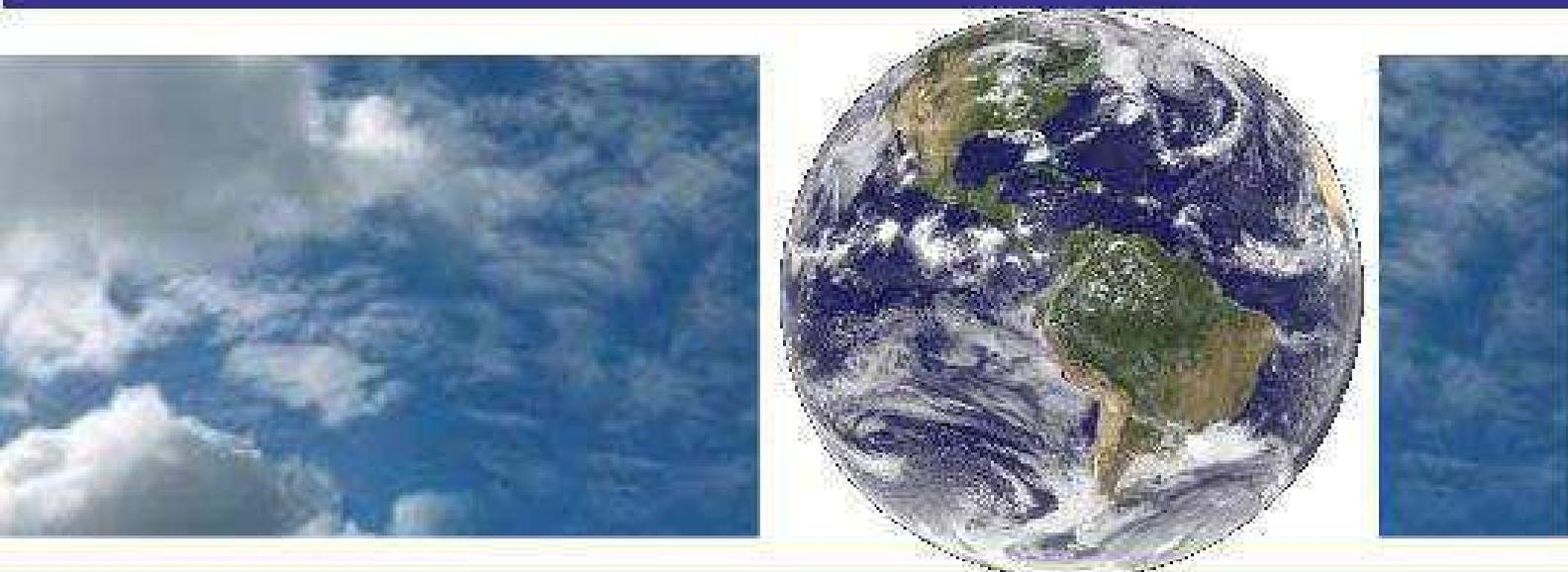


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
METEOROLOGIA**



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

José Ricardo Ferreira Lopes

**Variabilidade espaço-temporal da pluviometria no
semiárido brasileiro e sua relação com a
produtividade do milho**

Campina Grande (PB), Dezembro de 2016.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS – CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS – UACA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

**VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PLUVIOMETRIA NO SEMIÁRIDO
BRASILEIRO E SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DO MILHO**

CAMPINA GRANDE – PB
DEZEMBRO, 2016

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS – CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS – UACA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

JOSÉ RICARDO FERREIRA LOPES

**VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PLUVIOMETRIA NO SEMIÁRIDO
BRASILEIRO E SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DO MILHO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Mestre em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva

Área de Concentração: Meteorologia Agrícola e Micrometeorologia

Linha de Pesquisa: Meteorologia Aplicada à Agricultura e Micrometeorologia

Campina Grande – PB

Dezembro de 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

L864v

Lopes, José Ricardo Ferreira.

Variabilidade espaço-temporal da pluviometria no semiárido brasileiro e sua relação com a produtividade do Milho / José Ricardo Ferreira Lopes. – Campina Grande, 2017.

64 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2016.

"Orientação: Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva".

Referências.

1. Análise Multivariada. 2. Tendências Climáticas. 3. Produtividade Agrícola. I. Silva, Vicente de Paulo Rodrigues da. II. Título.

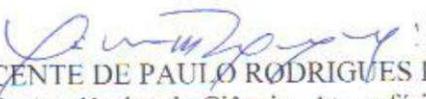
CDU 551.58:633(043)

JOSÉ RICARDO FERREIRA LOPES

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PLUVIOMETRIA NO SEMIÁRIDO
BRASILEIRO E SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DO MILHO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 02/12/2016

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Profa. Dra. CELIA CAMPOS BRAGA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. INAJÁ FRANCISCO DE SOUSA
Departamento Engenharia Agrônoma
Centro de Ciências Agronômicas Aplicadas
Universidade Federal de Sergipe

A Deus, por me dar forças todos os dias
nessa caminhada.

A meus Pais, José Lopes e Maria das
Dores, por toda dedicação destinada a
mim, a meus Irmãos Rafael e Romário
por todo apoio e compreensão.

A todos os meus familiares e amigos por
entenderem minhas ausências.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por tudo na minha vida. A começar pela minha família, meu porto seguro!

A meus pais José Lopes e Maria das Dores, meu mais sincero agradecimento por toda dedicação, todo amor e todo zelo, por me apoiarem em todos os momentos da minha vida acadêmica. Irei sempre dar o melhor de mim para retribuir todo o melhor que vocês poderão me dar.

Aos meus irmãos Rafael Lopes e Romário Lopes pelo carinho, amizade, confiança e por estarem sempre ao meu lado.

A meu orientador Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva pela paciência, compreensão e amizade. Por ter dividido comigo seus conhecimentos e destinado um pouco do seu precioso tempo em prol da minha formação profissional.

Agradeço também, aos membros da banca, Dra. Célia Campos Braga e Dr. Inajá Francisco de Sousa, pelas valiosas contribuições para este trabalho.

Agradeço a meus colegas que ingressaram junto comigo neste curso de Pós-graduação: Adriana Souza, Alécio Rodrigues, Elloise Lourenço, Gabriella Oliveira, Irene Cristina, Jefferson Melo, José Filho, Leydson Galvínio, Leonardo Fagner, Maryana Cavalcante, Nayara Arroxelas, Rafaela Vilar, Thaís Benevides e Valneli Melo por dividirem alegrias, tristezas, angústias e agora esse momento de grande felicidade!

As amigas adquiridas Alexandra Tavares, Roberta Araújo, Milla Nóbrega, obrigado pela companhia, pela partilha de conhecimentos e pelas amigas firmadas.

Um agradecimento especial a Milena Dantas pela ajuda na confecção das figuras.

As secretárias Divanete e Arilene pela ajuda, paciência e competência na resolução dos problemas do dia-a-dia da pós-graduação.

A todos os professores da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas pela atenção e pelos ensinamentos ministrados com zelo, carinho e esforço. Vocês formam uma grande equipe.

A todos vocês, o meu mais sincero obrigado!

RESUMO

A produtividade de diversas culturas agrícolas é intensamente dependente da oferta pluviométrica, bem como de sua frequência e intensidade. O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento espaço-temporal da precipitação e da produtividade do milho na região semiárida brasileira (SAB). Para isso foram utilizadas as técnicas da Análise dos Componentes Principais (ACP), Análise de Agrupamento (AA) e o teste de Mann-Kendall para identificar tendências das variáveis para o período de 1990 a 2014. Os resultados mostraram que não há uma uniformidade na distribuição espaço-temporal da precipitação, haja vista que diversos fatores, sejam eles a atuação de sistemas atmosféricos ou posição geográfica influenciam nos totais pluviométricos da região. Na maior parte do território do SAB a produtividade do milho é inferior a 1000 kg/ha. A AA possibilitou dividir a região do SAB em 4 grupos. Os grupos 1 e 4 apresentaram uma pequena tendência negativa na precipitação, mas com valores positivos na tendência de produtividade do milho. Já os grupos 2 e 3 apresentaram tendências positivas tanto na precipitação como na produtividade do milho. A produtividade média do milho nas últimas décadas tem sido variada e está intimamente relacionado com a variabilidade climática. O efeito das chuvas sobre a produtividade do milho foi estatisticamente positivo, ou seja, na maior parte da região SAB, a eficiência da produção do grão é dependente das precipitações pluviométricas locais.

Palavras-chave: Análise multivariada; Tendências climáticas; Produtividade agrícola.

ABSTRACT

The productivity of various agricultural crops is strongly dependent on the rainfall supply, as well as on its frequency and intensity. The objective of this work was to evaluate the spatio-temporal behavior of corn rain and yield in the Brazilian semi-arid region (BSA). The Principal Component Analysis (PCA), Grouping Analysis (AA) and Mann-Kendall tests were used to identify trends of the variables for the period from 1990 to 2014. The results showed that there is no uniformity in the distribution of precipitation, given that several factors, whether the performance of atmospheric systems or geographic position influence the region's total rainfall. In most of the BSA territory maize productivity is less than 1000 kg / ha. AA allowed the BSA region to be divided into 4 groups. Groups 1 and 4 presented a small negative trend in precipitation, but with positive values in maize productivity trend. Groups 2 and 3 presented positive trends in both rain and corn yield. The average maize yield in the last decades has been varied and is closely related to climatic variability. The effect of rainfall on maize productivity was statistically positive, that is, in most of the BSA region, grain yield efficiency is dependent on local rain.

Keywords: Multivariate analysis; Climate trends; Agricultural productivity.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
2.	REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1.	A região semiárida brasileira	12
2.2.	Importância econômica do milho	13
2.2.1.	<i>Panorama Nacional</i>	13
2.3.	A influência da variabilidade climática na produtividade do milho	14
2.4.	Relação entre variáveis climáticas e produtividade das culturas	16
2.5.	Uso da técnica multivariada a dados climáticos e agrícolas	18
2.6.	Tendências climáticas e o teste de Mann-Kendall	20
3.	MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1.	Área de estudo	22
3.2.	Dados	24
3.3.	Métodos	25
3.3.1.	<i>Análise fatorial em componentes principais</i>	25
3.3.2.	<i>Análise de Agrupamento</i>	27
3.3.3.	<i>Teste de Mann-Kendall</i>	28
3.3.4.	<i>Correlação e Teste de Significância</i>	30
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
4.1.	Climatologia e tendências pluviométricas	31
4.2.	Variabilidade interanual pluviométrica	34
4.3.	Produtividade do milho e suas tendências	37
4.4.	Variabilidade interanual produtividade do milho	40
4.5.	Análise de agrupamento na região semiárida brasileira	43
4.6.	Tendências da precipitação e da produtividade do milho das regiões homogêneas	48
4.7.	Correlação entre a precipitação e a produtividade do milho	51
5.	CONCLUSÕES	54
	REFERÊNCIAS	56

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos os esforços para o conhecimento das forças da natureza é uma temática de grande preocupação por parte de pesquisadores, principalmente no que se refere a um possível aumento de eventos extremos na agricultura. O estudo da variabilidade espaço-temporal de séries meteorológicas, além de contribuir na delimitação das áreas mais propícias ao plantio/semeadura de culturas, indica também os períodos. Além disso, tal estudo pode trazer informações importantes sobre possíveis descontinuidades climáticas, tendências ou periodicidades, auxiliando o estudo das forças moduladoras das condições meteorológicas em uma região (Blain, 2009).

A região Semiárida Brasileira (SAB) se caracteriza por um marcante regime pluviométrico com extrema irregularidade espacial e temporal das chuvas. É uma região com grande escassez de água que muitas vezes afeta seu desenvolvimento socioeconômico, como também diversos setores, tais como: agropecuária, engenharia e produção de energia, indústria, etc. No setor da economia, a agricultura é uma das atividades mais vulneráveis a estas mudanças, sendo a responsável por grande parte das exportações brasileiras, bem como pela geração de milhares de empregos. As mudanças climáticas podem afetar os sistemas agrícolas regionais com sérias consequências na produção de alimentos. A precipitação pluvial na parte SAB constitui uma das variáveis mais importantes do clima e está diretamente ligada a produção agrícola, em especial à agricultura de sequeiro, a qual é responsável por a maior parte da produção dos produtos agrícolas e fonte de renda para a população. Nesse sentido, é importante identificar áreas críticas para cultivos e de menor risco à prática da agricultura, pois, mesmo sem o uso de consideráveis volumes de água, podem-se obter produções economicamente viáveis, quando se atende às exigências hídricas nos estádios de maior necessidade, principalmente nos períodos críticos da cultura (Oliveira, 1996).

Estudos que analisam a variabilidade climática em áreas de importância socioeconômica são de proeminente importância, sendo que por meio desses estudos é possível conhecer os problemas da região para, assim, tentar viabilizar um possível planejamento de políticas e ações no setor social, econômico e ambiental (Da Silva, 2009; Reis, 2016).

A cultura do milho (*Zea mays* L.), componente importante da economia dessa região, sofre instabilidade de cultivo, causada, principalmente, pela condicionante climática e hídrica. Mesmo estando inserida neste cenário adverso, esta cultura está dispersa por toda a

região SAB, dada a sua importância cultural, econômica e social, sendo explorada em diferentes condições ambientais e nos mais variados sistemas de cultivo, indo desde aqueles tradicionais, caracterizado pela agricultura de subsistência, até os mais modernos, que procuram explorar o máximo a potencialidade da cultura, por meio do uso de tecnologias contemporâneas de produção.

Bergamaschi et al. (2004) descreveram que a produtividade do milho e como toda cultura agrícola é fortemente dependente de precipitações, sobretudo quando trata-se de uma cultura sequeiro, a falta ou excesso de água pode comprometer o preparo do solo, e toda a sua cadeia produtiva. Existem diferentes técnicas sendo usadas para diagnosticar a influência/relação entre variáveis climáticas e variáveis de produtividade das principais culturas agrícolas, na tentativa de obter informações que auxiliem no processo de tomada de decisão. Muitos trabalhos utilizaram técnicas de análise multivariada aplicadas a dados climáticos e de rendimento agrícola realizado por meio de análises de séries históricas (Meyer et al., 1991; Dias et al., 1999; Sousa et al., 2011; Cai et al., 2013; Silva et al., 2015).

Já para a detecção de tendências e/ou variações climáticas, o teste de tendências de Mann-Kendall, indicado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), é o mais usado para testar tendências em séries temporais hidrológicas e climatológicas, principalmente porque ele é um teste simples e robusto. Estudos como Rusticucci e Penalba (2000), Minetti et al. (2003), Silva (2004), Haylock et al. (2006), Campos e Ruivo (2009), Santos e Manzi (2011), Lopes e Da Silva (2016), dentre outros, aplicaram esse teste para diferentes variáveis meteorológicas. Contudo, nenhum desses trabalhos trata da tendência da produtividade agrícola do milho no SAB provocadas pelas irregularidades de chuva na região.

Diante do exposto e considerando a importância da temática, o objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento espacial e temporal da precipitação e correlacionar essa variável com a produtividade agrícola do milho na região do SAB além de analisar possíveis tendências na precipitação e sua influência na produtividade de milho na área de estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A região semiárida brasileira

O semiárido caracteriza-se por um marcante regime pluviométrico com extrema irregularidade de chuvas, espacial e temporal. Nesse ambiente, marcado pela escassez de água compõe um forte percalço ao desenvolvimento socioeconômico e, até mesmo, à subsistência da população. Ocorrência cíclica das secas e seus efeitos catastróficos são por demais conhecidos e retornam aos primórdios da história do Brasil (Moreira Filho et al., 2002). Esses eventos afetam diretamente à produção agropecuária, sendo os principais responsáveis pelo sucesso, ou não, dessa importante atividade na região.

O SAB é o mais chuvoso do planeta, cuja pluviosidade é, em média, 750 mm/ano (variando, dentro da região, de 250 mm/ano a 800 mm/ano), é também o mais populoso (Malvezzi, 2007). O subsolo é formado em 70% por rochas cristalinas, rasas, o que dificulta a formação de mananciais perene e a potabilidade da água, normalmente salinizada. Há déficit hídrico, mas essa expressão não significa há falta de chuva ou de água. O grande problema é que a chuva que cai é menor do que a água que evapora. A evaporação é de 3.000 mm/ano, três vezes maior do que a precipitação, logo, a captação da água da chuva é uma das formas mais simples, viáveis e baratas para se viver nesta região (Malvezzi, 2007).

Em regiões semiáridas como o Nordeste do Brasil (NEB), o monitoramento de precipitação, por exemplo, é importante ferramenta para tomada de decisões que tragam benefícios para a população. Atualmente, um monitoramento da precipitação pluviométrica é indispensável para mitigar as secas e enchentes (Paula et al., 2010). Um novo trabalho intitulado “Nova Delimitação do Semiárido”, de 2005, desenvolvido pelo Ministério da Integração Nacional mudou a delimitação do semiárido recentemente em função de alguns critérios tomados por àquele órgão, com isto, o território desta região passou dos 892.309,4 km², corrigido posteriormente aos números supracitados, para 969.589,4 km² e sua população abrangia cerca de 21 milhões de habitantes, tomando como base o censo do IBGE do ano 2000. Minas Gerais teve o maior número de inclusões na nova lista, dos 40 municípios anteriores, passou para 85, variação de 112,5%. A área do Estado que fazia anteriormente parte da região era de 27,2%, tendo aumentado para 51,7%. Segundo o IBGE (2011), em 2010 a região Nordeste contava com uma população de 53 milhões de habitantes. Ao passo que a denominada região Semiárida contava com aproximadamente 25 milhões de habitantes, em que pese suas características bastante severas em condições ambientais. Estudos apontam

que o futuro do Semiárido passará pela multiplicação de reservatórios que capturem a água de chuva e não permita a evaporação, como as cisternas para o consumo humano e para produção. Mais de quarenta tecnologias sociais estão sendo desenvolvidas e implantadas, obedecendo à lógica da convivência com o Semiárido (Malvezzi, 2007).

2.2. Importância econômica do milho

O milho é uma planta da família *Poaceae*, originária da América Central, sendo cultivada em praticamente todas as regiões do mundo, nos hemisférios norte e sul, em climas úmidos e regiões secas. Trata-se de um alimento rico em carboidratos, considerado como energético; é também fonte de óleo, fibras, vitaminas E, B1, B2 e ácido pantotênico, além de alguns minerais, como o fósforo e o potássio (Matos et al., 2006). A importância econômica do milho é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, que se estende desde a agricultura familiar até a indústria de alta tecnologia. É uma cultura temporária e bastante importante na produção na alimentação animal, representa a maior parte do consumo deste cereal, isto é, cerca de 70% no mundo, principalmente na forma de rações, onde aparece como componente principal, devido o seu alto valor energético (Cruz, et al., 2011).

Em função de seu potencial produtivo, composição química e valor nutritivo, o milho constitui-se em um dos mais importantes cereais consumidos e é o mais produzido no mundo. Segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), nos últimos cinco anos, a produção média foi de 778,8 milhões de toneladas. Com relação à área, o milho ocupa o segundo lugar no panorama mundial, com uma área de 161,9 milhões de hectares plantados. A evolução da produção mundial de milho vem sendo expressiva nas últimas duas décadas, passando de 453 milhões de toneladas obtidas no final da década de 80 para as atuais 860,1 milhões estimadas na safra 2011/12, o que corresponde a um aumento de 90% no período (OCDE, 2014).

2.2.1. Panorama Nacional

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2015), na última safra 2014/2015, a produção brasileira total de milho situou-se em 84 milhões de toneladas. A área cultivada, considerando-se as duas safras, é de 15,7 milhões de hectares; observa-se uma tendência de decréscimo na área cultivada na primeira safra, em contrapartida, está ocorrendo uma expansão no plantio da segunda safra.

Os maiores produtores mundiais de milho são os Estados Unidos, China e Brasil, que, em 2009, produziram: 333,01; 163,12; e 51,23 milhões de toneladas, respectivamente. Apesar de está entre os três maiores produtores, o Brasil não se destaca entre os países com maior nível de rendimento, devido ao grande número de pequenos produtores que cultivam esse grão (FAO, 2011). A importância desta cultura ainda está relacionada ao aspecto social, pois a maioria dos produtores não são tecnificados, não possuem grandes extensões de terras, mas dependem dessa produção para viver (Duarte, 2010). Porém com o uso de novos híbridos mais produtivos, associado ao emprego de práticas culturais modernas, este cenário vem melhorando. Pois apesar da redução na área total cultivada, observa-se que a produção tem crescido, atingindo bons índices de produtividades, com médias que nas últimas temporadas situou-se em 4.020 kg/ha, cerca de 68% acima dos patamares obtidos nos anos 90, quando a média foi de 2.387 kg/ha (Padrão et al., 2012).

Faz dez anos que o Brasil entrou como um importante ator no cenário do mercado internacional do milho. A partir da safra 2000/01, quando foram exportadas 5,62 milhões de toneladas, os embarques só aumentaram, porém ainda não há uma regularidade no fluxo exportado. Entre 2006 e 2009 foram exportadas, em média, 7,26 milhões de toneladas. O volume recorde foi em 2007, quando o Brasil exportou 10,9 milhões de toneladas. Em 2010, o país voltou a exportar uma grande quantidade, quase atingindo o desempenho de 2007 (Demarchi, 2011).

O estado do Mato Grosso é líder na produção brasileira de milho (20.763,4 mil ton), participando, em média, por 24% da produção total. O Paraná vem se firmando como segundo produtor nacional, respondendo, em média, por 14% do total produzido pelo país. Minas Gerais, tradicional estado produtor do cereal, vem na terceira posição, com uma participação média de 12% do total produzido (CONAB, 2015). Neste contexto, pode-se, portanto, afirmar que há uma clara dualidade na produção de milho no Brasil. Uma grande parcela de pequenos produtores que não se preocupa com a produção comercial e com altos índices de produtividade, e uma pequena parcela de grandes produtores, com alto índice de produtividade, usando mais terra, mais capital e mais tecnologia na produção de milho (Guimarães, 2007).

2.3. A influência da variabilidade climática na produtividade do milho

A produtividade do milho assim como todas as culturas agrícolas é fortemente condicionada às chuvas, tanto para cultivos de sequeiro quanto para o armazenamento de água

na intenção de cultivos irrigados. Sobretudo, quando se trata de uma cultura de sequeiro a sua falta ou excesso pode comprometer toda a sua cadeia produtiva (preparo do solo, plantio, tratos culturais, colheita, armazenamento, beneficiamento e comercialização), ou seja, é fortemente afetada pelo volume das chuvas (Resende et al,1993).

Fontana e Berlato (1996) avaliaram a influência do fenômeno ENOS sobre a precipitação pluvial e sobre o rendimento de milho no Estado do Rio Grande do Sul. Os autores verificaram desvios positivos da média de precipitação nos meses de setembro e outubro e desvios negativos nos meses de novembro a abril, para as localidades de Passo Fundo e Cruz Alta. Os meses com desvios negativos de precipitação coincidem com os meses mais críticos para o desenvolvimento das culturas de primavera-verão. Os autores concluíram que a variabilidade da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul está relacionada ao fenômeno ENOS e essa variabilidade tem influência sobre a produtividade das culturas de milho e soja no Estado.

Alves et al. (1997) apresentam que a produção e conseqüentemente a produtividade de milho e de feijão no estado do Ceará são fortemente afetadas por anos de ocorrência de episódios El Niño, em particular quando este está acompanhado de um Dipolo de TSM positivo nas águas do Atlântico Tropical. Ferreira (2005) evidenciou que o fenômeno El Niño favoreceu as produtividades de milho em praticamente todos os Estados da região Sul e Sudeste do Brasil, exceto em São Paulo que manteve o equilíbrio entre as produtividades positivas e negativas de milho. Quanto às produtividades de soja, o Estado do Rio Grande do Sul foi favorecido apresentando impactos positivos na produtividade. O Estado de Minas Gerais apresentou impactos negativos, enquanto que o Estado do Paraná apresentou equilíbrio entre os desvios negativos e positivos de produtividade da soja.

Manosso (2005) realizou um estudo sobre a produtividade de milho, soja e trigo e suas relações com a precipitação pluviométrica no município de Apucarana (PR) no período de 1968 a 2002. Este autor relacionou a distribuição da precipitação pluviométrica ao longo desse período com a produtividade agrícola a fim de entender a relação existente entre a precipitação pluviométrica e as quedas de produtividade no mesmo período. Para o milho constatou-se que as maiores relações entre área colhida, produção e precipitação pluviométrica ocorreram nos períodos de excedente hídrico no estágio de colheita e déficit hídrico nos momentos de desenvolvimento precoce ou intermediário da planta.

Meneses (2006) estudando a influências das anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico Equatorial e no Atlântico Tropical sobre a duração dos maiores veranicos dentro das estações chuvosas das micro e mesorregiões do estado da

Paraíba, e as relacionou com as produções de cana-de-açúcar, Arroz, Abacaxi, algodão, sisal, milho e feijão. Foram encontrados resultados que mostraram que os veranicos do leste do Estado são influenciados pelas condições do Atlântico Tropical, enquanto os da parte central e oeste são diretamente afetados pelas condições do Pacífico Equatorial. As produções agrícolas da parte leste aparentemente não foram diretamente afetadas pelos veranicos, enquanto as da parte central e oeste, principalmente milho e feijão, sofreram fortes influências dos veranicos.

Araújo (2012) estudou os níveis médios de produtividade das regiões Nordeste e Sul do Brasil para várias culturas agrícolas dentre elas o milho, analisando a influência das alterações nos níveis de precipitação e temperatura e observou-se que quase todas as culturas encontradas sofreram perdas nas duas regiões. Conforme Araújo et al. (2013), nas culturas de mandioca e milho quando ocorre aumento na precipitação no período de verão resulta em acréscimo nos níveis de produtividade. Em anos que houve registros de secas toda a agricultura na região nordeste é bastante afetada, mesmo a cultura da mandioca sendo tolerante a períodos secos houve perdas na produtividade.

Pereira e Cuellar (2014) relataram que a variação climática tem efeitos diretos na agricultura de sequeiro e na agricultura irrigada do Ceará. No Perímetro Irrigado de Tabuleiro de Russas, no ano de 2014, houve a redução de 50% da água para a lavoura de arroz e 8,5% para o cultivo de frutas decorrente da seca que persistem desde 2012 na região. Buscou-se a priorização do abastecimento humano na região metropolitana de Fortaleza, enquanto a agricultura familiar baseada em lavouras temporárias como o milho, o feijão e a mandioca sofreu uma perda que varia de 60 a 80% da produção.

2.4. Relação entre variáveis climáticas e produtividade das culturas

Alguns estudos nessa área usaram várias técnicas na tentativa de alcançar informações para melhorar a produção agrícola e reduzir perdas como em Amorin Neto et al. (1999), Araújo (2000), Amorin Neto (2001) e Blain (2009). Por exemplo, Dias et al. (1999) avaliaram a relação da produtividade da cana-de-açúcar com clima e os solos da região Noroeste do Estado de São Paulo. Coeficientes de correlação mais elevados relacionados com a produtividade foram os da camada superficial B, podendo-se dizer que a acentuada deficiência hídrica (700 mm) não foi sentida pela cultura, uma vez que esta, supostamente em função do desenvolvimento de raízes nessas camadas, não foi submetida a déficits hídricos.

Arruda et al. (2000) observaram que as correlações da produção do café com frequência de chuvas foram positivas nas fases de granação e máxima vegetação. No trimestre

out-nov-dez, coincidente com as fases de florescimento e chumbinho da cultura, a correlação foi negativa, ou seja, com o aumento do número de dias chuvosos, associaram-se quedas na produção observada. Rodrigues (2002) analisou a variabilidade espacial e correlações entre atributos físicos e químicos do solo e a produtividade na agricultura de precisão. Foi feita a análise da variação de três safras sucessivas (1997/98, 1998/99, 1999/2000) para examinar como a correlação entre a produtividade de safras variou no espaço e no tempo.

Sousa et al (2011), analisando a relação entre a precipitação e a produtividade da mandioca no Cariri Cearense, concluíram que a variabilidade climática do segundo semestre do ano tem relação com a produção agrícola em Juazeiro do Norte e a produção em Farias Brito e Crato se destacam em relação as demais cidades, sendo a cidade do Crato diretamente relacionada com a precipitação no Cariri, de acordo com as correlações da análise de componentes principais. Dos Santos et al. (2013) verificaram os impactos gerados na agricultura durante a seca do ano de 2012, correlacionando a produção aos totais pluviométricos. Estabeleceu-se uma série de correlação entre precipitações e análise das produções de cana-de-açúcar e mandioca. Foi obtida uma correlação forte e positiva em relação à cana-de-açúcar e correlação moderada para a mandioca, com os totais pluviométricos.

Lucena et al. (2013) investigaram a produção agropecuária e sua correlação com a dinâmica climática do município de Caicó. Foi observado que as variáveis correlacionadas de forma mais significativa com as variáveis respostas foram: a precipitação, o índice de aridez, a temperatura e a umidade, além do número de cabeças bovinas e o número de vacas ordenhadas para a pecuária e a área plantada e colhida para a agricultura. Constatou-se que ainda as variáveis correlacionadas, de forma mais significativa, com a produção de leite são a precipitação, o índice de aridez e o número de vacas ordenhadas. Em relação à produção de feijão as variáveis correlacionadas de forma mais significativa são a temperatura, a umidade, a área plantada e a área colhida.

Silva (2015) avaliou a influência da variabilidade climática sobre a produção agrícola, sobretudo das culturas de milho, feijão e mandioca para o município de Aiuaba situado na Macrorregião do Sertão dos Inhamuns no Estado do Ceará. Ele calculou correlações entre as variáveis pelo método de correlação de Person e foram analisados estatisticamente pelo teste de t-Student. As correlações apresentaram-se altas e com significância estatística entre precipitação e todas as variáveis de produção para as culturas estudadas, manifestando baixa correlação apenas entre precipitação e área planta e colhida para a cultura da mandioca, únicas variáveis sem significância estatística. Silva et al. (2015)

detectaram que em anos com altas precipitações e com boa distribuição espacial e temporal obteve-se crescimento na produção no estado do Ceará, porém na microrregião estudada (Serra da Ibiapaba) as chuvas ocorrem com maior intensidade acarretando a diminuição da safra, devido proliferação de doenças. Em anos de baixa precipitação ocorrem quedas na produção do Ceará e alta na microrregião da Ibiapaba.

2.5. Uso da técnica multivariada a dados climáticos e agrícolas

A denominação “análise multivariada” corresponde a um grande número de métodos e técnicas que utilizam simultaneamente as informações de todas as variáveis respostas na interpretação do conjunto de dados, levando em conta as correlações existentes entre elas. A disseminação do uso das técnicas multivariadas pode melhorar a qualidade das pesquisas, proporcionar uma economia relativa de tempo e de custo, e facilitar a interpretação das estruturas dos dados, diminuindo a perda de informação. As técnicas de análise multivariadas têm sido regularmente aplicadas em várias investigações científicas, nas mais diversas áreas de pesquisa, Na meteorologia e climatologia é comumente usada para encontrar relações entre variáveis que expliquem o comportamento de fenômenos atmosféricos e na área de ciências agrárias a aplicação desta técnica é bem abrangente, pois pode ser usada em várias áreas (fitotecnia, ciência do solo, zootecnia, engenharia rural, por exemplo).

Quando as variáveis são correlacionadas entre si e quanto maior for seu número, mais complexa torna-se a análise por métodos comuns de estatística univariada (Mingoti, 2005). O interesse em medir mais de uma variável, simultaneamente, se dá muitas vezes pelo fato das variáveis isoladas não conseguirem caracterizar adequadamente as estruturas de variabilidade ou o conteúdo biológico dos dados. A Análise de Componentes Principais (ACP) foi desenvolvida por Pearson (1901) e surge da necessidade de se conhecer as estruturas de dependência das variáveis e *a priori* não é encontrado nenhum padrão de causalidade. Seu objetivo principal é o de explicar a estrutura de variâncias e covariâncias de um vetor aleatório composto de p -variáveis aleatório inicial, podendo-se resumir sua informação (banco de dados). Esta técnica busca imprimir um tratamento estatístico a um número relativamente alto de variáveis heterogêneas, que possuam um grau considerável de aspectos comuns, isto é, com um elevado grau de correlação entre si.

Segundo Hair Jr. et al. (2005), a ACP classificam elementos semelhantes (variáveis) segundo suas características (variações) quando nenhuma suposição é feita referente ao número de grupos ou à sua estrutura. Também é possível nesta técnica tratar cada

variável como um ponto no espaço multidimensional descrito pelas amostras, ou seja, pode-se ter agrupamento de amostras ou de variáveis de acordo com o interesse em cada situação.

Meyer et al. (1991) utilizaram esta técnica estatística para avaliar a relação de índices e variáveis climáticas para o rendimento do milho (*Z. mays* L.) nas grandes planícies e centro-oeste dos Estados Unidos. Os resultados demonstraram que durante os anos em que a precipitação foi consistentemente, acima ou abaixo do normal, o Índice de severidade da seca de Palmer e o Índice de umidade correlacionaram-se bem com a produção do grão. No entanto, durante os anos em que houve uma ocorrência de períodos secos ou chuvosos com duração de vários meses a magnitude desses índices não refletiu adequadamente o impacto desse período seco ou molhado sobre a cultura.

Andrade et al (2003) avaliaram a importância das variáveis envolvidas no processo da evapotranspiração pelo uso da ACP na região Centro Sul do Estado do Ceará. A técnica demonstrou que um modelo com duas componentes é adequado para representar o processo da evapotranspiração na área estudada. Para as duas estações, de Iguatu e Tauá, inseridas na Bacia do Alto Jaguaribe, o modelo explicou, respectivamente, 74% e 85% da variância total inserida no processo da evapotranspiração. Já a Bacia do Banabuiú, estação de Quixeramobim, o modelo explicou 88% da variância total. Os resultados revelaram que as variáveis climatológicas investigadas com maior representatividade no processo da evapotranspiração foram: razão de insolação, velocidade do vento e precipitação; enquanto a temperatura máxima do ar (T_{\max}) e mínima do ar (T_{\min}) apresentou uma menor influência para a região do Centro Sul do Estado do Ceará.

Silva et al. (2011) observaram que a variabilidade interanual da precipitação é a mesma nos estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, que não ocorreu tendência de aumento ou diminuição dos totais anuais de chuva. Verificou-se que nos anos mais secos a produção agrícola de grãos foi baixa em todos os Estados. Entretanto, durante o período analisado ocorreu uma tendência de aumento substancial da produção agrícola de grãos no Ceará e uma tendência de diminuição na Paraíba e Rio Grande do Norte.

Zarzo e Martí (2011) aplicaram a ACP a dados de radiação solar terrestre mundial (R_s) em 30 estações na costa mediterrânea da Espanha. Os resultados apontaram que quatro componentes explicam 66% da variabilidade dos dados e as estações foram divididas em quatro grupos (A, B, C e D). Eles diferem-se basicamente em relação à latitude, enquanto C é o grupo com maior altitude, o que implica um clima mais continental. Levando-se em conta que a latitude está correlacionada com a radiação solar extraterrestre (R_a) recebida em qualquer superfície, pode se especular que R_a é a principal causa da variabilidade de R_s .

Cai et al. (2013) também usaram a ACP para estimar a relação entre dados climáticos (temperatura máxima média mensal e a precipitação mensal total) e produtividade anual das culturas do milho e soja para o período de 1960 a 2009 em vários estados do norte e sul dos EUA. Os resultados apresentaram efeitos sutis do clima sobre a produção agrícola nos estados do norte, enquanto afetam negativamente o rendimento das culturas nos estados do sul. Assim, indicam que as condições climáticas mais quentes/mais seco provavelmente têm impactos negativos significativos sobre estados do sul, enquanto que apenas impactos leves são esperados na maioria dos estados do norte.

Silva Dias (2013) correlacionaram dados de precipitação com a produção do milho para o Ceará. As correlações foram positivas e com significância estatística entre precipitação e as variáveis de produção, revelando que caso a precipitação diminua, a produção de milho decresce também, e conseqüentemente, os aspectos agrícolas e socioeconômicos do município são afetados devido à influência climática.

Moreno et al (2016) correlacionaram sazonalmente os dados de precipitação e temperatura com a produtividade das culturas da banana e do caju no estado do Ceará e obtiveram que, para a cultura da bananeira a precipitação é desfavorável em todas as estações, exceto no inverno. Já para a cultura do caju, a precipitação é desfavorável em todas as estações, exceto no outono. No que se refere à temperatura e a insolação para ambas as culturas, todas as estações se mostram favoráveis ao cultivo. Assim, a produção dessas frutíferas é viável no que se refere às condições climáticas ideais para os cultivos, apesar das precipitações serem muitas baixas, o que pode dificultar a implantação da fruticultura, se não forem implantados equipamentos de irrigação.

2.6. Tendências climáticas e o teste de Mann-Kendall

Tendência climática é caracterizada por uma elevação ou diminuição suave (*smooth*) e monótona nos valores médios de uma série meteorológica. Não é, necessariamente, restrita a tendências lineares em função do tempo, mas deve conter apenas um máximo ou mínimo no ponto final da série (IPCC, 2007). O conhecimento da variabilidade climática é de grande importância, uma vez que dependendo de sua magnitude ela pode trazer consequências para a humanidade e a biodiversidades dos sistemas naturais. Uma avaliação da variabilidade climática, ao longo do tempo no Brasil, mostra que, dependendo da região analisada, podem ocorrer alterações contínuas ou ciclos bem

demarcados dos elementos meteorológicos, como a temperatura e a precipitação (Pinto et al., 1989).

Silva (2004) observou tendências significativamente decrescentes em várias localidades desta região, e sugeriu que tal variabilidade pode estar relacionada com mudanças climáticas no Nordeste do Brasil, que atinge não apenas o semiárido da região, mas também, a área litorânea. Por outro lado, Silva *et al.* (2005), estudaram a variabilidade da precipitação pluvial no estado da Paraíba, com base na teoria da entropia. Analisando a variabilidade climática no Nordeste do Brasil (NEB), com base no teste de Mann-Kendall.

Devido o grande interesse em mudanças climáticas globais, suas causas e seus impactos, numerosos artigos tem se dedicado à detecção de tendências em séries de observações hidrometeorológicas, especialmente de temperatura e precipitação, que são os principais parâmetros envolvidos nas variações climáticas. Na América do Sul são poucos estes estudos observacionais, ainda mais nas diversas regiões do Brasil (Blain, 2010).

Pinheiro et al. (2013) utilizaram dos teste estatístico para identificar tendência anuais de evapotranspiração, velocidade do vento, insolação, umidade relativa e temperatura média no município de Crateús – CE. As séries anuais de temperatura máxima, mínima e velocidade do vento apresentam tendências significativas de aumento, já as séries anuais de umidade relativa, insolação e evapotranspiração apresentaram tendência não significativa. Existem diferentes técnicas que vem sendo usadas para diagnosticar tendências e/ou variações em séries temporais de dados ambientais. Entre essas técnicas, cita-se o teste estatístico de Mann-Kendall (Hamed e Rao, 1998; Haylock et al., 2006), o qual é indicado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para verificar as tendências em dados meteorológicos. Como visto a detecção de tendências, através do teste de Mann-Kendall, mostra-se de extrema importância no sentido de apresentar antecipadamente projeções que virão acontecer e assim auxiliar na gestão e aproveitamento hídrico.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

A região Semiárida brasileira (SAB) ocupa uma área de 969.589 km² e inclui os Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, a maior parte da Paraíba e Pernambuco, Sudeste do Piauí, Oeste de Alagoas e Sergipe, região central da Bahia e uma faixa que se estende pela parte nordeste de Minas Gerais, seguindo o Rio São Francisco (Correia et. al, 2011). É uma região extremamente afetada pelas ações antropogênicas, pois apresenta muitas áreas degradadas, inclusive em processo de desertificação. Essa região é muito vulnerável às variações climáticas e as periodicidades das secas que afetam especificamente a agricultura de subsistência.

A Figura 1 apresenta a espacialização das 330 estações pluviométricas utilizadas neste estudo na análise do comportamento espacial e temporal da precipitação e posteriormente a correlação desta variável com a produtividade agrícola do milho na região do SAB.

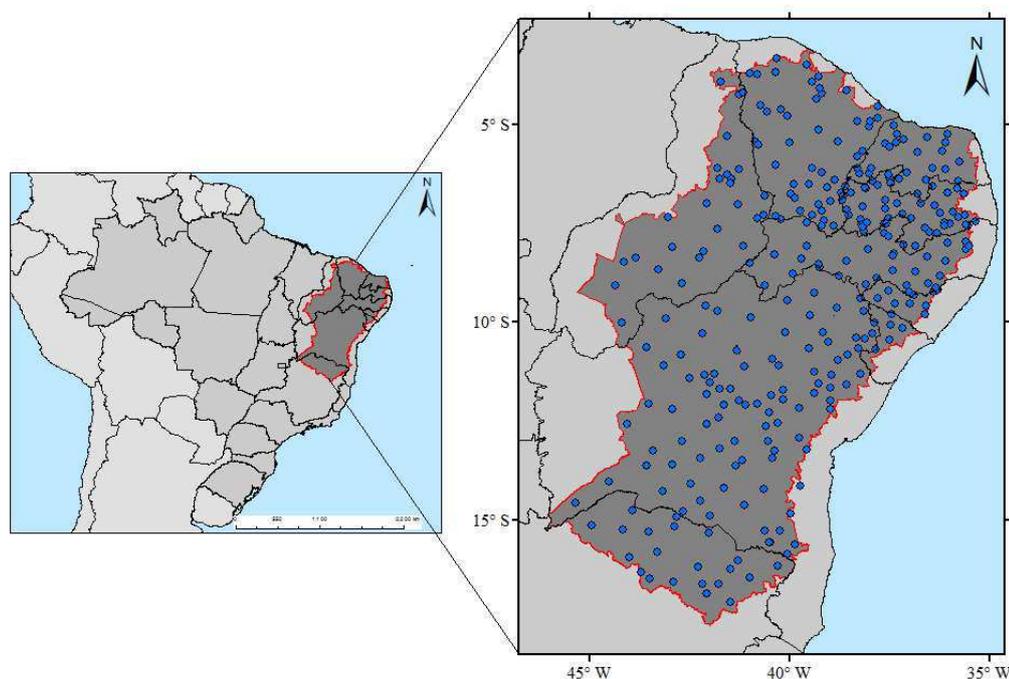


Figura 1. Mapa do Brasil com destaque a delimitação da região Semiárida Brasileira e a localização dos postos pluviométricos.

O parâmetro de maior destaque dessa região é o clima, responsável pela variação dos outros elementos que compõem as paisagens. A ele estão adaptados a vegetação e os

processos de formação do relevo, com predomínio de um processo sobre outro e de acordo com a época do ano (período seco ou chuvoso). As seguintes características foram levadas em conta no processo de classificação da região semiárida: a) a temperatura do ar varia entre 20 a 33,8 °C (Correia et. al, 2011); b) precipitações escassas e mal distribuídas com totais pluviométricos entre 280 a 800 mm; e c) déficit hídrico, a evaporação pode ultrapassar 10 mm d⁻¹ (Silva, 2004).

Os solos são, em geral, pouco desenvolvidos em função das condições de escassez de chuva, tornando os processos químicos mitigados, é bastante diversificado, formado principalmente por Latossolo arenoso (Silva, 2004). O tipo de vegetação predominante é a caatinga, considerada como a mais rica floresta seca da América do Sul (Prado, 2005). O bioma Caatinga abrange 9,92% do território nacional e é constituída principalmente por savana estépica. A Caatinga ocupa a totalidade do estado do Ceará e parte do território de Alagoas, Bahia, Maranhão, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe (IBGE, 2016). Os ecossistemas do bioma Caatinga encontram-se bastante alterados, com a substituição de espécies vegetais nativas por cultivos e pastagens. O desmatamento e as queimadas são ainda práticas comuns no preparo da terra para a agropecuária que, além de destruir a cobertura vegetal, prejudica a manutenção de populações da fauna silvestre, a qualidade da água, e o equilíbrio do clima e do solo. Aproximadamente 80% dos ecossistemas originais já foram antropizados (IBFlorestas, 2011).

O relevo da região é muito variável, o que contribui para o elevado número mencionado de grandes unidades de paisagem. A altitude média fica entre 400 e 500 m, mas pode atingir 1.000 m. Ao redor de 37% da área é de encostas com 4 a 12% de inclinação e 20% de encostas têm inclinação maior do que 12%, o que determina presença marcante de processos erosivos nas áreas antropizadas (Silva, 2000). Topograficamente, a região caracteriza-se por apresentar relevo plano a ondulado, com vales muito abertos, pela menor resistência à erosão dos xistos e outras rochas de baixo grau de metamorfismo, onde sobressaem formas abauladas esculpidas em rochas graníticas, gnáissicas e outros tipos de alto metamorfismo.

A altitude varia de 200 a 800 m na Chapada Cretácea do Araripe, que se prolonga para Leste pela Serra dos Cariris, esculpida em rochas graníticas e gnáissicas de idade pré-cambriana. Do lado Sul, ressaltam-se as formas tabulares do Raso da Catarina, esculpidas em sedimentos da bacia de Tucano, com altitude de 300-200 m (Silva et al., 1993).

No ano de 2005 o Ministério da Integração Nacional atualizou a delimitação do SAB (Quadro 1). Com essa atualização, a área classificada oficialmente obteve um acréscimo

de 8,66%, aumentando de 892.309 km² para 982.563 km². Minas Gerais foi o estado com o maior número de inclusões na nova lista, com mais 45 municípios, somando-se aos 40 municípios anteriores (total de 45).

QUADRO 1. Número de municípios abrangidos pelo semiárido brasileiro

Estado	Total de Municípios	Nº de municípios no Semiárido				Área Total (km ²)	Área no Semiárido	
		Anterior a 2005	Incluídos em 2005	Atual	%		km ²	%
AL	102	35	3	38	37,25	27.819	12.687	45,61
BA	417	257	8	265	63,55	564.693	393.056	69,61
CE	184	134	16	150	81,52	148.825	126.515	85,01
MG	853	40	45	85	9,96	586.528	103.590	17,66
PB	223	170	0	170	76,23	56.440	48.785	86,44
PE	185	118	4	122	65,95	98.312	86.710	88,2
PI	223	109	18	127	56,95	251.530	150.454	59,82
RN	167	140	7	147	88,02	52.797	49.590	93,93
SE	75	28	1	29	38,67	21.910	11.176	51,01
Total	2.429	1.031	102	1.133	46,64	1.808.854	982.563	54,32

Fontes: 1) Relatório Final do Grupo de Trabalho Interministerial para delimitação do semiárido nordestino e do Polígono das Secas – Ministério da Integração Nacional – 2005 (IBGE)

3.2. Dados

Utilizaram-se séries de totais médios mensais pluviométricos (mm) de 330 postos pluviométricos/estações distribuídas em todo SAB, no período de 1990 a 2014. Esses dados foram obtidos na Agência Nacional das Águas (ANA), na Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos do estado do Ceará (FUNCEME), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e na Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA). Inicialmente, os dados foram analisados quanto à atualidade, ausência de falhas e consistência. Selecionou-se um período que apresentasse o menor número de falhas e o maior número de estações e que tivessem um período comum de observações.

Os dados de produtividade média do milho (kg/ha) foram advindos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) através de sua *homepage* por meio do Sistema de Recuperação Automática – SIDRA. Esses dados constam na pasta da Produção Agrícola Municipal, na Tabela 1612, que possui as seguintes informações: Área plantada (ha), área colhida (ha), quantidade produzida (ton) e produtividade média (kg/ha), no período que compreende os anos de 1990 a 2014.

3.3. Métodos

Aplicou-se a metodologia da ACP e de AA para determinar os padrões de variabilidade espacial e temporal, assim como, a identificações de regiões homogêneas da precipitação (mm). Em seguida utilizou-se o mesmo procedimento para os dados de produtividade média do milho (kg/ha). Finalmente correlacionou-se a precipitação média anual com a produtividade média anual do milho através das análise de correlação de Pearson.

3.3.1. *Análise fatorial em componentes principais*

A ACP é uma técnica da análise multivariada utilizada para reduzir o número de variáveis de um conjunto de dados, identificando o padrão de correlações ou de covariâncias entre elas e gerando um número menor de novas variáveis latentes a partir dos dados brutos. A redução do número de variáveis, também chamados muitas vezes de fatores ou componentes, maximiza o poder explicativo do conjunto de todas as variáveis, a partir da classificação dos autovetores associados aos autovalores da matriz de correlação (Richman, 1986; Wilks, 2006). Pode-se dizer, então, que uma das vantagens da ACP é permitir uma simplificação estrutural do número de dados, perdendo o mínimo possível de informações dos dados originais.

Existem dois tipos de ACP utilizados para analisar as variáveis observadas, tanto no tempo quanto no espaço, denominado de Modo-T (tempo) e Modo-S (espaço). O Modo-S, pode ser aplicado para criar agrupamentos de variáveis e classificar seus campos atmosféricos espaciais. Segundo Richman (1983) o Modo-T é uma ferramenta muito útil para sintetizar e reproduzir padrões de circulações, quantificando sua frequência e mostrando os períodos de tempo neles dominantes, ou seja, obter a evolução dos principais modos dominantes de circulação que permitam analisar a trajetória e comportamento dos sistemas sinóticos sobre determinadas áreas. Para a análise no Modo-T organizou-se uma matriz de dados $M (m \times k)$, onde as m linhas correspondem os postos pluviométricos/estações e as k colunas os totais médios anuais observados (precipitação/produtividade média do milho). O Modo-S está relacionado com a análise de séries temporais correspondentes a pontos no espaço. Para a análise no Modo-S montou-se uma matriz de dados $M (n \times p)$, onde as n linhas correspondem os totais médios anuais observados (precipitação/produtividade média do milho), e as p colunas corresponde os postos pluviométricos/estações.

Em síntese, este método consiste em transformar p variáveis correlacionadas em componentes não correlacionadas ou ortogonais, tendo propriedades especiais em termos de variância. As novas componentes são combinações lineares entre autovetores e das variáveis originais normalizadas, e são mostradas em ordem decrescente de importância, ou seja, a primeira componente é a combinação linear de importância máxima (Wilks, 2006).

Seja uma matriz de n observações por m variáveis, onde a matriz de dados normalizada (com média zero e variância um) de dimensão $(m \times n)$ designada por Z , a partir da qual se obtém a matriz de correlação R dada por:

$$R = \frac{1}{n-1}(Z)(Z)' \quad (1)$$

em que Z' é a matriz transposta de Z .

Como R é a matriz simétrica positiva de dimensão $(k \times k)$, ela é diagonalizável por uma matriz A , de mudança de base, denominada de autovetores e por λ , o autovalor associado, dado por:

$$D = A^{-1}RA \quad (2)$$

Como os autovetores são ortogonais, a inversa de A (A^{-1}) é igual a sua transposta (A^{-t}). Logo as CPs Y_1, Y_2, \dots, Y_p , são obtidas por combinações lineares entre a transposta dos autovetores (A^{-t}) e a matriz de observação (X), ou seja:

$$Y = A^{-t}X \quad (3)$$

$$X = AY \quad (4)$$

Cada linha de Y corresponde a uma CP, formando as séries temporais associadas aos autovalores. Os valores de X do n -ésimo postos pluviométricos/estações podem ser calculados por :

$$X_i = a_{j1}Y_1 + a_{j2}Y_2 + \dots + a_{jk}Y_k + a_{np}Y_p \quad (5)$$

Cada CP contém uma porção da variância total dos dados da variável em questão (precipitação e produtividade do milho) em ordem decrescente dos autovalores mais significativos em A , dada pela equação:

$$Y_k = \sum_{j=1}^m a_{jk} X_k \quad (6)$$

O número de CP escolhido teve como base o critério de truncamento de Kaiser, que considera como mais significativos os autovalores cujos valores superam a uma unidade (Garayalde et al., 1986). A distribuição espacial das CPs representa a contribuição destes em relação à variância total do conjunto de dados de precipitação e produtividade do milho em cada localidade.

Normalmente quando a solução não rotacionadas dos fatores comuns temporais não relata bem a região estudada, dificultando as interpretações físicas correspondentes as CPs, então se faz a rotação dos fatores para uma nova coordenada de vetores, através de uma transformação linear. Neste estudo optou-se em fazer a rotação ortogonal VARIMAX, mantendo a correlação entre as componentes igual a zero, portanto, independentes. Logo a variância em cada componente é dada pela equação:

$$Var = \frac{\sum_{j=1}^r (m \sum_{i=1}^m (a_{ij})^2 - (\sum_{i=1}^m a_{ij}^2)^2)}{m^2} \quad (7)$$

em que r é o número de CPs que representam as informações físicas e m o número de variáveis.

3.3.2. *Análise de agrupamento*

A AA tem por objetivo classificar um conjunto de indivíduos ou objetos que possuam características semelhantes, ou seja, classificar uma amostra de dados em um número pequeno de grupos mutuamente excludentes, com base nas similaridades entre eles. Os métodos de classificação mais conhecidos são os hierárquicos e não hierárquicos. Os hierárquicos mais utilizados são: Ligação Simples, Ligação Completa, Ligação Média, Método Centróide e Método de Ward. Já nos métodos não hierárquicos, o número de grupos é definido a priori. Maiores informações podem ser encontradas em Everitt (1993); Gong e Richman (1995); Wilks (2006). A classificação dos indivíduos em grupos distintos é feita a partir de uma função de agrupamento denominada distância ou similaridade e de um critério

matemático de agrupamento. Nesse estudo a similaridade entre os postos pluviométricos/estações, utilizou-se a distância euclidiana, que é dada pela seguinte equação:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{v=1}^p (X_{iv} - X_{jv})^2} \quad (8)$$

em que: v são as variáveis ($v = 1, 2, 3, \dots, p$); X_{iv} é a v -ésima característica da i -ésima observação; X_{jv} é a v -ésima característica da j -ésima observação.

Nos métodos hierárquicos, a obtenção dos grupos pode ser feita por cortes transversais no dendrograma a partir do critério de agregação entre os grupos e conhecimento prévio da região em estudo. Empregou-se o método de agrupamento de Ward (1963), que utiliza como critério de agrupamento a inércia entre grupos, que é medida pela Soma dos Quadrados dos Desvios (SQD) de cada ponto a média do grupo ao qual pertence. Logo, para “ p ” indivíduos organizados em k grupos, temos:

alinhar as equações à direita tal como eq. 8

$$SQD = \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \quad (9)$$

em que X_i é o número de indivíduos pertencentes ao i -ésimo grupo.

3.3.3. Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall é um teste não paramétrico (Mann, 1945; Kendall, 1975) onde consiste em comparar cada valor da série temporal com os valores restantes, sempre em ordem sequencial, o que significa que não assume qualquer distribuição de prioridade dos dados, e é, portanto, robusto em comparação a outros testes paramétricos. É contado o número de vezes que os termos restantes são maiores do que o valor analisado. Verificou-se ser uma excelente ferramenta para a detecção de tendências em séries de tempo variável hidrológica.

A estatística S é obtida pela soma de todas as contagens, dado como se segue:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sinal}(x_i - x_j), \quad (10)$$

em que o Sinal $(x_i - x_j)$ é obtido da seguinte forma:

$$Sinal = \begin{cases} 1 & \text{se } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{se } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{se } (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \quad (11)$$

A estatística S tende para a normalidade quando n for grande, com média $E(S)$ e variância $Var(S)$ definidas como se segue:

$$E(S) = 0, \quad (12)$$

$$Var(S) = \frac{n(n+1)(2n+5) - \sum_{i=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (13)$$

em que (t_p) é número de dados com valores iguais num certo grupo (p th) e q o número de grupos contendo valores iguais na série de dados num certo grupo p . O segundo termo representa um ajuste para dados censurados.

O teste estatístico parametrizado (Z_{MK}) é dado por:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (14)$$

A presença de tendência estatisticamente significativa na série temporal é avaliada usando-se o valor de Z . Essa estatística é usada para testar a hipótese nula que nenhuma tendência existe. O valor positivo de Z_{MK} indica uma tendência crescente. Para testar qualquer tendência constante, crescente ou decrescente para um nível significativo de p , é rejeitada a hipótese nula se o valor absoluto de Z é maior que $Z_{1-p/2}$, o qual é obtido na tabela da distribuição normal.

Os níveis de significância de $p = 0,01$ e $0,05$ foram aplicados neste estudo. Uma estimativa não paramétrica para o valor da inclinação da tendência é obtida de acordo com Silva *et al.*, (2010):

$$\beta = \text{Median} \left[\frac{x_j - x_i}{j - i} \right] \text{ para } i < j \quad (15)$$

em que: x_j e x_i são os pontos dados medidos no tempo j e i , respectivamente.

3.3.4 Correlação e teste de significância

As correlações lineares entre dados de precipitação e os dados de produção agrícola para a cultura do milho para na região SAB foram feitas através de planilha eletrônica, utilizando o método de regressão linear simples. O objetivo dessa etapa é verificar se há relação comprovadamente atestada matematicamente, entre as variáveis de produção e precipitação local. Comprovando ou não se a pluviometria influencia na agricultura da região.

O método de regressão é geralmente usado para se estudar a relação entre variáveis independentes, tentando-se obter uma relação que possa ser utilizada nas estimativas ou previsões de uma variável particular (Charba, 1975; 1979).

O coeficiente de correlação de Pearson (r) é uma forma de coligação linear entre variáveis. Sua fórmula é (Pearson, 1892):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \quad (16)$$

onde x_i e y_i são os valores observados de X e Y , respectivamente; $i = 1, 2, \dots, n$; n é o número de observações para cada variável; e \bar{x} e \bar{y} são as médias de X e Y respectivamente.

Para verificar a significância da correlação foi utilizado um dos testes de significância mais utilizados em estudos de meteorologia, o teste “t-Student”, o qual pode ser calculado da seguinte forma:

$$t = \frac{r \sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (17)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Climatologia e tendências pluviométricas

A Figura 2 exibe a variabilidade espacial dos totais médios anuais da precipitação na região do SAB, no período de 1990 a 2014. As maiores chuvas, em torno de 900 mm são observadas na faixa leste e oeste da região e à medida que se vai adentrando para o centro, as chuvas vão diminuindo, atingindo mínimos e inferiores a 600 mm anuais (extremo norte da Bahia e oeste de Pernambuco). Percebe-se alguns núcleos que apresentam valores próximos a 1000 mm na porção norte e sul do SAB. Estas áreas são microclimas específicos, que ocorrem devido à proximidade do litoral, presença de chapadas, serras e montanhas, como na Chapada Diamantina – BA, Chapada do Araripe – CE, e em algumas áreas no noroeste do Ceará, oeste e sudoeste do Piauí e norte do estado de Minas Gerais.

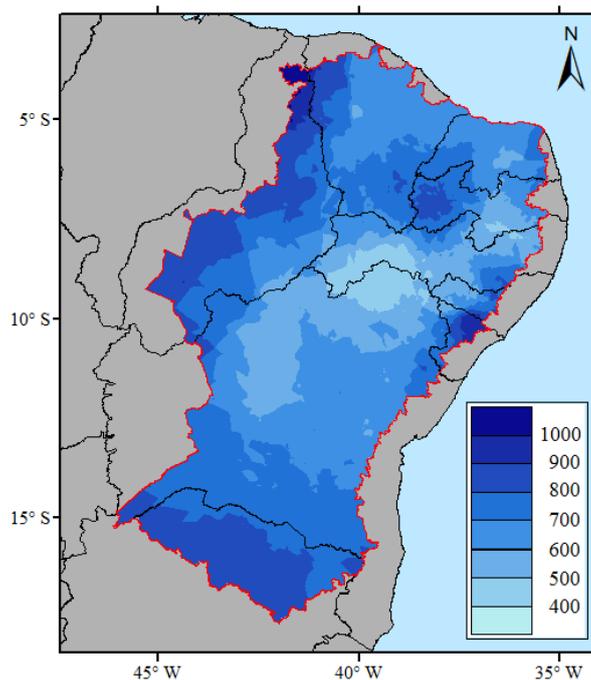


Figura 2. Variabilidade anual pluviométrica na região semiárida brasileira no período de 1990 a 2014

A variabilidade pluviométrica do SAB, associada a grande sazonalidade anual é um dos principais fatores para a ocorrência dos eventos de “secas”, caracterizadas por acentuada redução do total pluviométrico sazonal, principalmente durante o período chuvoso. A variabilidade interanual da pluviometria nesta região está associada a variações de padrões de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre os oceanos tropicais, o que pode interferir

na atuação de sistemas atmosféricos pertencentes às várias escalas de tempo, afetando, por exemplo, a posição e a intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Oceano Atlântico como destaca (Marengo, 2004; Medeiros et al., 2015; Nóbrega et al., 2016).

As médias climatológicas mensais e anuais da região SAB são representadas pela Figura 3A e 3B. A quadra chuvosa da região compreende os meses de janeiro a abril e os meses com menor média de precipitação ocorrem de agosto a outubro, configurando o período mais seco do ano. A estação chuvosa da região é produzida pela atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que para Ferreira e Mello (2005), é o elemento mais importante na determinação de quão abundante ou escasso serão as chuvas na área Norte do Nordeste do Brasil. Já o período seco se configura pela ausência da ZCIT no hemisfério sul, ocasionando falta de umidade e chuvas (Molion e Bernardo, 2000).

Entre os anos mais chuvosos na região, têm-se os anos de 1992, 1994, 2000, 2004, 2006 e 2009. Já os anos mais secos foram 1993, 1998, 2001, 2003 e 2012. Observa-se que o ano de 2009 foi o único que ultrapassou o total anual de 900 mm e o ano de 1998 o ano mais seco (510 mm) mostrando que a região do SAB é vulnerável a enchentes e chuvas intensas como também veranicos e períodos de seca, como mostra estudo feito por Vasconcelos Junior (2014).

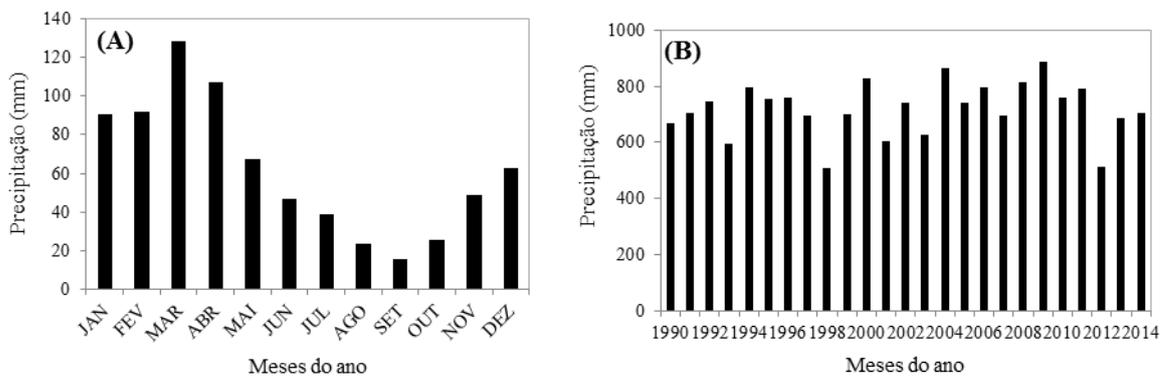


Figura 3. Médias climatológicas mensais e anuais de precipitação na região semiárida brasileira

Na Figura 4A apresenta a distribuição espacial e a Figura 4B exhibe a variabilidade temporal das tendências pluviométricas para a região SAB. É possível observar que a maior parte do território não possui qualquer tendência, com valores próximos de zero; bem como valores negativos, até próximos de -10 mm/ano. Há núcleos com valores menos que -20 mm/ano nos estados do Piauí, Pernambuco, Paraíba e Ceará, e as maiores tendências estão presentes no estado de Minas Gerais, Aracajú e Alagoas.

A tendência de precipitação na região SAB para o período de 1984 a 2014 foi positiva, na ordem de 1,46 mm/ano. Esse alto grau de variabilidade em escalas anual está fortemente associado aos padrões de variação da temperatura de superfície do mar nos oceanos Pacífico e Atlântico, como já apresentado em estudos feitos por Souza Filho e Lall (2003); Marengo (2006); Marengo e Valverde (2007).

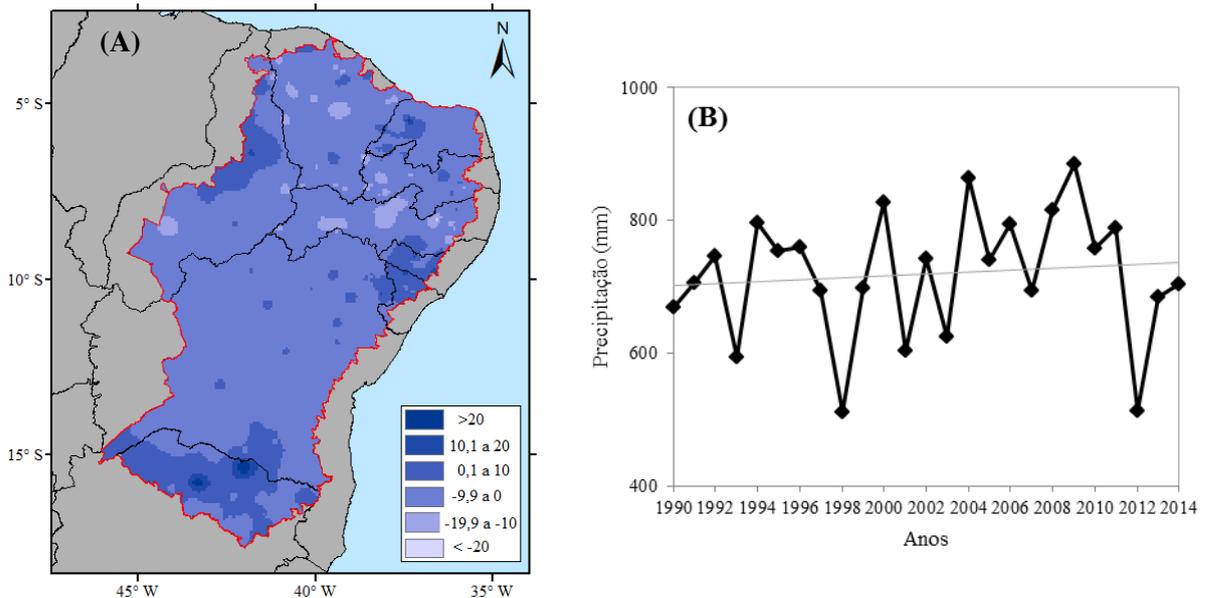


Figura 4. Distribuição espacial (A) e variabilidade temporal (B) das tendências pluviométricas (mm/ano) na região semiárida brasileira

Silva (2004) calculou tendências significativamente decrescentes em várias localidades do SAB, e sugeriu que a variabilidade poderia estar relacionada com mudanças climáticas no Nordeste do Brasil (NEB), que não só atinge o semiárido da região, mas também outras áreas do NEB. Haylock et al. (2006) observaram tendência de aumento nos totais pluviométricos de chuva sobre o NEB. Santos e Brito (2007) encontraram tendências de aumento da precipitação somente nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. Santos et al. (2009), em seus estudos para o estado do Ceará, mostraram que ocorreram mudanças locais na precipitação e um aumento nas condições de umidade sobre a região. Por fim, Santos e Manzi (2011) notaram que apenas a porção norte do SAB apresenta tendências com alta significância estatística para índices de eventos extremos utilizados em seu estudo.

4.2. Variabilidade interanual pluviométrica

A seguir são apresentados os resultados obtidos da aplicação da ACP aos totais anuais pluviométricos na região SAB para período de 1990 a 2014. Na Tabela 1 encontra-se a sequência dos autovalores e a variância explicada e acumulada (%) anual dos fatores rotacionados da precipitação. Foram retidos os três fatores comuns mais significativos que explicam 66,8% da variância total anual da precipitação. A seleção dos foi segundo o critério matemático de Kaiser que trunca os autovalores maiores que uma unidade. Para auxiliar na definição dos fatores utilizou-se o *scree plot* que exhibe os autovalores associados a cada componente ou fator em ordem decrescente dos autovalores, indicando quais componentes estão posicionadas antes do ponto de inflexão na curva. O teste de KMO indica o grau de explicação a partir dos fatores encontrados na análise. Para os dados utilizados nesse estudo obteve-se o $KMO = 0,959$, para um nível de 95%, indicando, portanto, que os fatores encontrados na análise conseguem representar satisfatoriamente as variações dos dados originais. Considerando os dois indicadores de seleção acima, tamanho da amostra e o regime climático da região, retiveram-se as três primeiras componentes principais.

Tabela 1. Sequência dos autovalores, variância explicada e acumulada (%) anual dos fatores rotacionados da precipitação (mm)

Componentes Principais	Fatores não rotacionadas			Fatores rotacionadas (Varimax)		
	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)
1	13,9	55,8	55,8	5,8	23,4	23,4
2	1,6	6,3	62,2	5,5	22,1	45,5
3	1,1	4,5	66,8	5,3	21,2	66,7
...			
25	0,13	0,5	100			

A distribuição espacial dos escores do primeiro fator, que explica 23,4% da variância total dos dados, possui escores positivos superiores a 1,0 na porção norte e nordeste (estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco e Piauí) e vão diminuindo progressivamente na direção ao sul (estados de Alagoas, Sergipe, sul do Pernambuco e Bahia) atingindo valores próximos de -0,5 (Figura 5A). A Figura 5B exhibe as correlações temporais deste fator, constatando-se alternância de correlações positivas e negativas das CPs o que indica uma alta variabilidade da precipitação quando se trata da escala interanual. A análise temporal também mostra, por exemplo, que os maiores correlações superiores a $r < 0,7$ nos anos de 2008, 2009 e 2012 com maiores contribuições no Ceará, Rio Grande do Norte,

Pernambuco e Piauí (tonalidade de azul) e contribuições negativas para os anos de 1993 e 1998. As menores correlações, inferiores $-0,5$ em quase toda a Bahia (tonalidade amarela) e nos estados de Alagoas, Sergipe, sul do Pernambuco. De acordo com dados observados no ANEXO I, esses máximos e mínimos de correlações da precipitação observados coincidem com os eventos de ocorrência do fenômeno El Niño/La Niña. Esse fenômeno altera a circulação de Walker, e do Padrão de Dipolo do Atlântico, que exerce influências no deslocamento norte-sul da ZCIT, favorecendo as chuvas/secas na região. Esses resultados são similares àqueles obtidos na região por Andreoli e Kayano (2006) e Costa (2012).

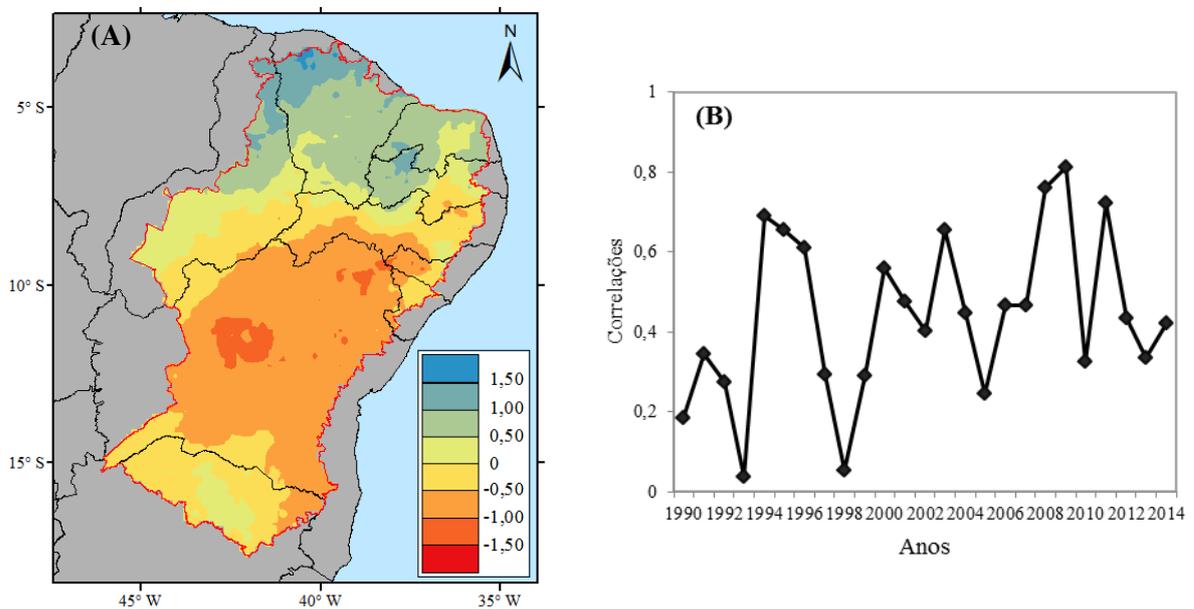


Figura 5. Escores espaciais (A) e correlações temporais (B) do primeiro fator comum da precipitação anual (mm) na região semiárida brasileira

O segundo fator comum, que explica 22,1% da variância total dos dados, apresenta escores negativos, inferiores a $-1,5$, na parte noroeste da região abrangendo quase que por total os estados da Paraíba e Pernambuco e escores positivos, próximos de 1,0, se concentram no sul de Alagoas e no estado de Sergipe (cor azul). A maior parte do território os escores espaciais são próximos de zero (Figura 6A). A Figura 6B se refere às correlações anuais deste fator percebe-se a oscilação de correlações positivas e negativas da segunda CP, com destaque para os anos de 1998, 2012 e 2013 com correlações superiores a 0,7 e para os anos de 2000 e 2004 apresentam correlações baixíssimas, reforçando a alta variabilidade da precipitação interanual na região SAB nesses anos.

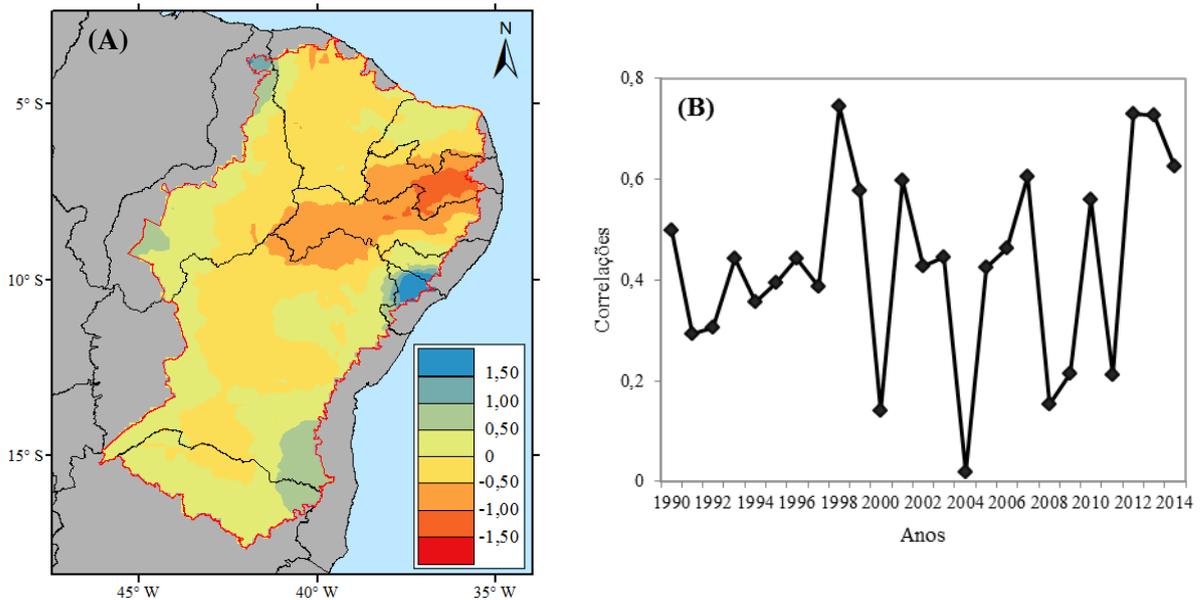


Figura 6. Escores espaciais (A) e correlações temporais (B) do segundo fator comum da precipitação anual (mm) na região semiárida brasileira

O padrão espacial associado ao terceiro fator (Figura 7A), que explica 21,2% da variância total dos dados, apresenta escores positivos superiores a 0,5 na parte sul da região SAB, abrangendo o sul da Bahia e os municípios pertencentes ao estado de Minas Gerais. Já a porção norte da região as contribuições espaciais (escores) são inferiores a -0,5. As correlações associadas a este terceiro fator (Figura 7B) evidencia altas correlações ($r > 0,7$) ocorreram em 1991, 1992, 1997, 2004 mostrando que nesses anos as contribuições para precipitação na maior parte da SAB foram superiores a 0,5. As correlações mínimas foram observadas em 1995, 2003, 2007, 2009, 2012 e 2014, associando-se aos valores mínimos ($r < 0,2$) são observados no extremo norte da região. Este padrão enfatiza bem o ano de 2004, coincidiu com eventos de La Niña (ANEXO I), o que indica que a área mais ao sul da área de estudo foi a mais beneficiada com evento oceânico-atmosférico.

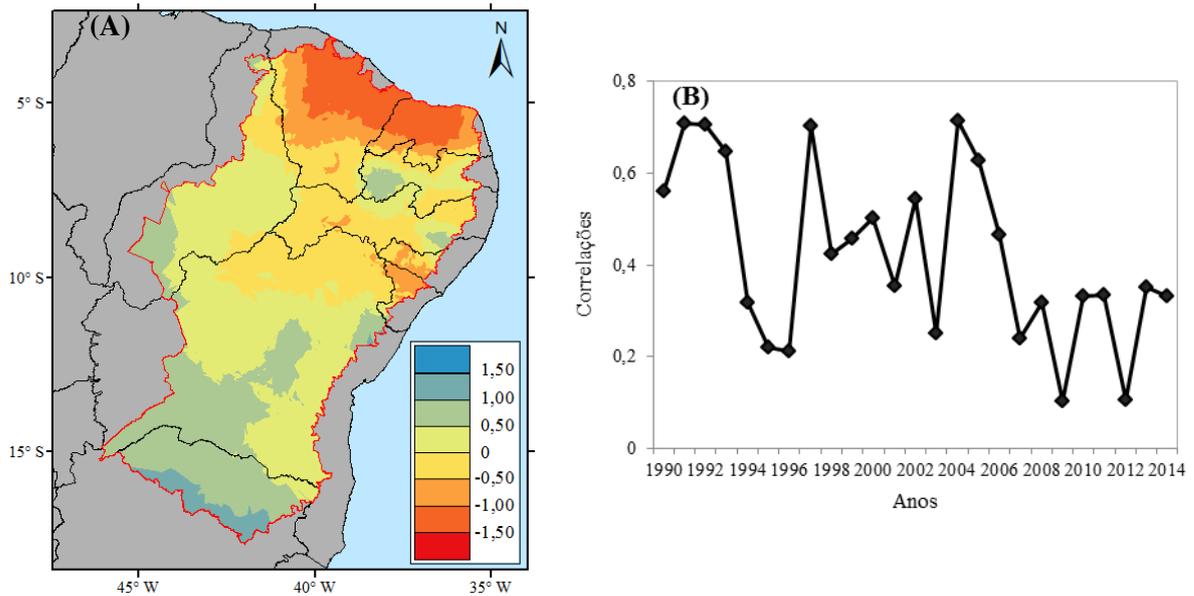


Figura 7. Escores espaciais (A) e correlações temporais (B) do terceiro fator comum da precipitação anual (mm) na região semiárida brasileira

Vale salientar que o valor total anual da precipitação pode não representar muito sobre a qualidade da estação chuvosa de uma região, em especial regiões de clima semiárido, uma vez que para a agricultura, mesmo em anos em que o total de chuva é próximo ou acima da média, podem ocorrer períodos prolongados de estiagem sazonal, que se intercalam com episódios de chuvas mais intensas. Correia et al. (2011) explicam em seu estudo que esses eventos ocasionam a denominada “seca verde”, que pode afetar a produção e a disponibilidade de forragem para os animais, especialmente no período sem chuvas. Por este motivo, o conhecimento da distribuição temporal da chuva torna-se uma informação muito importante.

4.3. Produtividade do milho e tendências

Nesta seção apresentados a distribuição espacial (Figura 8A) e os totais médios da produtividade da cultura do milho nos anos de 1990 a 2014 (Figura 8B) na região SAB. Percebe-se que os maiores valores estão localizados no estado da Bahia com destaque para dois núcleos (tonalidade de azul): um ao norte onde se localizam os municípios de Sento Sé (5995,88 kg/ha), Baianópolis (3736,36 kg/ha), Mucugê (3528,12 kg/ha). Esses municípios encontram-se no limite do cerrado baiano, na região oeste, onde a vegetação local tem sofrido uma forte pressão de desmatamento. São áreas que passam por uma expansão da fronteira agrícola, com vasta exploração não somente da cultura do milho, mas também da soja,

algodão e fruticultura (Mendonça, 2006). O segundo núcleo, mais ao sul, localiza-se na Chapada Diamantina, que engloba os municípios de Parnamirim (2246,92 kg/ha), Wanderley (2065,8 kg/ha) e Santana (2011,52 kg/ha). A principal atividade econômica dessa região é a pecuária, possuindo um dos maiores rebanhos bovino da Bahia, aliada à agricultura onde se destaca o plantio do milho, além do feijão, mandioca, etc.

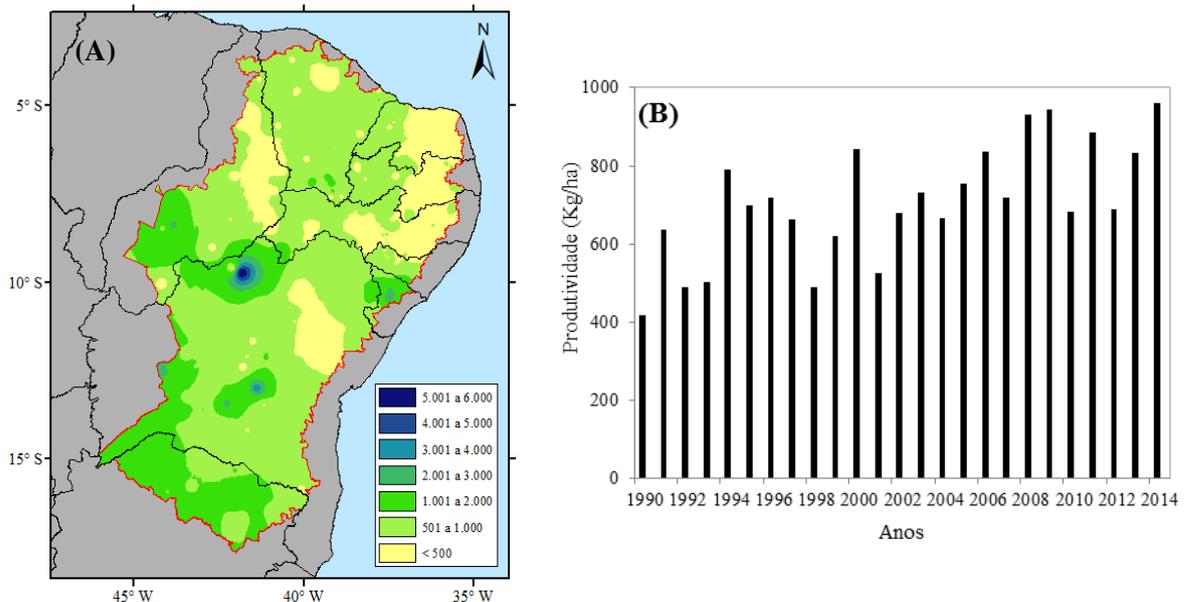


Figura 8. Distribuição espacial (A) e variabilidade temporal (B) da produtividade do milho (kg/ha) na região semiárida brasileira

Deve-se também destacar o estado de Sergipe, com produtividade em torno de 2000 kg/ha o qual apresenta tabuleiros costeiros com grande potencial para o desenvolvimento da cultura do milho, conforme se tem constatado em trabalhos de competição de cultivares realizado nos municípios de Nossa Senhora das Dores Neópolis (Carvalho et al., 1992; 1997). Assim como também no sudoeste piauiense, essa região possui extensa fronteira agrícola favorável à expansão da área cultivada e ao aumento da produtividade. Nesta área é necessário aumentar o volume dos grãos a fim de suprir a demanda estadual, a qual vem se elevando, devido ao aumento significativo da avicultura e suinocultura (Cardoso et al., 2003).

Na maioria do território do SAB, a produtividade do milho, em sistema de sequeiro, é inferior a 1000 kg/ha durante o período de 1990 a 2014. Sabe-se que o milho é cultivado em todas as regiões do país, assim, dada essa importância, apenas uma pequena parcela de agricultores consegue explorar a potencialidade produtiva da cultura, em virtude da ausência de recursos naturais que condicionem bons desempenhos. Dentre esses fatores,

consideram-se os de maior destaque o clima, o manejo de nutrientes, os fatores edáficos, as práticas culturais, o potencial genético e o manejo de pragas, como assinala Hoefft (2003).

Observa-se uma alternância de produtividade (Figura 8B), onde o ano de 1998 se destaca por ter uma média de 339 kg/ha, o qual segundo o CPTEC/INPE foi um ano de El Niño de grande intensidade, considerado o episódio mais forte dos últimos 150 anos, ocasionando redução drástica da precipitação na região Nordeste. Esses dados estão de acordo com Menezes et al. (2010) que afirmaram que a estiagem está relacionada com a queda de produção agrícola na região do SAB, atribuindo o aumento ou redução da produção ao clima local.

A Figura 9A apresenta a distribuição espacial e a variabilidade temporal das tendências de produtividade do milho para a região SAB, a qual apresenta significância estatística ao nível de 1% de probabilidade (13,97 kg/ha/ano) estão ilustrados na Figura 9B. Constata-se que há uma alta semelhança quando comparamos as Figuras 8A e 9A. É possível observar que os núcleos com maiores tendências estão localizados nos estados da Bahia, Piauí e Sergipe.

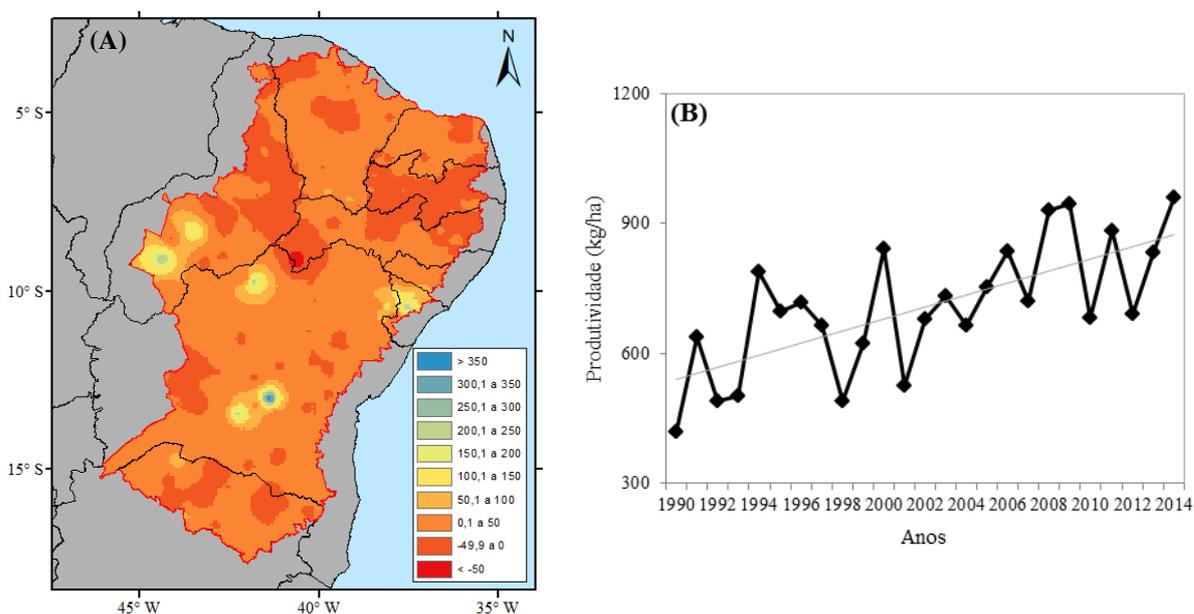


Figura 9. Distribuição espacial (A) e variabilidade temporal (B) das tendências de produtividade milho (kg/ha/ano) na região semiárida brasileira

A maioria da extensão territorial da região do SAB possui uma tendência de aumento que pode variar entre 0,1 a 50 kg/ha/ano. A partir do levantamento divulgado pelo IBGE (2014), o Piauí teve um aumento de 81,16% na produção de grãos em 2014, quando comparado com a safra de 2013. Os maiores percentuais de aumento na produção foram

observados nas culturas de mamona, fava e milho. Os produtores piauienses já ocupam o segundo lugar no ranking da produção de milho no Nordeste. Se as tendências crescentes de produção permanecer, o estado também passará a ocupar a segunda posição no ranking dos produtores podendo desbancando o estado da Bahia.

O considerável aumento temporal é justificado não só pela tendência de aumento dos totais pluviométricos, mas principalmente pelo surgimento da chamada “agricultura moderna”, que surgiu influenciada pela Revolução Industrial que tem como principal finalidade a produção máxima possível visando abastecer as redes comerciais, tanto para o abastecimento local como para a exportação do grão. Ela é dotada de tecnologias que permitem o melhoramento e qualidade dos produtos cultivados, faz o uso de técnicas modernas extremamente sofisticadas como uso de fertilizantes químicos, uso e aperfeiçoamento dos sistemas de irrigação adequados às culturas, melhoramento genético com a seleção de espécies que melhor se adaptem aos fatores edafoclimáticos, por exemplo.

4.4. Variabilidade interanual produtividade do milho

Seguindo os mesmos procedimentos utilizados na seção anterior, aplicou-se a técnica da ACP para a produtividade do milho. Foram retidos os quatro primeiros fatores comuns temporais que explicaram 75,57% da variância total dos dados de produtividade do milho (Tabela 2). A técnica da ACP conseguiu descrever satisfatoriamente, para um nível de 95%, as variações dos dados originais, obtendo-se um KMO de 0,947, indicando a adequação da técnica aos dados. Embora tenham sido selecionados quatro fatores, pelo critério de truncamento de Kaiser, serão discutidos apenas os três primeiros fatores rotacionados que representaram 68% da variabilidade dos dados. Figueiredo Filho e Silva Júnior (2010) sugerem que, apesar de não existir um critério consensual para definir quantos fatores podem ser extraídos; a solução ótima é identificar o número mínimo de fatores que maximiza a quantidade de variância total explicada.

Tabela 2. Sequência dos autovalores, variância explicada e acumulada (%) anual dos fatores rotacionados da produtividade do milho (kg/ha)

Componentes Principais	Fatores não rotacionadas			Fatores rotacionadas (Varimax)		
	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)
1	14,1	56,5	56,5	7,1	28,4	28,4
2	2,3	9,5	66,1	4,9	19,9	48,3
3	1,2	4,9	71,0	4,9	19,6	67,9
4	1,1	4,5	75,5	1,8	7,5	75,4
...			
25	0,08	0,3	100			

A seguir será apresentada a espacialização dos escores do primeiro fator comum (Figura 10A). Contribuições positivas superiores a 1,0 se encontram no sul do Ceará, da Bahia e do Piauí, pequena parte do Pernambuco e o estado do Sergipe contendo as escores de maiores valores. As correlações temporais superiores a $r > 0,8$ associam-se a este fator a partir de 2008 (Figura 10B) é possível que estejam associadas aos núcleos visualizados na Figura 10A (tonalidade de azul).

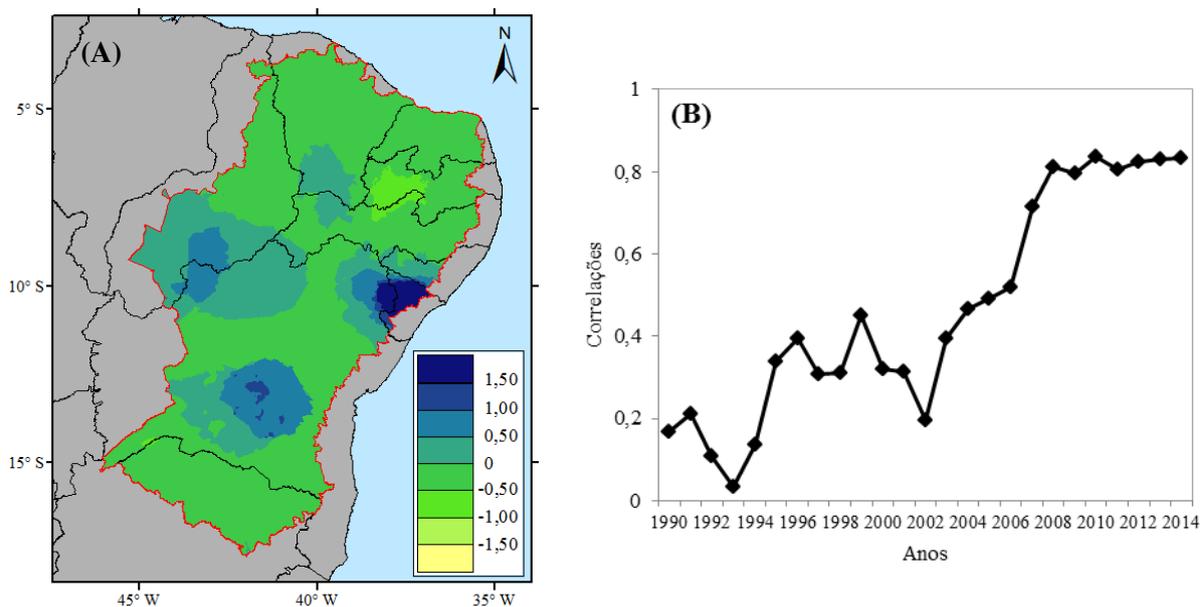


Figura 10. Escores espaciais (A) e correlações temporais (B) do primeiro fator comum da produtividade do milho (kg/ha) na região semiárida brasileira

Esse primeiro fator está relacionado com a produtividade espacial de milho, onde os valores altos/baixos das contribuições (escores) correspondem as zonas maior e menor produtividade respectivamente. Isso se deve ao fato da grande variabilidade na produtividade anual da cultura do milho ocasionado pela escassez de chuva na SAB. Esses resultados

corroboram com os estudos realizados por Grifo e Silva (2013) que também utilizou a ACP na região do Alto Alentejo, em Portugal.

A distribuição espacial dos escores da segunda CP, que explica 20% da variância total dos dados apresentam valores mais elevados na porção oeste de norte a sul da região SAB superiores a 0,5, nos anos de 1994, 1995, 1996, onde as correlações são maiores que 0,7 (Figura 11B). As menores contribuições são observadas em todo leste da SAB, exceto noroeste de Sergipe, esse fator evidencia que isso ocorreu nos anos de 1990/1992 e nas últimas décadas (Figura 11B), nesses anos indicados ocorreram vários episódios de ENOS (ANEXO I), prejudicando drasticamente a produção do milho. Desta forma, a segunda componente indica as zonas da região SAB de maior/menor produtividade anual do milho, ou seja, contribuições maiores que 1,0 representam às áreas mais favoráveis a produção do milho e contribuições inferiores à zero, regiões menos favorável produção. Esses resultados são semelhantes aos encontrado por Grifo e Silva (2013) em regiões de Portugal.

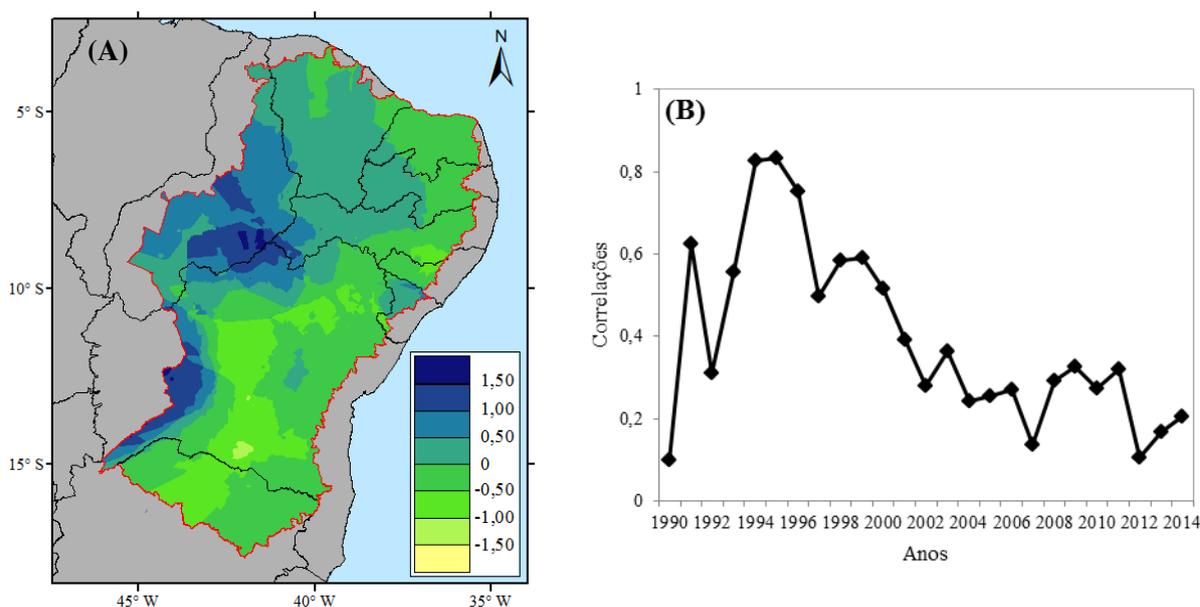


Figura 11. Escores espaciais (A) e correlações temporais (B) do segundo fator comum da produtividade do milho (kg/ha) na região semiárida brasileira

A espacialização do terceiro fator comum que explica aproximadamente 20% da variância total dos dados tem contribuições positivas superiores a 0,5, em quase toda região com valores máximos na a região central e sul da região SAB. Os menores são observados na porção que se estende do oeste do Piauí até leste de Pernambuco com mínimos extremos no sudoeste de Pernambuco, mas precisamente na fronteira com o estado do Piauí (Figura 12A). As correlações temporais associada ao terceiro fator (Figura 12 B) da produtividade do milho

no período janeiro de 1990 a dezembro de 2014. As áreas com as maiores contribuições (tonalidade azul escuro) estão relacionadas com as maiores correlações superiores a 0,6 nos anos de 2002, 2003, 2004 e 2005. Este fator destaca nessas áreas escuras, áreas mais propícias ao cultivo do milho nesses anos.

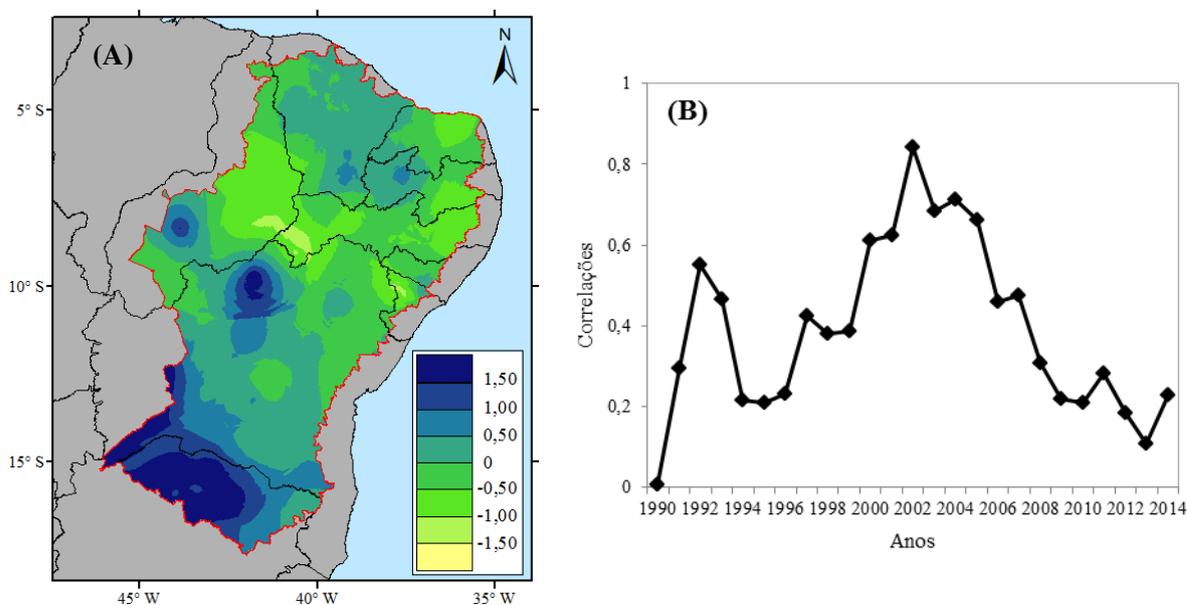


Figura 12. Scores espaciais (A) e correlações temporais (B) do terceiro fator comum da produtividade do milho (kg/ha) na região semiárida brasileira

4.5. Análise de agrupamento na região semiárida brasileira

A delimitação das regiões homogêneas foi feita a partir da matriz dos fatores comuns espaciais temporais selecionados da precipitação e produtividade do milho utilizando o método de agrupamento de Ward (1963). A aplicação do método de agrupamento a matriz conjunta das duas variáveis dividiu a região do SAB em quatro grupos/regiões homogêneas (Figura 13), a saber: o grupo 1 formado por 181 estações, situado na parte central da região compreendendo os estados de Alagoas, Pernambuco, Paraíba, a maior parte do estado da Bahia e a porção central/sul do Piauí; o grupo 2 composto por 117 estações inserido nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Sergipe e a parte norte do Piauí; o grupo 3 constituído por 26 estações, situados no norte de Minas Gerais (divisa com a Bahia) e norte da Bahia divisa com Pernambuco; e o grupo 4, que possui apenas 6 estações posicionado em dois núcleos um no oeste do estado do Piauí e o outro no centro/sul do estado da Bahia.

A partir dos agrupamentos encontrados da análise conjunta das variáveis é possível observar que a região SAB apresenta alta variabilidade pluviométrica concordando

com a produtividade do milho, indicando assim, regiões mais e menos propícia ao cultivo desse grão. Observar-se o clima “mais” semiárido no interior desta região (grupo 1), cuja os totais médios anuais precipitação média por volta de 500 mm/ano, até o clima mais úmido, localizado principalmente na costa oeste e sul da região (grupos 3 e 4), com precipitação média anual em torno de 1.000 mm. Diversos fatores concorrem para modular a variabilidade da precipitação na região e em áreas adjacentes como, por exemplo, a variabilidade da TSM do Oceano Atlântico. Geralmente, anomalias nas TSMs desses oceanos estão associadas a mudanças na circulação da atmosfera e, conseqüentemente, a flutuações interanuais na precipitação da região SAB. Os resultados encontrados corroboram com os obtidos por Marengo et al. (2011), e em linhas gerais estão em conformidade com a configuração espacial da precipitação para a América do Sul proposta por Reboita et al. (2010).

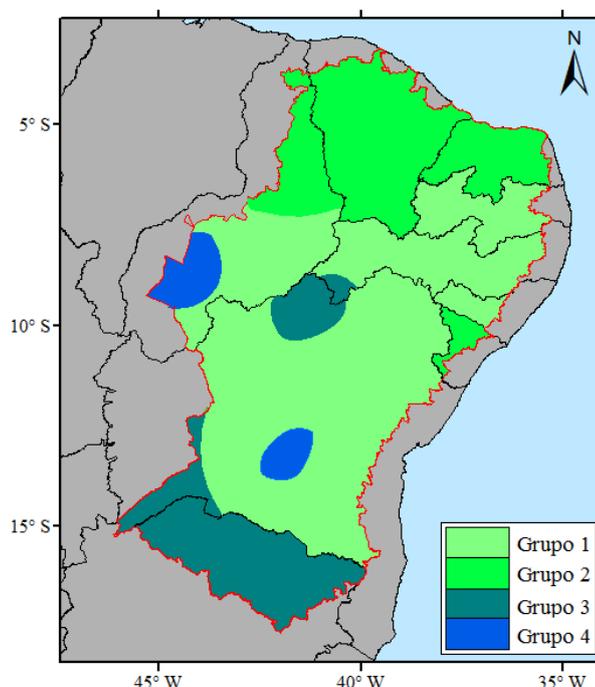


Figura 13. Regiões homogêneas a partir da pluviosidade (mm) e produtividade do milho (kg/ha) na região semiárida brasileira

Essa variabilidade pluviométrica, de maneira geral, reflete na produtividade do milho na região, como pode ser observado nas Figuras 14 a 17, as quais exibem a variabilidade temporal da pluviosidade e da produtividade do milho para cada grupo, no período de 1990 a 2014.

A Figura 14 (grupo 1) ilustra a variabilidade espacial dos totais anuais da precipitação no período estudado. Este grupo apresenta total médio anual da precipitação de 647,9 mm, com máxima em 846 mm em 2004 e mínima de 358,96 mm, em 2012. A

produtividade média anual 548,7 kg/ha, com máxima de 721,47 kg/ha em 1994 e mínima 353,31 kg/ha em 1990. Diante do exposto pode-se observar nestes dois anos que a total anual de precipitação não implica em na produtividade, é possível que isso ocorra devido a uma possível prática de irrigação ou pela grande variabilidade sazonal da chuva nesta área.

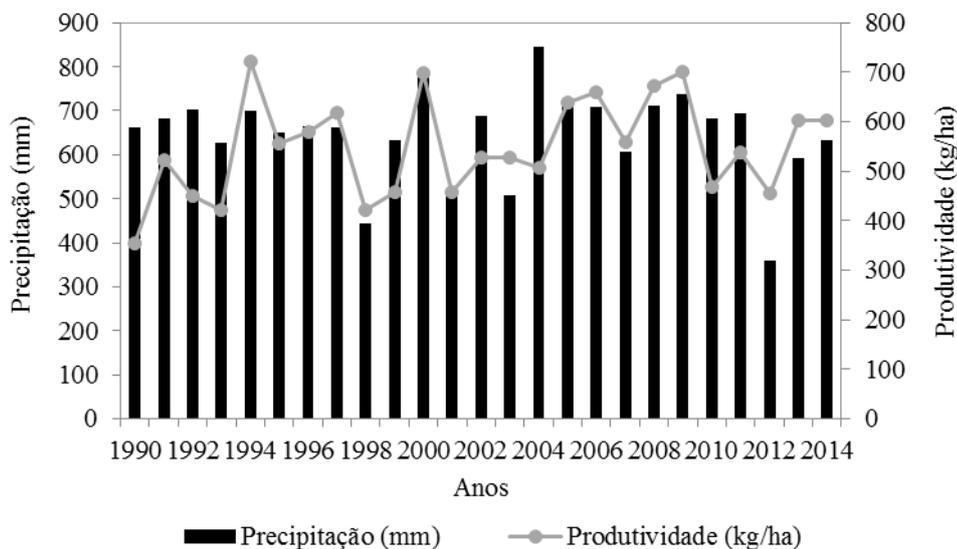


Figura 14. Variabilidade anual dos totais pluviométricos e da produtividade do milho do grupo 1 na região semiárida brasileira

A variabilidade dos totais anuais da precipitação do grupo 2 possui média de 793,5 mm para o período de estudo, com máxima de 1071,98 mm em 2009 e mínima 550,56 mm em 1998. Sua produtividade média anual do milho 686,4 kg/ha, com máxima em de 1074,24 kg/ha no ano de 2014 e mínima de 317,39 kg/ha em 1992. Observa-se que neste grupo embora a precipitação seja mais elevada a variabilidade é maior do que a grupo 1, refletindo assim, mais intensidade na produtividade local do milho (Figura 15).

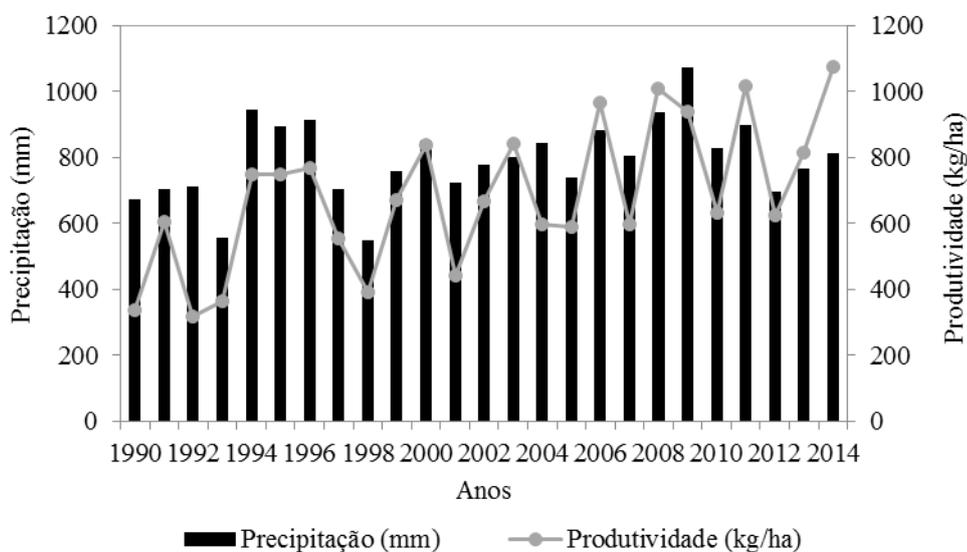


Figura 15. Variabilidade anual dos totais pluviométricos e da produtividade do milho do grupo 2 na região semiárida brasileira

O grupo 3 (Figura 16) possui uma média de precipitação no valor de 827,8 mm, com máxima de 1142,7 mm em 1992 e mínima 509,9 mm em 1993. A média de produtividade do milho foi de 1457,2 kg/ha para o período estudado, com máxima de 1491,7 kg/ha no ano de 1992 e mínima de 1034,6 kg/ha em 2006. O crescimento da produtividade agrícola em 156 países, inclusive o Brasil no período 1961 a 2009. Para a safra brasileira, os resultados apontaram que ocorreu aumento na produtividade dos grãos (arroz, feijão, milho, trigo e soja), entre as décadas de 1980 e 1990 e uma redução de crescimento a partir dos anos 2000 (Fuglie et al. 2012). Um dos fatores apontados para essa inferência são as mudanças climáticas globais. Isso explica o fato pelo qual a produtividade agrícola deste grupo sofre influência diretamente das precipitações locais, apesar da modernização da agricultura brasileira, principalmente a partir dos anos 2000, esteja mais acessível ao homem do campo.

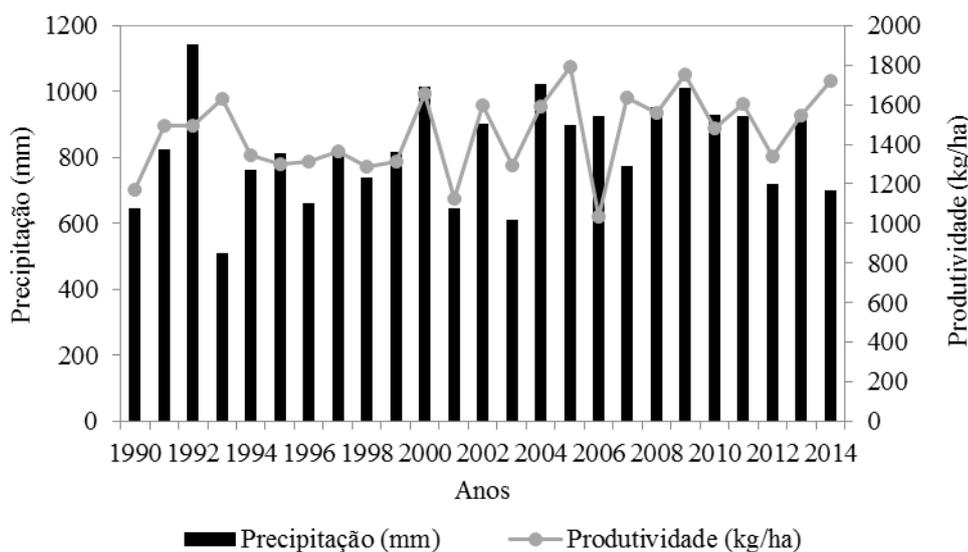


Figura 16. Variabilidade anual dos totais pluviométricos e da produtividade do milho do grupo 3 na região semiárida brasileira

É nítido o crescimento da produtividade do milho temporalmente para o grupo 4 (Figura 17) que possui uma média de 2679,4 kg/ha, com máxima de 1133 mm em 2006 e mínima 654,9 mm em 2012. As médias de chuva (930,4 mm), máxima (6244,6 mm, em 2012) e mínima (674,62 mm, em 1990) para o período de 1990 a 2014. Estudos como o de Bustos et al. (2013) identificaram que a partir dos anos 2000 houve uma introdução de novas tecnologias nas principais safras do país (milho geneticamente modificado, por exemplo), afetando significativamente o totais da produtividade do milho.

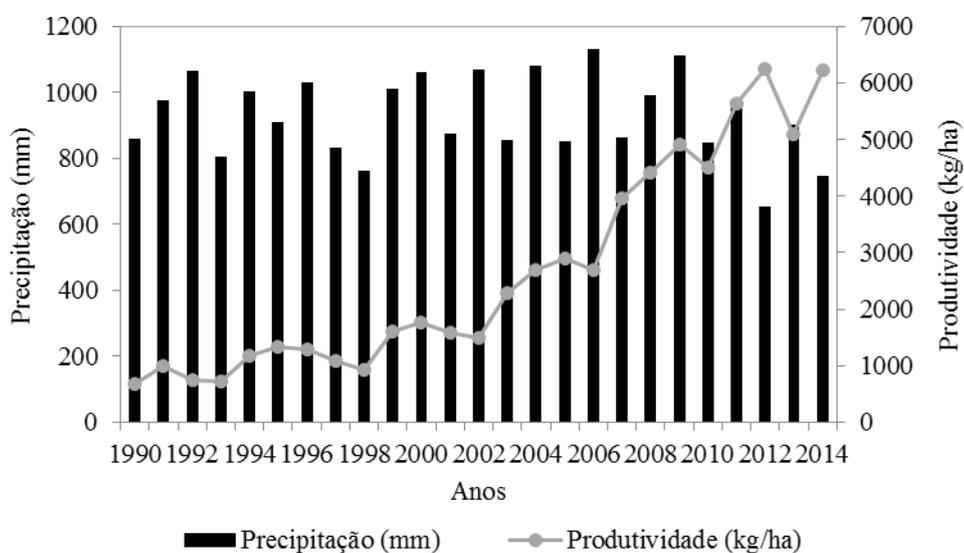


Figura 17. Variabilidade anual dos totais pluviométricos e da produtividade do milho do grupo 4 na região semiárida brasileira

4.6. Tendências da precipitação e da produtividade do milho das regiões homogêneas

A Tabela 4 e as Figuras 18 a 21 exibem as tendências das regiões homogêneas de precipitação e produtividade do milho na região semiárida brasileira para o período de 1990 a 2014.

Tabela 4. Tendências obtidas pelo teste de Mann-Kendall aplicada às regiões homogêneas de precipitação e produtividade do milho na região semiárida brasileira (1990-2014)

Regiões homogêneas	Pluviometria (mm/ano)	Produtividade (kg/ha/ano)
Grupo 1	-1,7	4,1
Grupo 2	5,8	18,5*
Grupo 3	4,9	10,1
Grupo 4	-2,8	237,8*

* Tendência significativa ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de t-Student

O grupo 1 (Figura 18) apresentou uma pequena tendência pluviométrica negativa, no valor de -1,7 mm/ano, no entanto uma tendência positiva da produtividade do milho, na ordem de 4,1 kg/ha/ano. Ambas as tendências não apresentaram significância estatística.

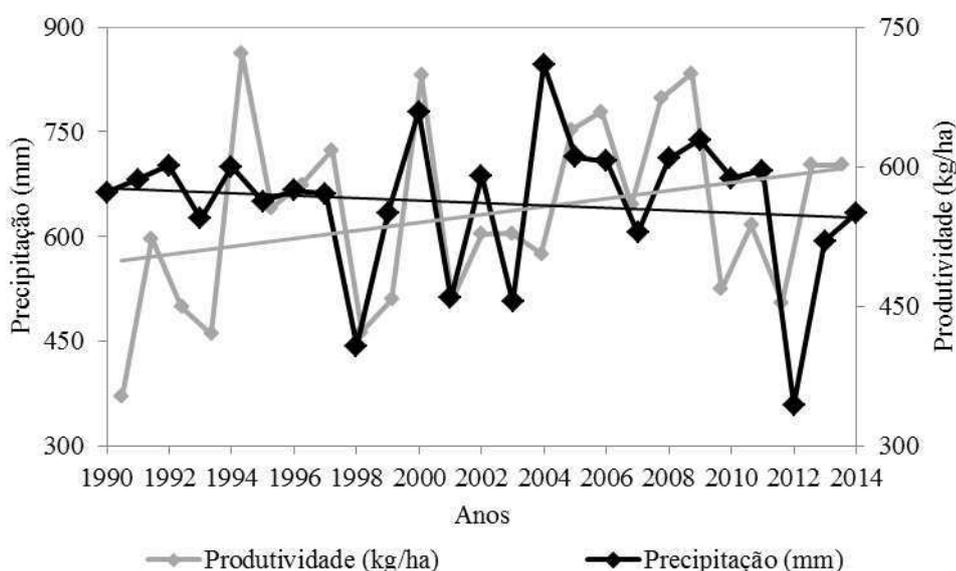


Figura 18. Tendência temporal da pluviometria e da produtividade do milho do grupo 1 na região semiárida brasileira

O grupo 2 exibiu uma tendências positivas. Para a pluviometria um valor de 5,8 mm/ano (Figura 19), sem significância estatística e a tendência de produtividade do milho

no valor de 18,5 kg/ha/ano, esta estatisticamente significativa ao nível de 1% de probabilidade.

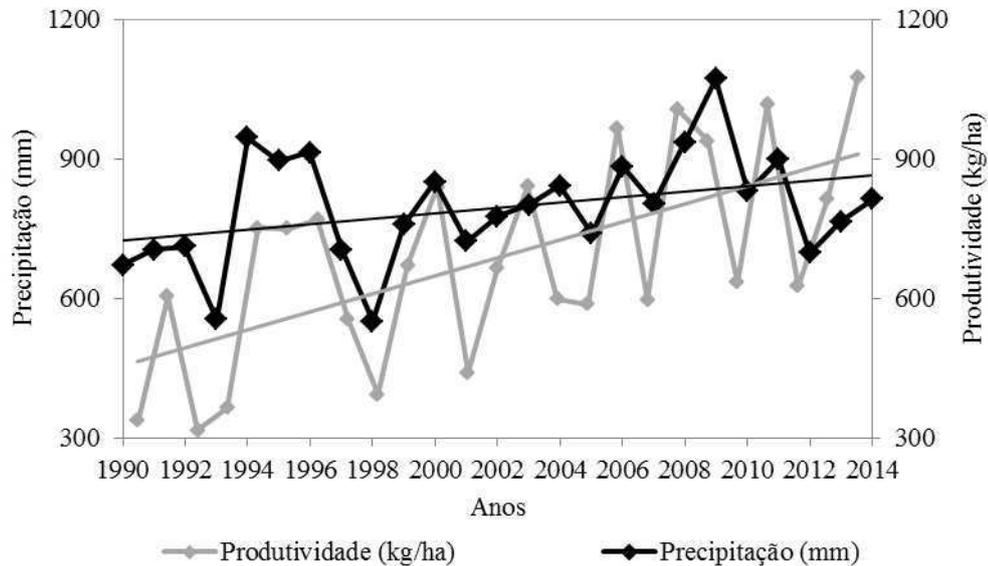


Figura 19. Tendência temporal da pluviosidade e da produtividade do milho do grupo 2 na região semiárida brasileira

Para o grupo 3, que também apresentou tendências positivas, na pluviosidade foi de 4,95 mm/ano (Figuras 20) e a tendência de produtividade do milho foi de 10,07 kg/ha/ano, as quais não foram estatisticamente significativas ao nível de 1% de probabilidade.

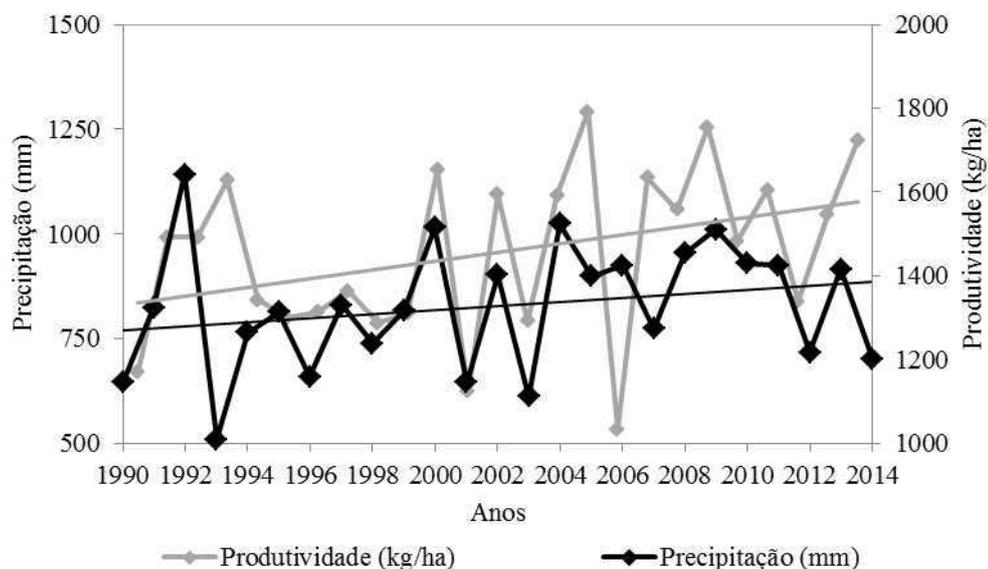


Figura 20. Tendência temporal da pluviosidade (A) e da produtividade do milho (B) do Grupo 3 na região semiárida brasileira

Finalmente, o grupo 4 apresentou uma tendência negativa na ordem de $-2,86$ mm/ano (Figuras 21), sem significância estatística e uma tendência positiva de produtividade do milho de $237,84$ kg/ha/ano para nível estatística significância $\alpha = 0,01$.

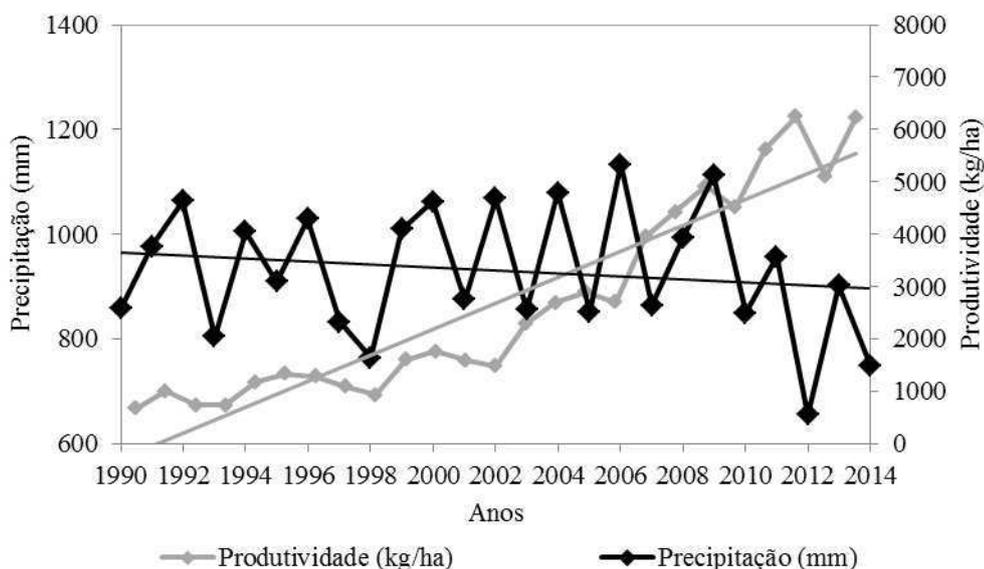


Figura 21. Tendência temporal da pluviosidade e da produtividade do milho do grupo 4 na região semiárida brasileira

Analisando os grupos 2 e 4 identifica-se uma tendência de aumento nos totais médios de produtividade do milho, e tendência negativa na precipitação. Isso pode ser explicado em parte pelas mudanças na estrutura produtiva. De acordo com estudos da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE (2005), e posteriormente abordado por Gasques et al. (2009) e por Freitas et al. (2014), os fatores externos e internos contribuíram para essa inflexão a partir do ano 2000. Entre os fatores internos, destaca-se a mudança na estrutura produtiva, como por exemplo: a incorporação de novas tecnologias, aperfeiçoamento de maquinários e o desenvolvimento de pesquisas, realizadas principalmente pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Quanto aos fatores externos, destacam-se a crise financeira da década de 1990 (período de sobrevalorização da moeda local) e a recessão no mercado, como relatado por Campos e Paula (2002).

Estudos científicos que abordam tendências no padrão de chuva sobre a região do SAB apresentaram resultados incongruentes. Hastenrath (2000), com base nos dados observados em vinte e sete estações pluviométricas, apresentou à variação anual do total

precipitado a região do SAB durante o período chuvoso, apontando tendência leve de aumento, apesar de não ter informado seu grau de significância. O autor chamou a atenção para o fato de que essa propensão foi pequena quando comparada à variabilidade anual e decenal observada na região. Enquanto Lacerda et al. (2009), em sua análise pluviométrica apresentaram no período de 1965 a 2004, uma diminuição anual estatisticamente significativa, pesquisa realizada numa bacia hidrográfica de aproximadamente 17.000 km², localizada na região semiárida do Estado de Pernambuco.

Mais recentemente, Costa et al., 2015 verificaram possíveis tendências na intensidade da chuva ocorrida durante o período menos chuvoso e chuvoso sobre a região SAB. Os resultados indicaram que houve tendência negativa para o período chuvoso, com destaque o mês de dezembro com tendência significativa decrescente no volume da precipitação de 1,57 mm/ano.

4.7. Correlação entre a precipitação e a produtividade do milho

A produtividade das diversas culturas agrícolas é intensamente dependente da oferta pluviométrica, bem como de sua frequência e intensidade. Com isso, a época do plantio das culturas está inteiramente conectada aos elementos climáticos, dentre eles a precipitação. Visando estudar a relação entre a precipitação anual (mm) e a produtividade anual do milho (kg/ha) da região Semiárida Brasileira durante o período de 1990 a 2014, foram calculados os coeficientes de correlações (r) entre as variáveis. A Figura 22 exhibe a distribuição espacial das correlações entre a precipitação e a produtividade do milho na região SAB. O efeito das chuvas sobre a produtividade do milho foi, de modo geral, estatisticamente positivo, no entanto com correlações baixas ($0,10 \geq r \leq 0,40$).

Percebe-se que a maior parte do SAB possui correlações negativas e/ou próximas de zero ($-0,2 \leq r \leq 0,1$) e as maiores correlações ($0,4 \leq r \leq 1,0$) estão localizadas no norte da área de estudo, com os maiores núcleos nos estados do Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte.

Quanto à magnitude dos coeficientes encontrados neste trabalho, deve-se levar em conta o fato de que foram correlacionados a precipitação medida na estação meteorológica e os dados estatísticos de produtividade, sendo que nestes, os fatores como épocas de semeadura, fertilidade do solo e tratos culturais não foi mantida constante.

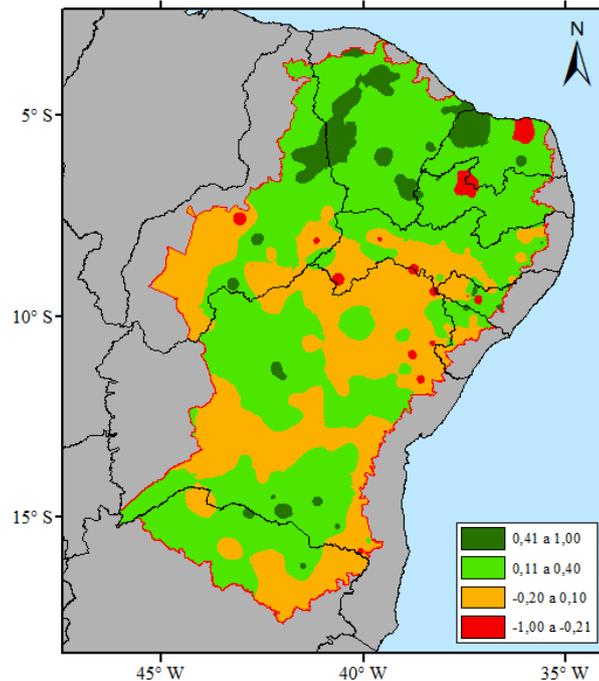


Figura 22. Distribuição espacial das correlações entre a precipitação e a produtividade do milho na região semiárida brasileira

Constata-se que a produtividade do milho nas últimas décadas tem sido variada e está intimamente relacionado com a variabilidade climática. Este resultado está de acordo com os resultados obtidos por Jones e Thornton (2003) e Parry et al. (2004). Por outro lado, Berlato et al. (2005) concluíram que a maior variabilidade da produtividade coincide sempre com a maior variabilidade da precipitação pluvial. Durante a década de 90 e os primeiros anos de 2000 a tendência de aumento da produtividade do milho coincidiu com a tendência de aumento da precipitação pluvial, causada pela ocorrência de pelo menos seis eventos de El Niño, que provocaram anomalias positivas de precipitação pluvial.

Normalmente, existem dois modos básicos pelos quais a variabilidade da precipitação influencia na produtividade do milho. O primeiro é que os efeitos diários, sazonais, e as variações anuais na precipitação são muito importantes para determinar a eficiência do desenvolvimento de milho. Em segundo lugar, ao considerar a exigência da chuva para o crescimento de qualquer cultura, o microclima imediatamente em torno da mesma é vital, como assinalam Sousa et al. (2012); Castro et al. (2016); Silva e Da Silva (2016).

De modo geral, o padrão de variabilidade das variáveis (precipitação e produtividade do milho) é interdependente, mas não efetivamente interligado, pois não foi possível constatar estatisticamente que precipitações conduzem com os valores médios de produtividade. No entanto, é importante considerar que eventos extremos, como inundações

ou secas, induzem a impactos sobre as culturas. Contudo, pode-se afirmar que a variabilidade pluviométrica interanual é um fator determinante na produtividade do grão na região.

5. CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho permitem concluir o seguinte:

1. A maior parte do território do SAB não possui qualquer tendência pluviométrica estatisticamente significativa, muito embora com valores próximos de -10 mm/ano. As maiores tendências positivas estão presentes no estado de Minas Gerais, Aracajú e Alagoas.

2. Na maioria do território do SAB, a produtividade do milho em sistema de sequeiro é inferior a 1000 kg/ha durante o período de 1990 a 2014. A análise de tendências anuais de produtividade do milho para a região SAB possui uma alta semelhança quando comparada com a variabilidade espacial da produtividade milho.

3. A maioria da extensão territorial da região do SAB possui uma tendência de aumento que pode variar entre 0,1 a 50 kg/ha/ano. Os núcleos que possuem as maiores tendências estão localizados nos estados da Bahia e do Piauí e com tendências negativas são observados principalmente na porção norte da área de estudo.

4. As CPs associadas aos dados de precipitação demonstraram a de forma eficaz a variabilidade pluviométrica. As CPs associadas aos dados de produtividade do milho indicam uma alta variabilidade da produtividade do milho quando se trata da escala interanual;

5. A variabilidade pluviométrica poderá interferir no desempenho da produção agrícola, na escolha da área para plantio de determinadas culturas e na opção do uso da irrigação, e conseqüentemente no uso de energia elétrica, podendo aperfeiçoar os lucros, uso das terras agricultáveis, reduzir perdas na agricultura e criar planos estratégicos para os agricultores se prepararem em anos de eventos climáticos extremos.

6. A AA possibilitou dividir a região do SAB em quatro grupos e assim foi possível observar que o clima “mais” semiárido encontra-se no grupo 1, com precipitação média por volta de 500 mm/ano. Os grupos 1 e 4 apresentaram uma pequena tendência negativa na precipitação, mas valores positivos de tendência de produtividade do milho. Esse comportamento pode ser fundamentado pela mudança na estrutura produtiva nessas localidades, baseando-se nas inovações, nas mudanças tecnológicas e na expansão da capacidade de aprendizagem dos agricultores. Já os grupos 2 e 3 apresentaram tendências positivas tanto na precipitação como na produtividade do milho.

7. A correlação entre a pluviometria e a produtividade do milho foi, de modo geral, estatisticamente positiva, no entanto, com correlações baixas. Constata-se, ainda, que a

produtividade do milho nas últimas décadas tem sido variada e está intimamente relacionado com a variabilidade climática;

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, J. M. B.; Campos, J. N. B.; Souza, E. B.; Xavier, T. M. B. S. A Produção Agrícola de Subsistência no Ceará com Ênfase aos anos de El Niño e La Niña. In: The Water Meeting / I Fórum Interamericano de Gestão em Recursos Hídricos, 1997, Fortaleza-CE. Anais - Home Page, 1997.
- Amorim Neto, M. 2001. Zoneamento agroecológico e época de semeadura para a mamoneira na Região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 9, .551-556.
- Amorim Neto, M.S.; Beltrão, N.E.M.; Silva, L.C.; Araújo, A.E.; Gomes, D.C. 1999. Zoneamento e época de plantio para mamoneira no estado da Bahia. Campina Grande: EMBRAPA- CNPA, 9p. (Circular técnica, 103).
- Andreoli, R. V.; Kayano, M. T. Tropical Pacific and South Atlantic effects on rainfall variability over Northeast Brazil. *International Journal of Climatology*, v. 26, p. 1895-1912, 2006.
- Araújo, A.E. 2000. Zoneamento e definição da época de plantio para mamoneira no estado da Paraíba. Areia: UFPB, CCA. 31p. (Trabalho de graduação).
- Araújo, P. H. C. Eventos climáticos extremos: os efeitos dos fenômenos El Niño e La Niña sobre a produtividade agrícola das Regiões Nordeste e Sul do Brasil. *Pesquisa Agropecuária brasileira*, v. 40, p. 423-432, 2012.
- Araújo, P. H. C.; Cunha, D. A.; De Lima, J. E.; Féres, J. G. Efeitos da Seca sobre a Produtividade Agrícola dos Municípios da Região Nordeste. In: Encontro de Economia Baiana, 9., 2013, Salvador. Anais... Economia Baiana, p. 151-167. 2013.
- Arruda, F. B.; Weill, M. A. M; Iaffe, A. Sakai, E.; Pires, R. C. M, Estudo da influência do clima e do consume hídrico na produção de cafeeiros (*Coffea Arabica* L) em Pindoretama, SP. Embrapa, 2000.
- Bergamaschi H, Dalmago GA, Bergonci JI, Bianchi CAM, Müller AG, Comiran F, et al. Water supply in the critical period of maize and the grain production. *Pesq Agrop Brasileira.*; 39 (9) : 831–9, 2004
- Berlato, M. A. ; Farenzena, H. ; Fontana, D. C. . Association between El Niño Southern Oscillation and corn yield in Rio Grande do Sul State. *Pesq. agropec. bras.* vol. 40 no.5 Brasília May 2005.
- Blain, G.. Considerações estatísticas relativas à oito séries de precipitação pluvial da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, *Revista Brasileira de Meteorologia* 24,12-23. 2009
- Bustos, P.; Caprettini, B.; Ponticelli, J. Agricultural Productivity and Structural Transformation: evidence from Brazil. *Economics Working Papers* 1403, Department of Economics and Business, Universitat Pompeu Fabra, ago. 2013.
- Cai, R; Mullen, J. D.; Bergstrom, J. C.; W. Shurley, D.; Wetzstein, M. E. Using a Climate Index to Measure Crop Yield Response. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 45,4 (November 2013):719–737.
- Campos, A. C.; Paula, N. A evolução da agropecuária brasileira nos anos 90. *Indicadores Econômicos FEE*, Porto Alegre, v. 29, n. 4, p. 177-199, fev., 2002.

- Campos, I. B. P.; Ruivo, B. C. Análise da tendência climática para a cidade de Corumbá, Mato Grosso do Sul. Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá, 7-11 novembro 2009, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.90-98.
- Cardoso, M. J.; Carvalho, H. W. L.; Santos M. X.; Leal. M. L. S.; Oliveira, A. C. Desempenho de híbridos de milho na região Meio-Norte do Brasil. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.2, n.1, p.43-52, 2003.
- Carvalho, H. W. L.; Santos, M. X.; Leal, M. de L. da S.; Donald, E. R. C.; Cardoso, M. J.; Carvalho, B. C. L. de; Silva, I. O.; Marques, H. da S.; Carvalho, P. C. L. de; Tabosa, J. N.; Brito, A. R. M. B.; Lira, M.A.; Monteiro, A. A. T.; Antero Neto, J. F.; Albuquerque, M.M.; Aranha, W. da S. Cultivares de milho para o nordeste brasileiro: ensaios realizados no ano de 1996. Aracaju: Embrapa CPATC, 1997. 8p. (Embrapa-CPATC. Comunicado técnico, 13).
- Carvalho, H.W.L. de; Magnavaca, R.; Leal, M.L. da S. Estabilidade de cultivares de milho no Estado de Sergipe. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.27, n.7, p.1073-1082, 1992
- Castro, N. R.; Gilio, L. ; Silva, A. F. ; Ozaki, V. A. . Modelos univariados e multivariados aplicados à previsão de valores de exportação: uma análise comparativa para o complexo soja. Espacios (Caracas), v. 37, p. 15, 2016.
- Charba, J. P. Operational scheme for short range forecasts of severe local weather. Preprint. Ninth Conference on Severe Local Storms Norman – Oklahoma. Americ. Meteo. Soc., 51-57, 1975.
- Charba, J. P. Two to six hour severe local storm probabilities an operational forecasting system. Mon.Wea.Rev., 107, 268-282, 1979.
- Conab, Companhia Nacional de Abastecimento, Produção de Milho no Ceará, 2015. 3 p.
- Correia, R. C.; KIILL, L. H. P.; Moura, M. S. B. de; Cunha, T. J. F.; Jesus Junior, L. A. de; Araújo, J. L. P. A região semiárida brasileira. Embrapa Semiárido, 2011.
- Correia, R. C.; Kiill, L. H. P.; Moura, M. S. B.; Cunha, T. J. F. ; Jesus Junior, L.A.; Araujo, J.L.P. A região semiárida brasileira. In: Tadeu Vinhas Voltolini. (Org.). Produção de caprinos e ovinos no Semiárido. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011, v. , p. 21-48.
- Costa, J. A. O fenômeno El Niño e as secas no nordeste do Brasil. Revista Científica do IFAL, v. 1, n. 4, jan./jul. 2012.
- Costa, M. S.; Lima, K. C.; Andrade, M. M.; Gonçalves, W. A. Tendências observadas em extremos de precipitação sobre a região Semiárida do Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física V. 08 N. 05 (2015) 1321-1334.
- Cruz, J. C. ; Pereira Filho, I. A. ; Pimentel, M.A.G. ; Coelho, A. M. ; Karam, D. ; Cruz, I. ; Garcia, J. C. ; Almeida, J. A. A. ; Oliveira, M. F. ; Gontijo Neto, M. M. ; Albuquerque, P. E. P. ; Viana, P. A. ; Mendes, S. M. ; Costa, R. V. ; Alvarenga, R. C. ; Matrangolo, W. J. R. . Produção de milho na agricultura familiar. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2011 (Circular técnica).
- Da Silva, D. F. Análise de aspectos climatológicos, ambientais, agroeconômicos e de seus efeitos sobre a Bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL e PE). Tese de Doutorado em Recursos Naturais, 174p., UFCG (PB), março 2009.
- Demarchi, M. Análise da conjuntura agropecuária (SAFRA 2011/12 milho). Secretaria da agricultura e do abastecimento do estado do Paraná, 2011.

- Dias, F. L. F.; Mazza, J. A.; Matsuoka, S.; Perecin, D.; Maule, R. F. Produtividade da cana-de-açúcar em relação a clima e solos da região noroeste do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, n. 3, p. 627-634, 1999.
- Dos Santos, P. F. C.; Nascimento, T. A.; Medeiros, M. C. G.; Assunção, T. F.; Nóbrega, R. S. Os impactos da seca de 2012 na Agricultura do Semiárido Nordestino: Correlação entre os totais pluviométricos culturas de Cana-de-açúcar e Mandioca para o município de Triunfo. In: *Workshop Internacional sobre Água no Semiárido brasileiro*, 1., 2013, Campina Grande. Anais... Campina Grande: Editora Realize, 2013.
- Duarte, J. O.; Cruz, J. C.; Garcia, J. C.; Mattoso, M. J. Economia da produção. In: Cruz, J. C. (Ed.). *Cultivo do milho*. 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 1). Disponível em: . Acesso em: 12 ago. 2016.
- Everitt, B.S.; Dunn, G. *Applied multivariate analysis*. London: Edward Arnold, 1993. 400p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 1994. Grain storage techniques: Evolution and trends in developing countries. Proctor, D.L. (Ed.). Group for Assistance on Systems Relating to Grain After Harvest (GASGA) After Harvest. *FAO Agricultural Services Bulletin* N° 109. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/T1838E/T1838E01.htm#Foreword>. Acesso em: 05 Jul. 2011.
- Ferreira, A. G.; Mello, N. G. S. Principais Sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacíficos e Atlântico no Clima da Região. *Revista brasileira de Climatologia*, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2005.
- Figueiredo Filho, D. B.; Silva Júnior, J. A. Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial. *Opin. Publica* vol.16 no.1 Campinas June 2010.
- Fontana, D.C.; Berlatto, M.A. Relação entre El Niño-Oscilação Sul (ENOS), precipitação e rendimento de milho no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.31, n.1, p.39-46, 1996.
- Freitas, R. E.; Mendonça, M. A. A.; Lopes, G. O. Expansão de área agrícola: perfil e desigualdades entre as mesorregiões brasileiras. Brasília: Ipea, 2014. (Texto para Discussão, n. 1.926).
- Fuglie, O. K. and Wang, S.L. New Evidence Points to Robust But Uneven Productivity Growth in Global Agriculture. USDA, Economic Research Service, Amber Waves, September 2012.
- Garayalde, E. J. G.; Da Silva, M. G. A.; Tavares, A. S. Classificação mesoclimática da região sul do Brasil pela análise de Componentes Principais. In: *Congresso Interamericano de Meteorologia*, 1., Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1986, Brasília. Anais..., Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia, v.1, 1986. p. 119-124.
- Gasques, J. G. et al. Produtividade total dos fatores e transformações da agricultura brasileira: análise dos dados dos censos agropecuários. In: *Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural*, 48., 2009, Campo Grande. Anais... Campo Grande: Sober, 2009.
- Gong, X.; Richman, M.B. On the Application of Clusters Analysis to growing season precipitation data in North America East of the Rockies. *Journal of Climate*, v.8, p.897-924, 1995.
- Grifo, A & Silva, J. M. (2013). Análise espacial e temporal da produção de milho. *Revista da Unidade de Investigação do Instituto Politécnico de Santarém*, 2, 48-65.

- Hair, Jr. J. F.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L.; Black, W. C. *Análise Multivariada de Dados*. Ed. Bookman. 5a edição, 593 pág.. Porto Alegre, 2005. ISBN 85-363-0482-0.
- Hamed, K. H.; Rao, A.R, (1998). A modified Mann-Kendall trend test for auto correlated data. *Journal of Hydrology*, 204:182-196.
- Hastenrath, S. Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic. *Mon. Wea. Rev.*, 112, 1097-1107, 1984.
- Hastenrath, S., 2000: Interannual and longer-term variability of upper air circulation in the Northeast Brazil-Tropical Atlantic Sector, *Journal of Geophysical Research*, 105(D6), 7327-7335.
- Haylock, M. R., et al. (2006), Trends in total and extreme South America rainfall in 1960-2000 and links with sea-surface temperatures. *Journal of Climate* 19: 1490-1512.
- Haylock, M. R., et al. Trends in total and extreme South America rainfall in 1960-2000 and links with sea-surface temperatures. *J. Climate*. 19: 1490-1512, 2006.
- Haylock, M. R., Peterson, T. C., Alves, L. M., Ambrizzi, T., Anunciação, Y. M. T., Baez, J., Barros, V. R., Berlatto, M. A., Bidegain, M., Coronel, G., Garcia, V. J., Grimm, A. M., Karoly, D., Marengo, J. A., Marino, M. B., Moncunill, D. F., Nechet, D., Quintana, J., Rebello, E., Rusticucci, M., Santos, J. L., Trebejo, I., Vincent, L. A. Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, v. 19, p. 1490-1512, 2006.
- Hoefl, R. G. Desafios para obtenção de altas produtividades de milho e soja nos EUA. *Informações Agronômicas*, v.104, p.1-4, 2003.
- IBFlorestas, Ano Internacional das Florestas. Disponível em:
<http://www.ibflorestas.org.br/pt/component/content/article/25-noticias/674-2011-ano-internacional-das-florestas.html>. Acesso em 16/06/2016.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 13/03/2016.
- IBGE <<http://www.urucui fest.com.br/noticias/piaui-esta-entre-os-maiores-produtores-de-milho-no-brasil-5240.html>> Acesso em: 13/03/2016.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, 2012. Disponível em:
<http://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Fasciculo/2012/lspa_201202.pdf>. Acesso em: 10 maio 2016
- IPCC, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, HOUGHTON, J.T. (Ed.). In: Cambridge University Press, Cambridge: 2007.
- Jones PG, Thornton PK. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Glob Environ Chang*. 2003;13:51–9.
- Kendall, M. G. Rank correlation measures. Charles Griffin: London, U.K, p.220, 1975.
- Lacerda, F.F. et al., 2009: Análise preliminar na detecção de tendências no padrão pluviométrico na Bacia do Pajeú, PE: mudanças climáticas ou variabilidade? Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande, MS, 22-26 de novembro.

- Lopes, J. R. F.; Da Silva, D. F. Tendências e distribuição espacial de variáveis climáticas no estado do Ceará. *Ambiência Guarapuava (PR)* v.12 n.1 p. 127 - 145 Jan./Abr. 2016.
- Lucena, J. A.; Souza, B. I; Moura, M. O.; Lima, J. O. Produção Agropecuária e Correlação com a Dinâmica Climática em Caicó-RN. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 6, n. 6, p. 1617-1634, 2013.
- Malvezzi, P. Semiárido: uma visão holística. Brasília, Ed. Pensar Brasil, v.2, p. 140, 2007.
- Mann, H. B. *Econometrica*. The econometric society, v.13, n.3, p.245-259, 1945.
- Manosso, F. C.; A produtividade de soja, trigo e milho e suas relações com a precipitação pluviométrica no município de Apucarana-PR no período de 1968 a 2002. *A Revista do Departamento de Geociências* v. 14, n. 1, jan./jun. 2005.
- Marengo J. A.; Alves, L.M.; Beserra, E. A.; Lacerda, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: Salomão de Sousa Medeiros, Hans Raj Gheyi, Carlos de Oliveira Galvão, Vital Pedro da Silva Paz. (Org.). *Recursos Hídricos e, Regiões Áridas e Semiáridas*. Campina Grande, PB: INSA, 2011, p. 383-416.
- Marengo, J. A. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology*. v.78, p.79-96, 2004.
- Marengo, J.A. e M.C. Valverde, 2007: Caracterização do clima no século XX e cenário de mudanças de clima para o Brasil no século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. *Revista Multiciência*, 8, 5-28.
- Marengo, J.A., 2006a: Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade. Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Brasília, DF: Biodiversidade 26.
- Matos, M. J. L. F.; Tavares, S. A.; Santos, F. F. DOS; Melo, M. F.; Lana, M. M. Milho verde. 2006. Disponível em: http://www.cnph.embrapa.br/paginas/dicas_ao_consumidor/milho_verde.htm. Acesso em 10 de maio de 2012.
- Mendonça, J. O. O potencial de crescimento da produção de grãos no Oeste da Bahia. *Revista Bahia Agrícola*, v.7, n.2, abr. 2006.
- Menezes, H. E. A. Influência da temperatura da superfície dos oceanos tropicais na ocorrência de veranicos no estado da Paraíba. 2006. 83 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande, 2006.
- Menezes, H. E. A.; Brito, J. I. B.; Lima, R. A. F. Veranico e a produção agrícola no Estado da Paraíba, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 2, p. 181-186, 2010.
- Meyer, S. J.; Hubbard, K. G.; Wilhite, D. A. The relationship of climatic indices and variables to corn (maize) yields: a principal components analysis. *Agricultural and Forest Meteorology*, 55 (1991) 59-84.
- Minetti, J. L., Vargas, W. M., Poblete, A. G., Acuna, L. R., Casagrande, G. Non-linear trends and low frequency oscillations in annual precipitation over Argentina and Chile, 1931-1999. *Atmosfera*, 16, 119-135, 2003.
- Mingoti, S. A. *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada*. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

- Molion, L. C. B.; Bernardo, S. O. Dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11., 2000, Rio de Janeiro, Anais...(CD-ROM). 2000.
- Moreira Filho, J. C.; Filho, O. T. G.; Duarte, R. S., A seca de 1993: Crônica de um flagelo anunciado. Banco do Nordeste; Fundação Joaquim Nabuco, v. 4, p138, 2002.
- Moreno, N. B. C.; Silva, A. A.; Da Silva, D. F. Análise de variáveis meteorológicas para indicação de áreas agrícolas aptas para banana e caju no Estado do Ceará. Revista Brasileira de Geografia Física V. 09 N. 01 (2016) 001-015.
- OCDE – Organização para a cooperação e desenvolvimento econômico. Review of agricultural policies: Brazil. OCDE, 2005.
- Oliveira, J.B. de Análise pluviométrica e evapotranspiração de referência para dez localidades do estado do Ceará-Brasil. Areia: UFPB, CCA, 1996. (Trabalho de graduação).
- Padrao, G. A. ; Gomes, M. F. M. ; Garcia, J. C. . Determinantes Estruturais do Crescimento da Produção Brasileira de Grãos por Estados da Federação: 1989/90/91 e 2006/07/08. Revista Econômica do Nordeste, v. 43, p. 51-66, 2012.
- Parry ML, Rosenzweig C, Iglesias M, Livermore M, Fischer G. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. Glob Environ Chang. 2004;14:53–67.
- Paula, R.K; Brito. J. I. B, Braga, C.C.; Utilização da Análise de componentes Principais para verificação da variabilidade das chuvas em Pernambuco. Anais, XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia. 2010.
- Pearson, K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. Philosophical Magazine, Philadelphia. Series 6, n 2, p. 559-572,1901.
- Pearson, K. The grammar of science. London, J. M. Dent and Company, 1892.
- Pereira, G. R.; Cuellar, M. D. Z. Conflitos pela água em tempos de seca no Baixo Jaguaribe, Estado do Ceará. Estud. av. vol.29 no.84 São Paulo May/Aug. 2015.
- Pinto, H. S.; Zullo Jr., J.; Zullo, S. A. Oscilações pluviométricas temporais no E. S. Paulo. In: congresso brasileiro de agrometeorologia, 6., 1989, Maceió. Anais... Maceió: Soc. Bras. Agrometeorologia, 1989, p. 29-33.
- Reboita, M. S.; GAN, M. A.; Rocha, R. P.; Ambrizzit, T. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. Revista Brasileira de Meteorologia, v.25, n.2, p.185-204, 2010.
- Reis, L. C. Análise da variabilidade climática sobre a produtividade da soja no município de Bom Jesus – PI. Mestrado em Ciências Climáticas. UFRN. 2016.
- Resende, M. ; Franca, G. E. ; Alves, V. M. C. . Cultura do milho irrigado. In: POTAFOS. (Org.). Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba SP: POTAFOS, 1993, v. , p. -237.
- Richman, M. B. Rotation of principal components. Journal of Climatology, 6:293-335, 1986.
- Richman, M. B. Specification of complex modes of circulation with T-mode factor analysis. In: II International Conference on Statistics and Climate, 1983, Lisbon. Anais... National Institute of Meteorology and Geophysics, 1983. p. 511-518.
- Rodrigues, J. B. T. Variabilidade espacial e correlações entre atributos de solo e produtividade na agricultura de precisão. 2002. 116 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 2002.

- Santos, A. H. M.; M. R. S.; Correia, M. F.; Araujo, H. A. ; Silva, A. B. Distúrbio ondulatório de leste e seus impactos na cidade de Salvador. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.27, n.3, 355 – 364, 2012.
- Santos, C. A. C., Brito, J. I. B., Ramana Rao, T. V., Menezes, H. E. A. Tendências dos índices de precipitação no Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, p. 39-47, 2009.
- Santos, C. A. C.; Brito, J. I. B. Análise dos índices de extremos para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 22, n. 3, p. 303-312, 2007.
- Santos, C. A. C.; Manzi, A. O. Eventos extremos de precipitação no estado do Ceará e suas relações com a temperatura dos Oceanos Tropicais., *Revista Brasileira de Meteorologia* v. 26, p. 157-165, 2011.
- Silva Dias, R. Relação entre variabilidade pluviométrica, indicadores sócios econômicos e produção agrícola na macrorregião Cariri/Centro Sul cearense. 2013. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Cariri. Crato - CE. 2013.
- Silva, G. Análise da influência climática sobre a produção agrícola em Aiuba (CE) / Gabriel Silva. Monografia (graduação) – Universidade Federal do Cariri, Centro de Ciências Agrárias e da Biodiversidade, Curso de Agronomia, Crato, 2015.61 f. , 2015.
- Silva, G.; Da Silva, D. F. Estudo da influência climática na produção de milho (*Zea mays*) no município de Aiuaba – CE. *Anais. 72º Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC*, 2015.
- Silva, M. T.; Nóbrega, J. N.; Gomes, O. M.; Brito, J. I. B. Estudo da Relação entre Monitoramento Climático e a Produção Agrícola de Grãos nos Estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará. *Revista Brasileira de Geografia e Física*, v.4, n.2, p.322-335, 2011.
- Silva, R. A.; Silva, V. P. R; Cavalcanti, E. P.; Santos, D. N. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n.5, p. 501-509, 2010.
- Silva, V. de P. R. da; Belo Filho, A. F.; Silva, B. B. da; Campos, J. H. B. C. Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.547-553, 2005.
- Silva, V. P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. *Journal of Arid Environments*.v. 58, p. 575-596, 2004.
- Sousa, A. B.; Rufino, L. L.; Maia, L. M.; Moura, M. A. R.; Da Silva, D. F.; FARIAS, W. R. G. Relação entre variabilidade climática e produção agrícola de mandioca no Cariri Cearense. *Anais. In: IV Simpósio Internacional de Climatologia*, 2011, João Pessoa. Disponível em < <http://www.sbmet.org.br/sic2011/arq/37469125081903746912508.pdf>> . Acesso em: 29 fev. 2016.
- Sousa, L. H. G.; Borges, C. K.; Ramos, A. R. D.; Santos, C. A. C. . Eventos extremos de precipitação no estado do Ceará. *In: IV Simpósio Internacional de Climatologia*, 2011, João Pessoa. *Anais - IV SIC*, 2011.
- Souza Filho, F.A. e U. Lall.; Seasonal to interannual ensemble streamflow forecasts for Ceara, Brazil: application of multivariate, semiparametric algorithm. *Water Resources Research*, 39(11), 2003.

- Vasconcelos Junior, F. C. Pré-estação chuvosa e a estação chuvosa do norte do Nordeste do Brasil: aspectos interanuais, intrazonais e extremos. Tese de Doutorado Meteorologia, 129p., Universidade de São Paulo, dez. 2014.
- Ward, J. H. Hierarchical grouping of optimize na objective function. *Journal of American Statistical Association*, v. 58, p. 236-244. 1963.
- Wilks, D. S. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2. ed. London, Academic Press, 2006. 649p.
- Zarzo, M.; Martí, P. Modeling the variability of solar radiation data among weather stations by means of principal components analysis. *Applied Energy* 88 (2011) 2775–2784.

ANEXO I – Ocorrência de eventos de El Niño e La Niña.

Ano	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1990	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	1.2	1.4
1992	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	0.8	0.5	0.2	0	-0.1	-0.1	0
1993	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.9	1.0
1995	0.9	0.7	0.5	0.3	0.2	0	-0.2	-0.5	-0.7	-0.9	-1.0	-0.9
1996	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.6	1.0	1.4	1.7	2.0	2.2	2.3	2.3
1998	2.1	1.8	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.7	-1.0	-1.2	-1.2	-1.3	-1.4
1999	-1.4	-1.2	-1.0	-0.9	-0.9	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.2	-1.4	-1.6
2000	-1.6	-1.4	-1.1	-0.9	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8
2001	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3
2002	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4
2004	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.2	0.1	0	0	-0.1	-0.4	-0.7
2006	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	0.9	1.0
2007	0.7	0.3	0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.6	-0.8	-1.1	-1.2	-1.3
2008	-1.4	-1.3	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.5	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.4	-0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	1.0	1.2	1.3
2010	1.3	1.1	0.8	0.5	0	-0.4	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.3	-1.4
2011	-1.3	-1.1	-0.8	-0.6	-0.3	-0.2	-0.3	-0.5	-0.7	-0.9	-0.9	-0.8
2012	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.2
2013	-0.4	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.5	-0.5	-0.4	-0.2	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.4	0.5	0.6

DESCRIÇÃO: Períodos quente (vermelho) e (azul) períodos de frio

Fonte: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>