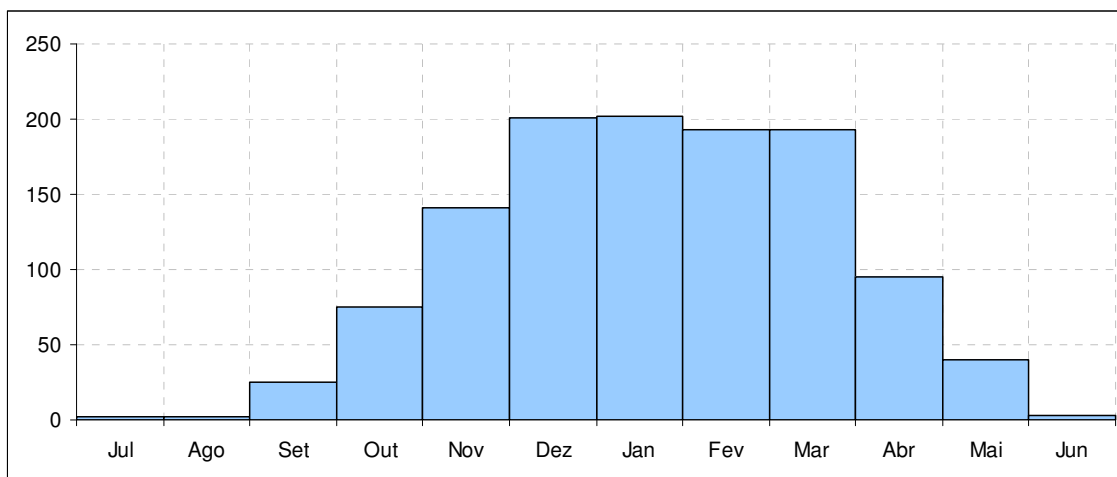


Figura 8: Médias mensais da precipitação na área de estudo entre 1998 e 2009.

A variabilidade interanual da precipitação no período pode ser observada na Figura 9. A partir dos resultados é possível verificar que, em apenas quatro anos (1998, 2001, 2003 e 2007), a precipitação ficou abaixo da média anual, o que corresponde a 33% do período analisado. Os maiores desvios negativos de precipitação ocorreram em anos de *El Niño* (1997/1998, 2002/2003, 2006/2007). Estes resultados corroboram os estudos prévios acerca da influência do fenômeno na variabilidade interanual da precipitação no Nordeste brasileiro.

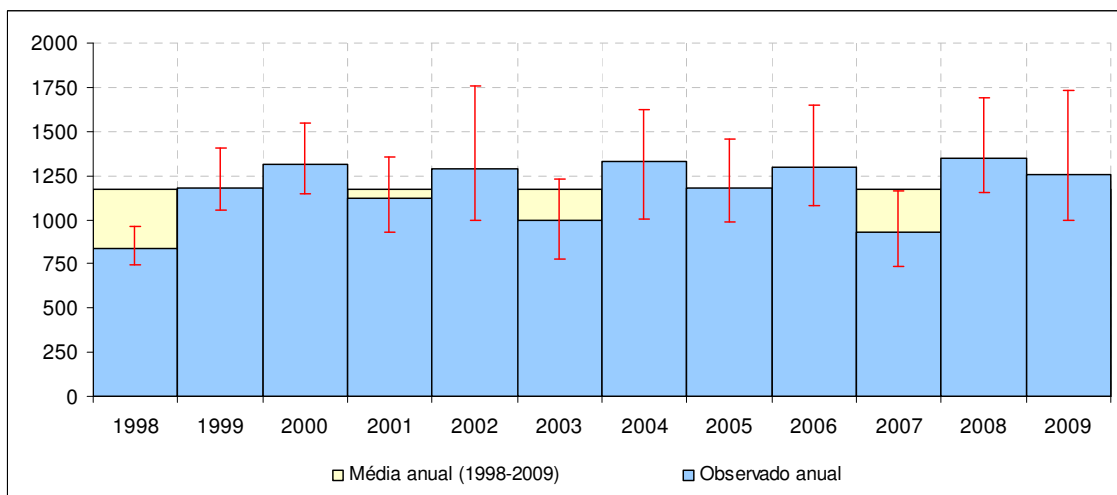


Figura 9: Variabilidade interanual da precipitação na área de estudo entre 1998 e 2009 (as barras vermelhas indicam os desvios máximos e mínimos observados nas 24 amostras).

A variabilidade sazonal da precipitação, ilustrada na Figura 10, mostra que as precipitações na estação chuvosa (DJF) ficaram acima da média em cinco verões: 1999/2000, 2001/2002, 2002/2003, 2003/2004 e 2006/2007. Destes cinco períodos, um ocorreu durante o fenômeno La Niña (1999/2000), dois em anos de El Niño (2002/2003 e 2006/2007) e dois em períodos neutros (2001/2002 e 2003/2004); sendo estes últimos os mais significativos, com acumulados superiores a 30% da média (cerca de 800 mm). Dessa forma, não foi possível observar uma associação clara entre os desvios sazonais positivos de precipitação na estação chuvosa com os eventos de ENOS.

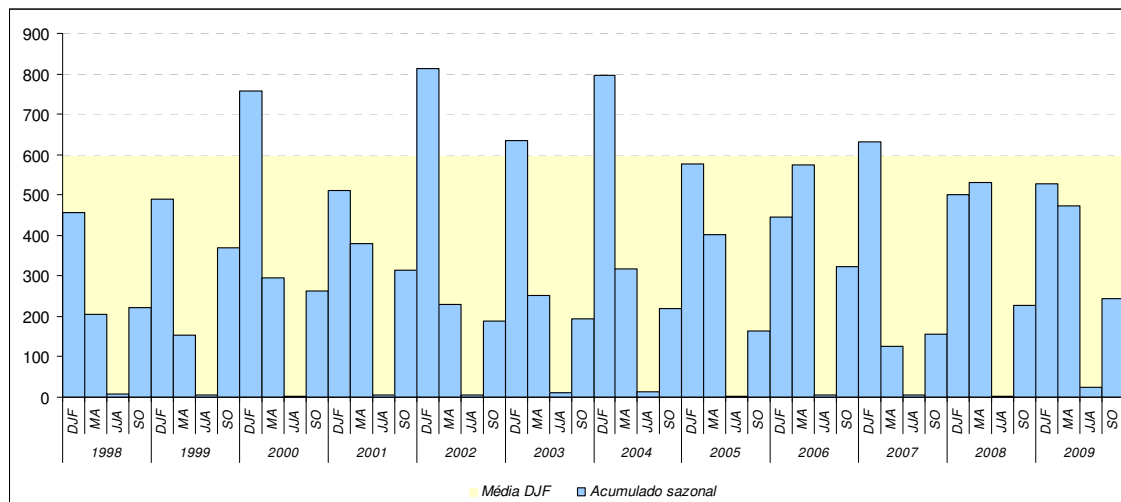


Figura 10: Variabilidade sazonal da precipitação na área de estudo entre 1998 e 2009.

### 3.3 Avaliação dos fatores associados às mudanças de cobertura da terra

Conforme já discutido no item 3.1, as classes de cobertura da terra que sofreram incremento ao longo do período de estudo foram: agropecuária (5%) e solo exposto (4%). As áreas em que foram observadas a expansão destas duas classes podem ser vistas na Figura 11.

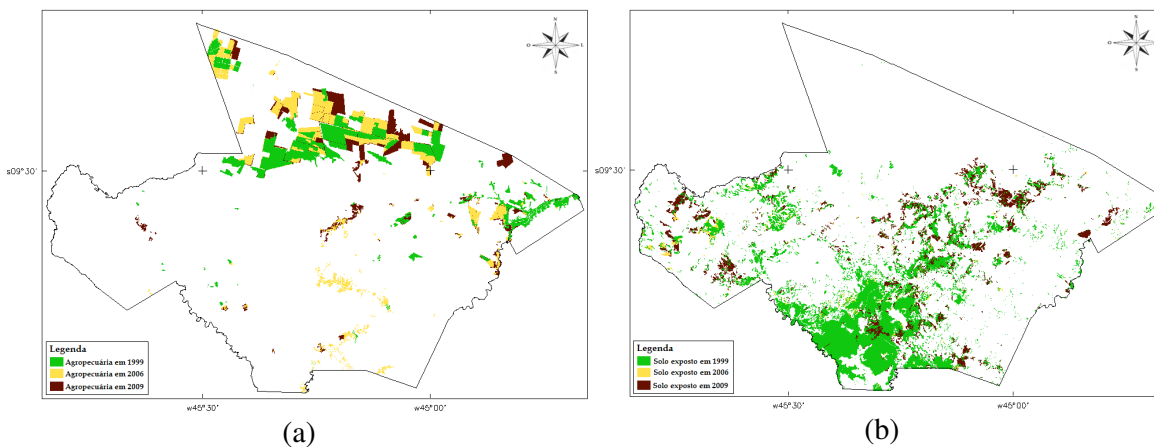


Figura 11: Expansão das áreas de agropecuária (a) e solo exposto (b) entre 1999 e 2009.

A partir da análise da Figura 11a, que mostra a evolução da classe agropecuária entre 1999 e 2009, é possível observar que o crescimento da atividade ficou restrito ao setor norte da região. Algumas áreas menos significativas surgiram na porção centro-sul, especialmente em 2006. Já as áreas de solo exposto apresentaram crescimento em dois eixos principais: nordeste e noroeste (Figura 11b). Esse aumento foi verificado, sobretudo, na imagem de 2009, já que o crescimento observado de 2006 em relação ao de 1999 foi de apenas 0,5%.

Com base na constatação de aumento das classes agropecuária e solo exposto, avaliou-se quais as condições físicas que propiciaram este aumento. Sabe-se que as atividades agropecuárias, em especial, são de origem antrópica, e que as áreas desertificadas podem ser resultantes de manejo inadequado do uso do solo. No entanto, existem condições físicas que favorecem ou dificultam este processo. Desse modo, procurou-se avaliar quais as condições que proporcionaram o aumento destas classes de cobertura, associando estas áreas com fatores físicos como a precipitação e tipos de solo. Estes fatores são discutidos a seguir.

### 3.3.1 Associação entre precipitação e a dinâmica de cobertura da terra

Nesta etapa, a precipitação média anual foi dividida em cinco classes equiprováveis, em intervalos de 50 mm. Em seguida, as áreas de crescimento das classes de agropecuária e solo exposto foram comparadas com as classes de precipitação. Para ilustrar a relação efetiva entre precipitação e dinâmica de cobertura da terra, o percentual de crescimento das classes de cobertura foi calculado também em relação à área de cada uma das classes de precipitação.

Em relação à agropecuária, a Figura 12 mostra a distribuição percentual do crescimento da atividade comparado com as classes de precipitação. Do crescimento total observado, aproximadamente 315 km<sup>2</sup> entre 1999 e 2009, 70% ocorreu em áreas com precipitações entre 1100 mm e 1200 mm/ano. Destaca-se ainda que 19% do crescimento ocorreram em áreas com os menores volumes anuais de precipitação da região, inferiores a 1100 mm; e apenas 11% em locais com valores superiores a 1200 mm.

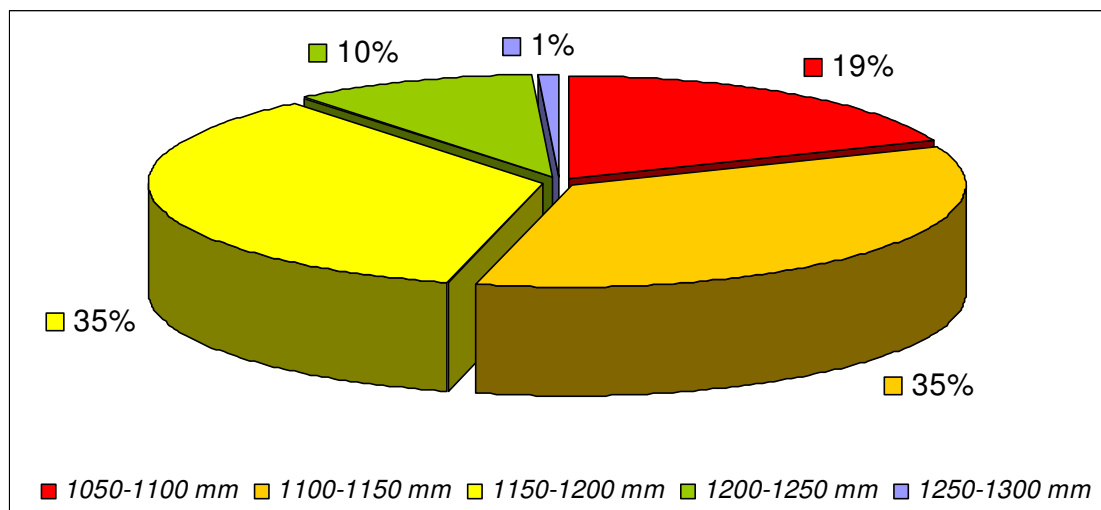


Figura 12: Distribuição percentual do crescimento da agropecuária em função da precipitação.

Nas áreas de solo exposto, ilustrada na Figura 13, é possível observar que, do crescimento total observado, cerca de 240 km<sup>2</sup>, 47% ocorreram nas áreas com os menores valores de precipitação, inferiores a 1100 mm. No intervalo seguinte, entre 1100 e 1150 mm, 28% de expansão das áreas desertificadas se deu nesta classe; e apenas 25% ocorreram em áreas com precipitações médias superiores a 1150 mm.

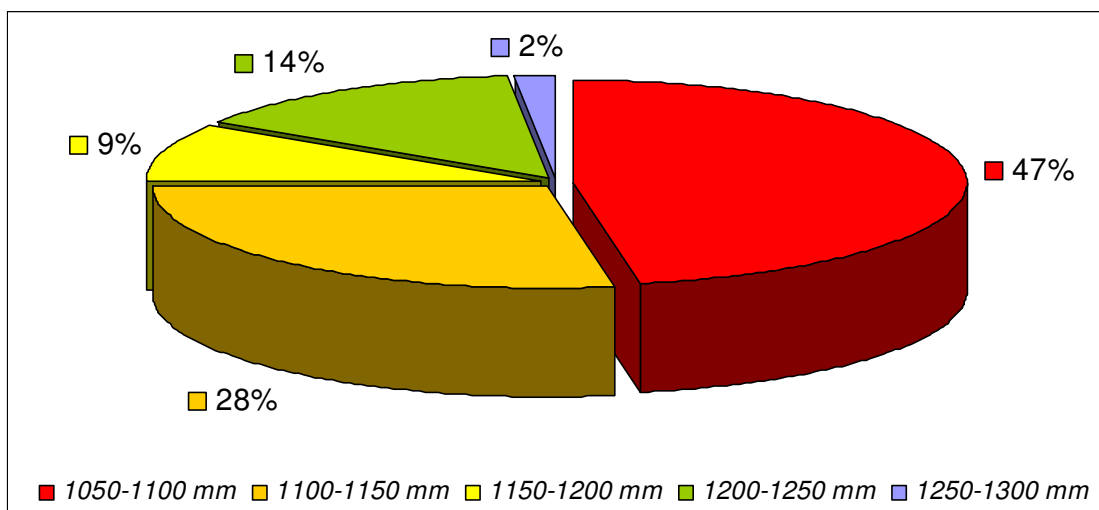


Figura 13: Distribuição percentual do crescimento do solo exposto em função da precipitação.

Convém destacar que as análises anteriores não consideram a área de cada uma das classes de precipitação. Para uma avaliação efetiva é necessário ponderar o percentual de crescimento das classes de cobertura da terra com a área total correspondente a cada uma das classes de precipitação. A Tabela 1 ilustra a comparação entre as classes de precipitação média anual e as classes de cobertura da terra que sofreram expansão no período de estudo.

Tabela 1: Comparação entre precipitação média anual e classes de cobertura da terra

Classes (mm)	Precipitação		Crescimento 1999-2009			
	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	Agropecuária		Solo exposto	
			(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)
1050-1100	2145	36%	59	2.8%	115	5.3%
1100-1150	1937	33%	111	5.7%	67	3.5%
1150-1200	1117	19%	111	10%	22	2%
1200-1250	525	9%	31	6%	35	6.6%
1250-1300	180	3%	2.7	1.5%	4.1	2.3%
<b>Total</b>	<b>5904</b>		<b>315</b>		<b>243</b>	

A partir da análise da Tabela 1 é possível observar que, dos 315 km<sup>2</sup> totais da classe agropecuária, 111 km<sup>2</sup> correspondem à classe de precipitação entre 1100 e 1150 mm, e 111 km<sup>2</sup> à classe 1150 a 1200 mm. No entanto, os mesmos 111 km<sup>2</sup> representam 6% no primeiro intervalo e 10% no segundo. Isto demonstra que o crescimento da classe agropecuária foi mais efetivo no intervalo entre 1150 e 1200 mm, já que proporcionalmente corresponde a uma área maior dentro da referida classe de precipitação.

Para a classe solo exposto, a análise da Tabela 1 revela que o crescimento de 115 km<sup>2</sup> de área, correspondente a 47% do total (Figura 13), equivale a 5% da área do intervalo entre 1050 e 1100 mm. O maior crescimento proporcional das áreas desertificadas foi observado na classe entre 1200 e 1250 mm, o que corresponde a 6,6% da área do intervalo.

A hipótese inicial desta análise seria de que a agricultura sofreria expansão nas áreas com os maiores valores de precipitação média anual, e que nas áreas desertificadas ocorreria o oposto, ou seja, aumentaria onde os acumulados anuais fossem menores. Em relação ao crescimento da agropecuária, esta tendência não foi observada, já que o maior aumento efetivo ocorreu nas classes intermediárias de precipitação, entre 1100 e 1250 mm. Acredita-se que a variação da precipitação média anual não é expressiva o suficiente na área de estudo, ficando em torno de 250 mm/ano (cerca de 20% da média), fator esse que pode ter levado a não confirmação da hipótese. Outra questão importante é que as áreas com os maiores acumulados anuais, superiores a 1200 mm, correspondem a apenas 12% da área de estudo.

Com relação às áreas de solo exposto, a hipótese parece ter sido confirmada uma vez que, do crescimento total observado, <sup>3</sup>/<sub>4</sub> ocorreram na área com os menores acumulados anuais, sendo estes inferiores a 1150 mm. No entanto, o percentual efetivo de crescimento para as classes de precipitação mostra uma pequena amplitude, variando entre 2% (1150 a 1200 mm) e 6,6% (1200 a 1250 mm) (Tabela 1). Esta variação, inferior a 5%, indica que, embora os valores em área tenham sido maiores para os locais com menor precipitação anual, o processo de desertificação tende a ocorrer proporcionalmente dentro dos intervalos de precipitação.

### 3.3.2 Associação entre tipos de solo e a dinâmica de cobertura da terra

A comparação entre as alterações de cobertura da terra e as classes de solo pode ser observada na Tabela 2. Inicialmente ressalta-se que a classe Latossolo Amarelo corresponde a mais da metade da área de estudo, totalizando 52%, seguida pelas Areias Quartzosas (23%), Solos Litólicos e Podzólico Vermelho-Amarelo (12%), e Solos Aluviais (1%). O crescimento da agropecuária se deu quase que exclusivamente sobre a área de Latossolo Amarelo, sendo o percentual efetivo dentro da referida classe de 10%. Cabe ressaltar que as atividades agropecuárias sofreram uma redução de 14% nas áreas de Solos Aluviais (Tabela 2).

Tabela 2: Comparação entre os tipos de solo da região e classes de cobertura da terra

<b>Classes</b> (Tipo)	<b>Solos</b>		<b>Crescimento 1999-2009</b>			
	<b>Área</b> (km <sup>2</sup> )	<b>(%)</b>	<b>Agropecuária</b>		<b>Solo exposto</b>	
			(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)
Latossolo Amarelo	3072	52%	320	10%	116	3.8%
Areias Quartzosas	1343	23%	1.5	0.1%	59	4.4%
Solos Litólicos	724	12%	0.4	0.1%	30	4.2%
Podzólico Vermelho-Amarelo	683	12%	5.6	0.8%	33	4.9%
Solos Aluviais	82	1%	-12	-14%	4.7	5.7%
<b>Total</b>	<b>5904</b>		<b>315</b>		<b>243</b>	

As áreas de solo exposto, assim como a agricultura, expandiram-se preferencialmente na classe Latossolo Amarelo, em torno de 116 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 48% do total. A seguir encontram-se as Areias Quartzosas com 59 km<sup>2</sup> (24%), Podzólico Vermelho-Amarelo 33 km<sup>2</sup> (14%), Solos Litólicos 30 km<sup>2</sup> (12%) e Solos Aluviais 4,7 km<sup>2</sup> (2%) (Figura 14 e Tabela 2).

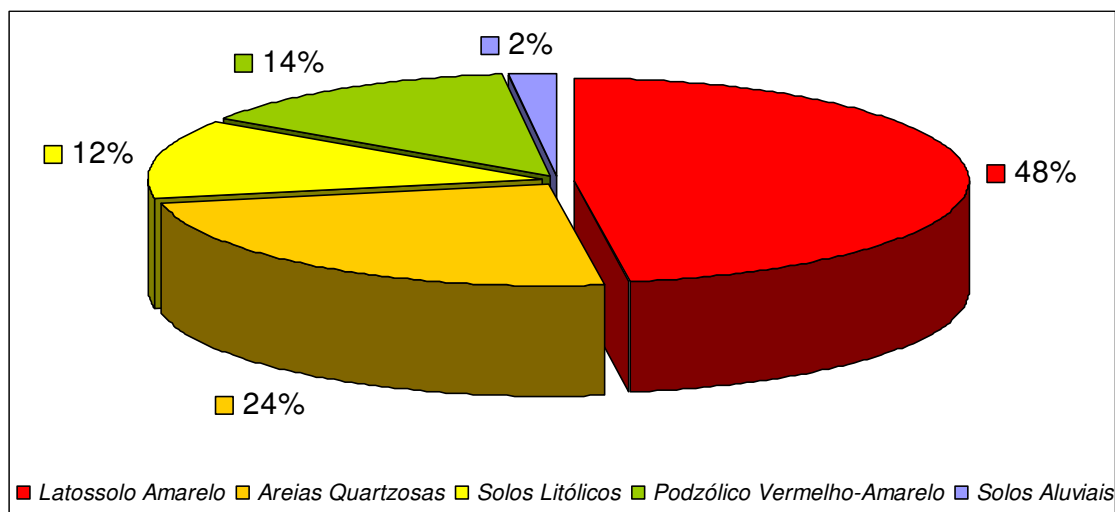


Figura 14: Distribuição percentual do crescimento do solo exposto em função dos solos.

Nesta avaliação, a hipótese levantada foi a de que, tanto as atividades agropecuárias, quanto as áreas desertificadas, estivessem associadas a um determinado tipo de solo. Esta hipótese foi confirmada apenas para a classe agropecuária, cujo aumento da área ocorreu na classe Latossolo Amarelo que, dentre os solos da região, é um dos mais favoráveis a estas atividades. Outro fator que reforça esta afirmativa são as áreas de Solos Aluviais que deixaram de concentrar este tipo de atividade.

No entanto, em relação às áreas de solo exposto, embora o aumento em área tenha sido maior na classe Latossolo Amarelo, concentrando quase metade da expansão (48%); o percentual efetivo de crescimento teve uma amplitude muito pequena, inferior a 2%, variando entre 3,8% e 5,7% (Tabela 2). Este resultado sugere que o processo de desertificação não está condicionado ao tipo de solo, conforme levantado na hipótese.

#### 4 CONCLUSÕES

A análise da dinâmica das mudanças de cobertura da terra do Núcleo de desertificação de Gilbués, entre 1999 e 2009, revelou que as áreas de cerrado sofreram uma redução de 9%, o equivalente a 550 km<sup>2</sup>. Em contrapartida, as atividades agropecuárias e as áreas desertificadas ocuparam o lugar do cerrado, crescendo 5% e 4%, respectivamente.

As médias anuais de precipitação na região variam entre 1050 mm no setor sudeste e 1300 mm no noroeste. A precipitação anual concentra-se essencialmente nos meses de verão (DJF), com o acumulado médio neste período em torno de 50% do total.

Em relação à dinâmica da precipitação da região, os resultados observados neste estudo, tanto para a climatologia quanto para a variabilidade sazonal, não revelaram evidências de mudanças no padrão espacial e no regime de chuvas.



A análise da variabilidade interanual mostrou que os eventos de secas ocorreram em anos de El Niño. Já em relação aos desvios sazonais positivos na estação chuvosa, não foi possível observar uma associação com os eventos de ENOS.

O crescimento da agropecuária ocorreu, sobretudo, nas classes de precipitação entre 1100 e 1250 mm e nas áreas de Latossolo Amarelo. Observou-se uma associação clara entre a expansão das atividades agropecuárias e os tipos de solo; no entanto, o mesmo não aconteceu em relação à precipitação.

As áreas de solo exposto expandiram-se em locais com precipitação média anual inferior a 1150 mm, sendo  $\frac{3}{4}$  do crescimento total observados neste setor. No entanto, o processo de desertificação não revelou associação direta com a precipitação, já que as áreas expandiram-se proporcionalmente de acordo com os intervalos. Em relação aos tipos de solo, o crescimento das áreas desertificadas foi também proporcional à área da classe. Sendo assim, o processo de desertificação não parece estar condicionado à precipitação, nem aos tipos de solo.

A partir dos resultados obtidos no presente estudo, faz-se necessário considerar outras variáveis do meio físico para a avaliação da dinâmica de cobertura da terra, tais como geomorfologia, geologia, hidrografia, entre outras. Além disso, torna-se importante analisar a relação entre a área total de cada uma das classes de cobertura em função das características físicas do meio.

Salienta-se ainda que a dinâmica de uso e ocupação do território está estreitamente associada às atividades antrópicas, que contribuem decisivamente para as alterações observadas. Portanto, é importante considerar também este aspecto em trabalhos futuros.

### **Agradecimentos**

Ao Dr. Edison Crepani pela disponibilização do Banco de Dados Geográfico dos municípios de Gilbués e Monte Alegre contendo as informações pedológicas.

### **Referências**

Andrade, G. O. (1972) Os climas. In: Azevedo, A. (org.) Brasil, a terra e o homem. 2.ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional. v.1, p. 397-462.

Andrade, K. S. (2008) Degradação ambiental e risco a desastres de desertificação nos municípios de Serra Branca e Coxixola (Cariri Paraibano) e Mirandela (Portugal): uma análise comparativa. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba.

Bagnouls, F.; Gaussen, H. (1962) Estação seca e índice xerotérmico. Boletim Geográfico, ano XX, n. 169. (Tradução de Ruth Simões Bezerra dos Santos).

Crepani, E.; Medeiros J. S. de; Palmeira, A. F.; Silva, E. F. da – Relatório do Banco de Dados Geográficos de parte do Núcleo de Desertificação de Gilbués (Municípios de Gilbués e Monte Alegre do Piauí). São José dos Campos: INPE, jan. 2008. 254 p. (INPE-15186-RPQ/814).

FAPEPI (2006) Fundação de Amparo à pesquisa do Estado do Piauí. Informativo científico da FAPEPI. Disponível em <http://www.fapepi.pi.gov.br/sapiencia7/pesquisa1.php>.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2001). Tutorial – SPRING. Spring Básico. São José dos Campos.

INPE/CPTEC – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (2010). El Niño e La Niña. Disponível em <http://enos.cptec.inpe.br/>.

Jacomine, P. K. T. et al. (1986) Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Maranhão – Convênio de mapeamento de solos EMBRAPASNLCS/SUDENE-DRN. Rio de Janeiro, 964 p.

Kayano, M. T.; Andreoli, R. V. (2009) Clima da Região Nordeste do Brasil. In: Cavalcanti et al. (org). Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos. p. 213-233.

Köppen, W. (1948) Climatología; con un Estudio de los Climas de la Tierra. México: Fondo de Cultura Económica. 478 p.

Monteiro, C. A. F. (1971) Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade em São Paulo. Climatologia. São Paulo, n. 1, p. 1-21.

Nimer, E. (1979) Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE. 422 p.

Oliveira-Galvão, A. L. C.; Saito, C. H. (2003) Mapeamento sobre desertificação no Brasil: uma análise comparativa. Revista Brasil Floresta, v 23, n 77.

ONU (1997) Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação. Brasília, Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal.

Ross, J. L. S. (2001) Geografia do Brasil. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 4a ed.

Sales, M. C. L. (2003) Degradação Ambiental em Gilbués, Piauí. Mercator - Revista de geografia da UFC, ano 2, n 4.

Souza, S.S.; Tomasella, J.; Gracia, M. G.; Amorim, M. C.; Menezes, P. C. P.; Pinto, C. A. M. (2001) O Programa de Monitoramento Climático em Tempo Real na área de atuação da SUDENE – PROCLIMA. Boletim da Revista Brasileira de Meteorologia, 25, 15-24.