**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**
**Faculdade de Meteorologia**
**Graduação em Meteorologia**

**Trabalho de Conclusão de Curso**

# Associação entre a produtividade de soja e a precipitação pluvial no Estado do Paraná

**Renã Moreira Araújo**

Pelotas, 2014

**Renã Moreira Araújo**

# Associação entre a produtividade de soja e a precipitação pluvial no Estado do Paraná

Trabalho acadêmico apresentado ao Curso de Graduação em Meteorologia, da Faculdade de Meteorologia, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Meteorologia.

Orientadora: Prof[a]. Dra. Luciana Barros Pinto

Co-Orientadora: Prof[a]. Dra. Cláudia Rejane Jacondino de Campos

Pelotas, 2014.

Dados de catalogação na fonte:
Ubirajara Buddin Cruz – CRB-10/901
Biblioteca de Ciência & Tecnologia - UFPel

A663a Araújo, Renã Moreira
Associação entre a produtividade de soja e a precipitação pluvial no Estado do Paraná / Renã Moreira Araújo. – 49f. ; il. – Trabalho de conclusão de curso (Meteorologia). Universidade Federal de Pelotas. Faculdade de Meteorologia. Pelotas, 2014. – Orientadora Luciana Barros Pinto.

1.ENOS. 2.Anomalias de precipitação. 3.Produção de soja. 4.Rendimento de grão. 5.Agrometeorologia. 6.Climatologia. I.Pinto, Luciana Barros. II.Título.

CDD: 551.577098162

**Renã Moreira Araújo**

**Associação entre a produtividade de soja e a precipitação pluvial no Estado do Paraná**

**Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, como requisito parcial, para obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia, Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas.**

**Data da Defesa: 21 de maio de 2014.**

**Banca Examinadora:**

**Prof[a]. Dra. Luciana Barros Pinto (Orientadora). Doutora em Meteorologia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa - MG.**

**Prof[a]. Dra. Cláudia Rejane Jacondino de Campos. Doutora em Física da Atmosfera pela Universite de Toulouse III – França.**

**Prof[a]. Dra. Graciela Redies Fischer. Doutora em Meteorologia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa - MG.**

**Agradecimentos**

Agradeço aos meus pais, pelo incentivo e confiança incondicional. À minha irmã, Aline Araújo, por me escutar com paciência e me ajudar a superar as dificuldades. À minha irmã mais nova, Héllen Araújo, pelos momentos de descontração e felicidade.

Aos meus amigos que tantas vezes me aconselharam e encorajaram.

Agradeço a UFPel, ao corpo docente do curso e aos funcionários, que oportunizaram a agregação de conhecimento pessoal e profissional.

Aos membros da banca, pela sabedoria e experiência repassada.

À minha orientadora, Professora Dra. Luciana Barros Pinto, pelas correções, incentivo, respeito as minhas limitações e acima de tudo, pelo trabalho eficiente no pouco tempo que lhe coube.

E acima de tudo, agradeço a Deus, pela saúde e virtudes que tem proporcionado a minha vida.

**Resumo**

ARAÚJO, Renã Moreira. **Associação entre a produtividade de soja e a precipitação pluvial no Estado do Paraná**. 2014. 49f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

O Estado do Paraná (PR) apresenta grande diversidade de relevo, solo e clima, possibilitando o cultivo de várias espécies vegetais. Apesar do desenvolvimento tecnológico, o maior responsável pelas perdas de produtividade agrícola ainda é o clima. Dentro deste contexto, avaliar a influência da precipitação e quais as implicações na produção de soja sobre o Estado, pode torna-se uma ferramenta importante para estimar a produção agrícola do PR. O presente trabalho teve como objetivo principal associar precipitação pluvial com produtividade de soja para sete cidades produtoras do Estado (Campo Mourão, Castro, Curitiba, Irati, Ivaí, Londrina e Maringá) no período de 1990 a 2012 e analisar a influência de El Niño – oscilação Sul (ENOS) na precipitação e produtividade para o período. Foram analisados dados mensais de precipitação de estações convencionais, Boletins Agroclimáticos, dados de Reanálises 2 com resolução de 0,5ºX0,5º e dados de produtividade de soja ($kg.ha^{-1}$). Campo Mourão, Castro, Irati, Ivaí, Londrina e Maringá apresentaram precipitação média nos meses de safra mais elevada em ocorrências de El Niño. Em todas as cidades os anos neutros tiveram precipitação média observada abaixo dos anos de ocorrência de ENOS. Independente do fenômeno de ENOS e da cidade a precipitação média foi acima da exigência hídrica da cultura de soja. A partir do ano 2000, 83% da variação interanual da produtividade acompanhou a variação interanual da precipitação. A precipitação média do conjunto das cidades para o período foram mais elevadas nos anos de maiores produtividades e menos elevadas em anos de menores produtividades. Os fenômenos ENOS mostraram-se presentes em anos de maiores produtividades assim como em anos de menores produtividades.

Palavras-chave: ENOS. Modoki.

**Abstract**

ARAÚJO, Renã Moreira. **Association between soybean yield and rainfall in the State of Paraná**. 2014. 49f. Final Examination (Graduation) – Faculty of Meteorology. Federal University of Pelotas, Pelotas.

The State of Paraná (PR) presents great diversity of topography, soil and climate, allowing the cultivation of various plant species. Despite technological development, largely responsible for the loss of agricultural productivity is still the climate. Within this context, the influence of precipitation and the implications of soy production on State, may become an important tool for estimating the agricultural production of PR. The present work aims to associate rainfall with soybean yield for seven producing cities in the state (Campo Mourão, Castro, Curitiba, Irati, Ivaí, Londrina and Maringa) in the period 1990-2012 and analyze the influence of ENSO on rainfall and productivity for the period. Monthly rainfall data of conventional stations, Bulletins Agroclimatic, data of Reanalysis 2 with resolution of 0,5°x0,5°and data of soybean yield ($kg.ha^{-1}$). Campo Mourão, Castro, Irati, Ivaí, Londrina and Maringa showed average rainfall in the months of highest harvest in occurrences of El Niño. In all the years neutral cities had below average rainfall for the years of occurrence of ENSO. Regardless of the ENSO phenomenon and the city average rainfall was above the water requirement of soybean. As of 2000, 83 % of the interanual variation in productivity accompanied the interanual variation of precipitation. The average rainfalls of all the cities for the period were higher in years of higher yields and less high in years of lower yields. The ENSO phenomena proved to be present in years of higher yields as well as in years of lower yields.

Keywords: ENSO.Modoki

## Lista de Figuras

Figura 1- Mapa demonstrativo das divisas, fronteiras e algumas cidades do Estado do Paraná. ..... 14
Fonte: GOOGLE EARTH
Figura 2 – Relevo do Estado do Paraná. ..... 15
Fonte: BENETI et al. (2002)
Figura 3– Classificação climática do Estado do Paraná segundo o método de Köppen. ..... 16
Fonte: IAPAR (2014)
Figura 4 – Mapas de a) Temperatura Média Anual e b) Precipitação média anual do Estado do Paraná. ..... 16
Fonte: IAPAR (2014)
Figura 5 – Estádios fenológicos da cultura de soja. ..... 19
Fonte: Biovvigor Fertilizantes, 2014
Figura 6 – Distribuição geográfica das estações convencionais sobre o Estado do Paraná. ..... 25
Fonte: GOOGLE EARTH
Figura 7 - Precipitação média mensal de 1990 a 2009 dos meses de (a) janeiro, (b) fevereiro, (c) março, (d) abril, (e) maio, (f) junho, (g) julho, (h) agosto, (i) setembro, (j) outubro, (k) novembro e (l) dezembro. ..... 29
Figura 8 – Precipitação acumulada mensal (mm) referentes aos meses de cultivo de soja para as cidades de Campo Mourão, Castro, Curitiba, Irati, Ivaí, Londrina e Maringá. ..... 30
Figura 9 - Histograma de precipitação total acumulada do período do cultivo da soja, no período de 1990 a 2012 para as cidades Campo Mourão, Castro, Curitiba, Irati, Ivaí, Londrina e Maringá. ..... 30

Figura 10 – Precipitação média em anos de eventos ENOS para as cidades Campo Mourão, Castro, Curitiba, Irati, Ivaí, Londrina e Maringá. .....31
Figura 11 – Produtividade média de soja ($kg.ha^{-1}$) no período de 1990 a 2012 para as cidades de (a) Campo Mourão, (b) Castro, (c) Curitiba, (d) Irati, (e) Ivaí, (f) Londrina e (g) Maringá. ($R^2$: coeficiente de determinação; * significativo a $p \leq 0,05$). .....34
Figura 12 - Histograma de produtividade de soja no período de 1990 a 2012 para as cidades de Campo Mourão, Castro, Curitiba, Irati, Ivaí, Londrina e Maringá. .....35
Figura 13 – Produtividade média e precipitação média dos meses da cultura de soja do Estado para as cidades de Campo Mourão, Castro, Curitiba, Irati, Ivaí, Londrina e Maringá, entre 1990 e 2012.....37
Figura 14 – Precipitação média dos meses de cultivo da cultura da soja das sete cidades estudadas nos anos de maiores produtividades no período de 1990 a 2012. .....39
Figura 15 - Precipitação média das sete cidades em estudos nos anos de menores produtividades, precipitação média do conjunto de anos de menores produtividade e precipitação média total do período de 1990 a 2012. .....40

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Ranking das principais culturas do Estado do Paraná nos últimos 5 anos, com a colocação da cultura em relação aos outros estados brasileiros. ..... 18
Fonte: Adaptada da SEAB (Secretária da Agricultura e Abastecimento) e DERAL (Departamento de Economia Rural) (SEAB, 2013).

Tabela 2 – Lista das estações meteorológicas convencionais de superfície pertencentes ao INMET, utilizadas neste estudo. ..... 25
Fonte: INMET, 2014.

Tabela 3 – Precipitação média relacionada aos fenômenos ENOS de 1990 a 2012 para as cidades Campo Mourão, Castro, Curitiba, Irati, Ivaí, Londrina e Maringá. ..... 32

Tabela 4 - Produtividade média de soja relacionada aos fenômenos ENOS de 1990 a 2012 para as cidades de Campo Mourão, Castro, Curitiba, Irati, Ivaí, Londrina e Maringá. ..... 36

Tabela 5 – Anos em ordem decrescente de produtividade, respectivo fenômeno e ano. ..... 38

## Lista de abreviaturas e siglas

| | |
|---|---|
| AJM | Agência Japonesa de Meteorologia |
| BDMEP | Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa |
| CPTEC | Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos |
| CONAB | Companhia Nacional de Abastecimento |
| Cfa | Clima temperado úmido com verão quente |
| Cfb | Clima temperado úmido com o verão temperado |
| DERAL | Departamento de Economia Rural |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias |
| ENOS | El Niño Oscilação Sul |
| GPCC | *Global Precipitation Climatology Centre* |
| IAPAR | Instituto Agronômico do Paraná |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| IPARDES | Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social |
| NCAR | *National Center for Atmosphere Research* |
| NCEP | *National Center for Environmental Prediction* |
| SEAB | Secretária da Agricultura e Abastecimento |
| TSM | Temperatura da Superfície do Mar |

**Sumário**

1.Introdução .....12

2.Revisão de Literatura .....14

2.1 Características físicas e climáticas do Estado do Paraná .....14

2.2 O papel da precipitação na agricultura.....17

2.3 Agricultura no Paraná .....18

2.4 A Cultura de Soja .....19

2.5 El Niño- Oscilação Sul e a Agricultura .....21

3.Metodologia.....24

3.1 Dados.....24

3.2 Métodos .....26

4.Resultados e Discussões .....28

4.1 Precipitação no Estado do Paraná.....28

4.2 Precipitação durante o ciclo da cultura da Soja .....29

4.3 Produtividade entre 1990 e 2012 .....33

4.4 Relação entre Produtividade e Precipitação .....36

5.Conclusões.....43

Referências .....45

## Introdução

O aumento da produtividade e a expansão das fronteiras agrícolas no Brasil, assim como em diversas partes do mundo, é proporcional ao desenvolvimento tecnológico da agricultura (FREITAS, 2011). Apesar disso, o clima ainda é um fator decisivo tanto na escolha de novas áreas, como também, nas variações de produtividades de regiões agrícolas já estabelecidas. Um exemplo seria a disponibilidade hídrica, que além de ser o principal fator limitante à obtenção de rendimentos mais próximos ao potencial da soja, constitui na maior causa de variabilidade dos rendimentos de grãos observados de um ano para outro nas diversas regiões produtoras brasileiras (FARIAS et al., 2005). Sendo assim, estudos que avaliam as relações entre o clima e a produtividade e, estudos de zoneamento climático, vêm sendo uma ferramenta para o desenvolvimento agrícola do país (MANOSSO, 2005; ALMEIDA, 2005; MARIANO et al., 2010; MIERES et al., 2012).

O Paraná (PR), quinta maior economia do País (IPARDES, 2014), tem como principais setores econômicos a agropecuária, a indústria e o setor de serviços. Por apresentar grande diversidade de relevo, solo e clima, possibilitando o cultivo de várias espécies vegetais, o Estado é o maior produtor de grãos do país, onde no ano de 2012, as produções de: trigo, soja, milho, cana-de-açúcar e mandioca, corresponderam a 48,40%, 16,61%, 23,29%, 6,65% e 16,79%, respectivamente, em relação à produção nacional (IPARDES, 2014). A soja é o terceiro maior produto agrícola produzido no PR, sendo o Estado o segundo maior produtor de soja do Brasil, com o total de soja produzido de 15,9 milhões de toneladas na safra 2012/2013, numa área de 4,8 milhões de ha, com produtividade média de 3.348 $kg.ha^{-1}$, ficando atrás somente do estado do Mato Grosso (EMBRAPA, 2014; IPARDES, 2014).

De modo geral, as necessidades da soja quanto à disponibilidade da água é importante, principalmente, em dois períodos de desenvolvimento da soja: na emergência e floração-enchimento de grãos. Durante o primeiro período, tanto o excesso como o déficit de água é prejudicial à obtenção de uma boa uniformidade na população de plantas (EMBRAPA RORAIMA, 2009). No Estado do Rio Grande do Sul, a variação interanual da produtividade desta cultura é explicada em 80% pela precipitação e o fenômeno El Niño beneficia a cultura, favorecendo a recordes de produtividade (BERLATO; FONTANA, 1999).

Dentro deste contexto, avaliar a influência de eventos climáticos sobre a precipitação e, quais as implicações na produção de cultura da soja, torna-se mais uma ferramenta para estimar a produção agrícola do PR.

Assim, este trabalho teve como objetivo principal associar precipitação pluvial com produtividade de soja no PR, para as safras de 1990 a 2012. Para tal, avaliou-se separadamente a produtividade de soja e a precipitação pluvial de sete cidades produtoras do Estado (Campo Mourão, Castro, Curitiba, Irati, Ivaí, Londrina e Maringá) e, a relação entre produtividade, precipitação e eventos ENOS para descrever a importância da precipitação nos meses de safra na produtividade de soja e a influência de fenômenos ENOS (El Niño Oscilação Sul).

## Revisão de Literatura

### 2.1 Características físicas e climáticas do Estado do Paraná

O Estado do Paraná está localizado na região Sul do Brasil, entre as latitudes 22°30’ e 26º43’ S e, longitudes 48º02’ e 54º38’ O (BENETI et al., 2002). Suas divisas são com os Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, ao norte, e com Santa Catarina, ao sul, fazendo fronteira com Paraguai e Argentina, a oeste e, do lado leste, limite com o Oceano Atlântico (IPARDES, 2014) (Fig. 1), totalizando uma área de aproximadamente 199.709 km$^2$ (BENETI et al., 2002).

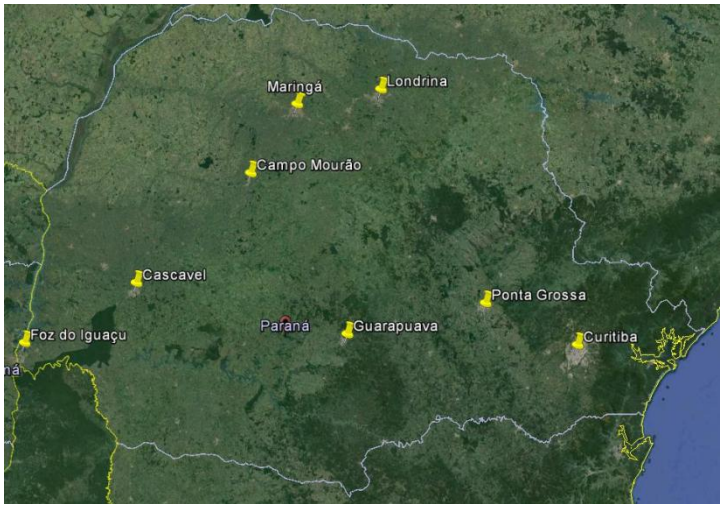


Figura 1- Mapa demonstrativo das divisas, fronteiras e algumas cidades do Estado do Paraná.

Fonte: GOOGLE EARTH

A geografia do PR tem como característica um conjunto de planaltos que chegam a alturas acima de 1.000 m e caem, a oeste, para altitudes de 300 m (Fig. 2) (MAACK, 1981). O Primeiro Planalto (região cinza da Fig. 2) possui altitudes médias na faixa de 850 a 900 m, onde se encontram as montanhas mais altas do Estado. O

Segundo Planalto (região amarela da Fig. 2) possui uma inclinação suave na direção oeste e muda de altitudes de 1.300 m à leste para 500 m no lado oeste. O Terceiro Planalto (região vermelha da Fig. 2) é o mais baixo e o maior em área, pois, abrange mais da metade do território paranaense.

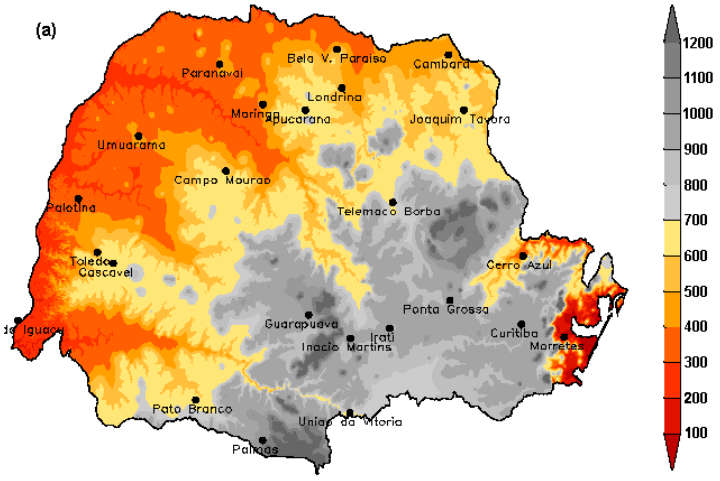


Figura 2 – Relevo do Estado do Paraná.

Fonte: BENETI et al. (2002)

Segundo a classificação de Köppen são definidos dois tipos climáticos para o Estado: o Cfa (Clima temperado úmido com verão quente) que indica clima subtropical, com temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C e no mês mais quente acima de 22°C, geada pouco frequente, verões quentes e concentração de chuva nos meses mais quentes, sem estação seca definida, e, o Cfb (Clima temperado úmido com o verão temperado), que indica clima temperado com temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C, no mês mais quente a temperatura média não ultrapassa os 22°C e os verões são frescos e, também, sem estação seca definida (IAPAR, 2014) (Fig. 3).

Figura 3– Classificação climática do Estado do Paraná segundo o método de Köppen.

Fonte: IAPAR (2014)

A temperatura média anual do PR varia de uma região a outra. Na região sul a temperatura média anual fica na faixa dos 15 a 18 °C enquanto que na região norte fica na faixa de 20 a 24 °C (Fig. 4a).

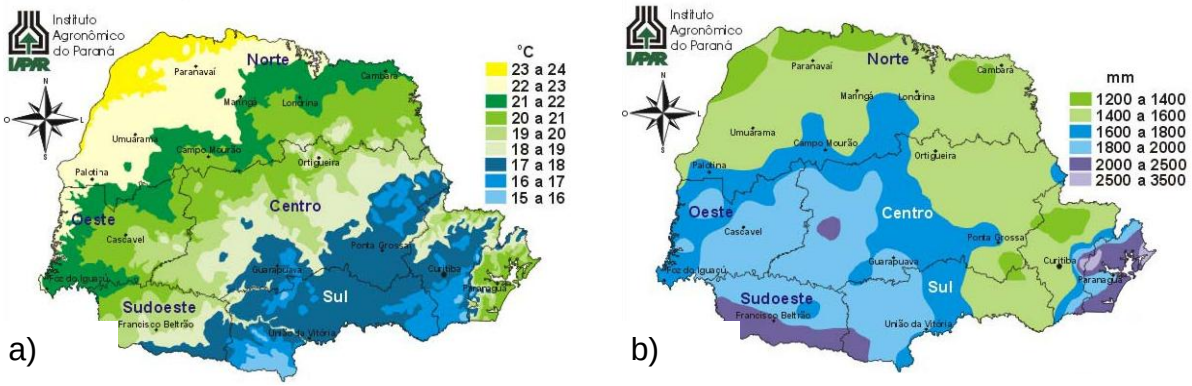


Figura 4 – Mapas de a) Temperatura Média Anual e b) Precipitação média anual do Estado do Paraná.

Fonte: IAPAR (2014)

Os meses mais quentes do PR é o trimestre dezembro, janeiro e fevereiro, onde a faixa da temperatura média sobre o Estado fica entre 21 °C no extremo sul e 30 °C no extremo norte. Os meses de menores temperaturas é o trimestre junho, julho e agosto. A região norte, a menos fria do Estado tem temperaturas neste trimestre na faixa dos 14° aos 19° C, enquanto que a região sul, com as menores temperaturas do Estado, fica na faixa de 11° a 14° C. O centro, oeste e sudoeste

têm temperaturas médias no trimestre mais frio similar a região litorânea, na faixa de 13° a 16° C (IAPAR, 2014). Apesar das temperaturas médias mais baixas no período mais frio estarem em torno dos 11° C, é importante ressaltar que podem acontecer temperaturas inferiores a 0° C no Estado, causando geadas (FERREIRA, 2006).

A precipitação média anual varia de 1200 a 3500 mm, dependendo da região do Estado (Fig. 4b). O trimestre mais chuvoso é o dos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, enquanto o menos chuvosos são os de junho, julho e agosto (IAPAR, 2014). Durante o período de 1970 a 1998, 33% da precipitação anual do Estado concentrou-se no trimestre mais chuvoso e 18% no trimestre mais seco (FERREIRA, 2006). Os fenômenos meteorológicos que atingem o Estado em geral são passagens de sistemas frontais, linhas de instabilidade, sistemas pré-frontais e convecção isolada (RAMOS et al., 2006).

## 2.2 O papel da precipitação na agricultura

As condições climáticas influenciam diretamente a agricultura, pois elementos meteorológicos como vento, precipitação pluviométrica, temperatura do ar e radiação solar influenciam o crescimento das plantas, gerando efeitos positivos ou negativos nas regiões produtoras de alimentos (LARCHER, 2005).

Dentre os elementos climáticos, o comportamento da precipitação é uma das principais características climática que determina a duração da estação de crescimento das plantas (FERREIRA, 2006). A água atua nos processos fisiológicos, bioquímicos e regulação térmica da planta, constituindo 90% da mesma. Dessa forma, o desenvolvimento das plantas depende da demanda de água da planta, que, por sua vez, é imposta pelas condições ambientais (LARCHER, 2005). Além dos excessos de precipitação, dias consecutivos sem chuvas no meio de períodos chuvosos de uma determinada região, como os veranicos, podem causar quebra na produtividade de culturas, como milho e soja, variando de acordo a demanda hídrica exigida pela cultura (COUTO et al., 1986).

Desta maneira, o período de plantio de uma cultura está condicionado ao regime de precipitação. Assim, uma vez determinado o comportamento da precipitação, abre-se a possibilidade de planejamentos agrícolas como preparo do solo e irrigação (CAMARGO et al., 1974; GOODWIN; SANS, 1976; ARRUDA; PINTO, 1980; MOTA, 1983; CAMARGO et al.,1985).

## 2.3 Agricultura no Paraná

Na Região Sul do Brasil, a agricultura é produzida em larga escala com uso de técnicas modernas, gerando boa produtividade das culturas de soja, trigo, arroz e milho. Entre os anos de 1977 a 2013, 38,01% da produção de milho e 51,2% da produção de soja foi produzido na Região Sul do país (CONAB, 2014).

O Paraná, um dos três estados da Região Sul, tem a quinta maior economia do País. Os principais setores econômicos do Estado são a agropecuária, a indústria e o setor de serviços (IPARDES, 2014). Segundo a EMBRAPA, o total de soja produzido pelo Estado na safra 2012/2013 foi de 15,9 milhões de toneladas, numa área plantada de 4,8 milhões de ha, rendendo 3.348 $kg.ha^{-1}$, colocando o Estado como o segundo maior produtor de soja do Brasil, ficando atrás apenas do Mato Grosso (EMBRAPA, 2014).

Nos últimos cinco anos, o Estado do Paraná foi o maior produtor de feijão, centeio e milho. O Estado também se manteve praticamente em primeiro colocado na produção de trigo nos últimos cinco anos, com exceção de 2011, onde ficou em segundo. Manteve a segunda colocação em relação aos outros estados do país nas culturas de soja, aveia e centeio. A cultura de mandioca ficou em segunda colocada nos últimos quatro anos. A batata-inglesa e o fumo também possuem importantes contribuições em relação à produção nacional (tab. 1).

Tabela 1 – Ranking das principais culturas do Estado do Paraná nos últimos 5 anos, com a colocação da cultura em relação aos outros estados brasileiros.

| | Colocação Nacional | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Cultura** | **2008** | **2009** | **2010** | **2011** | **2012** |
| Aveia | 2ª | 2ª | 2ª | 2ª | 2ª |
| Batata-Inglesa | 3ª | 3ª | 2ª | 2ª | 3ª |
| Centeio | 2ª | 2ª | 2ª | 2ª | 2ª |
| Cevada | 1ª | 1ª | 1ª | 1ª | 1ª |
| Feijão | 1ª | 1ª | 1ª | 1ª | 1ª |
| Fumo | 3ª | 3ª | 3ª | 3ª | 3ª |
| Mandioca | 3ª | 2ª | 2ª | 2ª | 2ª |
| Milho | 1ª | 1ª | 1ª | 1ª | 1ª |
| Trigo | 1ª | 1ª | 1ª | 2ª | 1ª |
| Soja | 2ª | 2ª | 2ª | 2ª | 2ª |

FONTE: Adaptada da SEAB (Secretária da Agricultura e Abastecimento) e DERAL (Departamento de Economia Rural) (SEAB, 2013).

## 2.4 A Cultura de Soja

A soja (*Glycine Max L., Merril*) é uma cultura originalmente de clima temperado, no entanto, ela adapta-se bem em outras faixas climáticas, permitindo que seja cultivada em áreas de clima tropical, subtropical e temperado (CRIAR E PLANTAR, 2013; FERREIRA, 2006; CAMARGO et al., 1974). Assim, seu cultivo é feito desde regiões equatoriais quentes, que é o caso do Brasil, até regiões de clima temperado-frio, que é o caso dos Estados Unidos, sendo este último o maior produtor de soja do mundo, com 82,6 milhões de toneladas em 2013, enquanto que o Brasil ocupa a segunda colocação, com 81,5 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2014).

Para um bom desenvolvimento da cultura é importante que as características climáticas da região sejam favoráveis a mesma. Para soja, temperatura, precipitação e fotoperíodo são as principais exigências (EMBRAPA RORAIMA, 2009).

A temperatura é importante em todas as fases da cultura de soja, desde a germinação até frutificação, bem como respiração, absorção de água e nutrientes e também fotossíntese (Fig. 5). Temperaturas ideais para a cultura em geral são entre 20ºC e 30ºC. Temperaturas acima de 40 ºC causam efeito adverso na taxa de crescimento, acarretando problemas na floração e prejudicando a retenção de vagens, enquanto que temperaturas iguais ou abaixo de 10 ºC, o crescimento vegetativo da soja é pequeno ou nulo. Caso ocorra déficits hídricos esses problemas são intensificados (EMBRAPA RORAIMA, 2009).

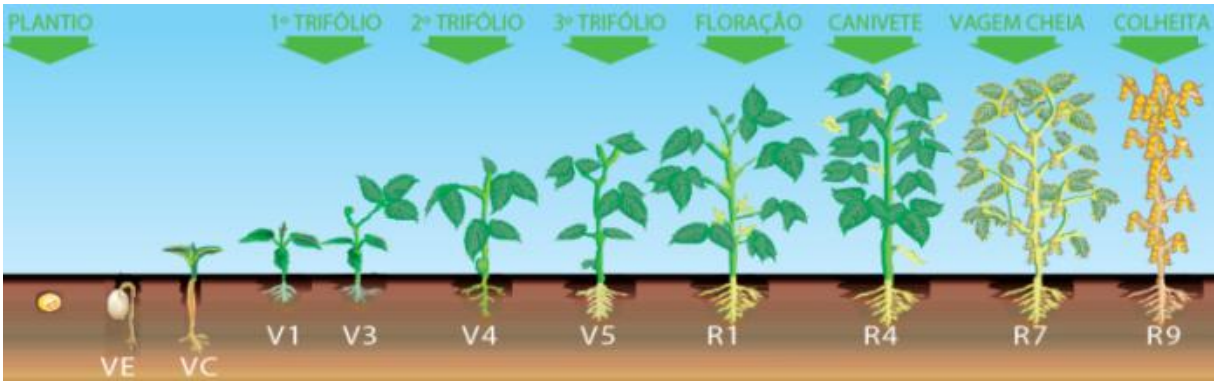


Figura 5 – Estádios fenológicos da cultura de soja.

Fonte: Biovvigor Fertilizantes, 2014

A floração da cultura de soja é induzida quando ocorrem temperaturas acima de 13 ºC. Temperaturas mais elevadas causam floração precoce que por sua vez provoca diminuição na altura da planta. Em conjunto com déficit hídrico e/ou insuficiência de radiação durante o crescimento, os problemas na floração e crescimento da planta são agravados. As respostas da cultura ao fotoperíodo é o principal responsável por diferentes épocas de floração entre cultivares plantados simultaneamente (EMBRAPA RORAIMA, 2009).

Altas temperaturas associadas a períodos de alta umidade no período de maturação da planta colaboram no sentido de perda da qualidade das sementes. Já quando associadas à baixa umidade, ocorrem danos mecânicos nas sementes no momento da colheita. Na época de colheita, temperaturas baixas com período de alta umidade podem provocar haste verde, retenção foliar e atraso na data e colheita (EMBRAPA RORAIMA, 2009).

Em relação ao tipo de solo, esta cultura não apresenta grandes exigências e pode ser cultivada em todos os tipos de solo, uma vez que o mesmo não seja muito ácido, com drenagem defasada e que também apresente uma fertilidade média (CRIAR E PLANTAR, 2013; EMBRAPA RORAIMA, 2009).

Quanto ao regime de precipitação, médias anuais de 700 a 1200 mm, se bem distribuídas, são o suficiente para suprir as necessidades hídricas da planta, sendo que durante o seu ciclo de vida, a necessidade hídrica para a melhor produtividade varia de 450 mm a 800 mm, dependendo das demais condições climáticas, duração do cultivar e tipo de manejo (CRIAR E PLANTAR, 2013). Os períodos de maior exigência hídrica da planta são durante a germinação-emergência e na floração enchimento dos grãos (Fig. 5). Para obter uma boa germinação, a semente da soja precisa absorver no mínimo 50% de seu peso. Ao longo de seu desenvolvimento, a necessidade hídrica aumenta, até a fase da floração e enchimento de grãos. Durante está fase, déficits hídricos causam alterações fisiológicas, como por exemplo, o enrolamento das folhas e o fechamento dos estômatos e, dessa forma, acarreta o caimento prematuro das folhas, flores, abortos de vagens e consequentemente, diminuição no rendimento de grãos (EMBRAPA RORAIMA, 2009).

Para a região Sul do Brasil o período de plantio no qual a produtividade tende a ser boa acontece de outubro a dezembro, preferencialmente o mês de novembro. Sendo que a época de semeadura pode ser alterada quando a fertilidade

no solo é alta e com regime de precipitação considerada adequada (FERREIRA, 2006). Como a soja é sensível a temperatura e insolação, uma vez não satisfeitas suas exigências nesse sentido, a planta poderá sofrer alterações fisiológicas e morfológicas. Desta forma, a época de semeadura define a exposição da soja a esses elementos climáticos limitantes. Dessa maneira, o rendimento da soja é influenciado pela época de semeadura da planta (EMBRAPA RORAIMA, 2009).

De maneira geral, no Estado do Paraná, a época de semeadura da cultura de soja tem início em outubro e vai até fim de dezembro, dependendo da região e tipo de solo (IAPAR, 2013). O ciclo da cultura, quando precoce, é de 120 dias e, quando tardio, é de 130 dias (FARIAS et al., 2001). Assim, de acordo com as recomendações para a cultura da soja, seu ciclo de desenvolvimento no PR correspondem aos meses de outubro (semeadura) à março (colheita) (FERREIRA, 2006; EMBRAPA RORAIMA, 2009; IAPAR, 2014).

## 2.5 El Niño- Oscilação Sul e a Agricultura

O fenômeno atmosférico-oceânico que se caracteriza pelo aquecimento ou resfriamento anormal das águas da superfície do Oceano Pacífico Equatorial é chamado de El Niño Oscilação Sul (ENOS) (ROPELEWSKI; HALPERT, 1987; 1989; CPTEC-INPE, 2014).

O evento ENOS apresenta duas fases, o El Niño é caracterizado pelo aquecimento das águas oceânicas do Pacífico leste, e o La Niña dado pelo resfriamento anômalo das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial. A ocorrência desses eventos altera a circulação de local a global da atmosfera, causando variações nos padrões de vento, precipitação e temperatura em diferentes regiões do globo, o que consequentemente, pode atingir a produtividade agrícola em diversas regiões (GRIMM et al., 2000, FERREIRA, 2006).

No Brasil, as implicações causadas devido o ENOS acontece principalmente nos padrões de chuva e, por conseguinte na produção agrícola (GRIMM et al., 2000). Estudos dizem que variações na produtividade anual no Sul do Brasil acontecem devido às oscilações do regime de chuvas que, por sua vez, são fortemente influenciados por eventos climáticos, como El Niño e La Niña (BERLATO; FONTANA, 1999). No Paraná, o El Niño está, em geral, associado com o excesso de precipitação durante a primavera do primeiro ano e, posteriormente, ao fim do

outono e início do inverno do segundo ano. Em eventos La Niña, a precipitação apresenta-se abaixo da normal na primavera e começo do verão (FERREIRA, 2006).

Embora o padrão climático de alterações devido a ocorrência dos fenômenos ENOS sejam bem conhecidas, nem sempre esses fenômenos geram o mesmo tipo de impacto nas diferentes regiões do globo. Estudos têm mostrado características diferentes durante episódios do El Niño, devido a uma variação nomeada de El Niño Modoki (sendo que *Modoki* é derivado do dicionário japonês que significa pseudo, ou melhor, “similar, mas diferente”). O El Niño Modoki é caracterizado por anomalias positivas da TSM na região central do Oceano Pacífico, diferente do El Niño tradicional onde as anomalias positivas ocorrem próximo a costa do Peru (WENG et al. 2007; WANG; HENDON, 2007, YEH et al., 2009). A fase oposta do El Niño, isto é, o resfriamento anômalo da TSM de algumas regiões do Oceano Pacífico, conhecido como La Niña, possui também variações que são chamadas de La Niña Modoki (ASHOK; YAMAGATA, 2009). O fenômeno ENOS do tipo Modoki vem ocorrendo com mais frequências nos últimos anos e influenciando a precipitação e a temperatura em diversas partes do globo (ASHOV et al., 2007).

No Brasil, observa-se que ENOS Modoki possuem efeitos diferentes do que é esperado para ENOS tradicional. A ocorrência de El Niño Modoki provoca secas nas regiões sudeste e sul e aumento de precipitação no nordeste, contrário do que observa-se quando à ocorrência de El Niño convencional (ASHOK et al., 2007; WANG & HENDON, 2007; WENG et al., 2007; SILVA, 2010). Quando à ocorrência de La Niña Modoki tem-se precipitação na região sul e seca no nordeste.

Devido à influência direta do clima em culturas agrícolas, o evento ENOS pode beneficiar ou prejudicar a agricultura dependendo da época do ano em que o evento atinge seu extremo. São vários os estudos pelo globo que identificaram possíveis conexões entre o fenômeno ENOS e a variação da produtividade de alimentos. Como exemplos ao redor do globo temos que a grande parte da variabilidade da produtividade da cana-de-açúcar e trigo está relacionada ao IOS na Austrália (RIMMINGTON; NICHOLLS, 1993); a ocorrência de anomalias positivas de TSM no Oceano Pacífico Equatorial explica as tendências da variação anual de produtividade de milho acima da média em Illinois-EUA (HANDLER, 1984); mais de 60 % da variação interanual da produtividade do milho do Zimbabwe, localizado ao Sul da África, pode ser explicada por uma componente da TSM na região do Niño 3 (CANE, et al., 1994); a produtividade de trigo de inverno e de sorgo sofre impactos

devido a eventos extremos da Oscilação Sul no Texas-EUA (MJELDE; KEPLINGER, 1998); a partir de anomalias trimestrais da TSM no Pacífico Equatorial oriental, são determinados impactos econômicos na agricultura em quatro estados americanos (Alabama, Flórida, Geórgia e Carolina do Sul) sobre seis culturas analisadas (Amendoim, tomate, algodão, tabaco, milho e soja) (HANSEN et al., 1998).

No Brasil, nas cidades de Cruz Alta e Passo Fundo no Rio Grande do Sul foram encontradas correlações positivas entre a produtividade de grãos e o El Niño, a partir da análise da influência de ENOS sobre a precipitação e a produtividade de milho (FONTANA; BERLATO, 1996). Houve correlação positiva entre o IOS e a colheita de milho, em sete estados da Região Nordeste brasileira, indicando que este índice pode ser favorável à previsão da produtividade deste grão na região (RAO, et al., 1997). Para a cultura de trigo na Região Sul, anos de La Niña geralmente causam impactos positivos enquanto que anos de El Niño causam impactos negativos (CUNHA et al., 1999). Verificou-se que a produtividade de arroz irrigado não teve modificações significativas em anos de El Niño, porém manteve-se acima da média em anos de La Niña na região de Pelotas (RS) (MOTA, 2000).

Ao se tratar da cultura de soja, foi constatado que a variação interanual da produtividade desta cultura é explicada em 80% pela precipitação e que o fenômeno El Niño beneficia a cultura, favorecendo a recordes de produtividade e produção no Estado do Rio Grande do Sul. Foi identificado relação entre a ocorrência de ENOS com os preços futuros da soja (KEPPENNE, 1995; BERLATO; FONTANA, 1999).

## Metodologia

### 3.1 Dados

Para analisar a produtividade de soja no Estado do Paraná, no período compreendido entre os anos agrícolas 1990 a 2012, foram utilizados dados de rendimento médio da produção, em quilogramas por hectare ($kg.ha^{-1}$), obtidos a partir do banco de dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (IBGE, 2013).

O comportamento da precipitação para o Estado do PR foi avaliado no período de 1990 a 2009 com a utilização de precipitação pluvial total mensal ($mm.mês^{-1}$), do conjunto de Reanálise 2, com 0,5ºX0,5º de resolução, pertencente ao *Global Precipitation Climatology Centre* (GPCC), do *National Center for Environmental Prediction – National Center for Atmosphere Research* **(**NCEP/NCAR, 2014). Foi escolhido este período devido a possibilidade à disponibilidade dos dados.

O comportamento da precipitação referente aos meses do cultivo da soja no Paraná (outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março) foi avaliado para o período de 1990 a 2012, utilizando dados de precipitação total mensal ($mm.mês^{-1}$), de sete estações meteorológicas convencionais do Estado do Paraná (Campo Mourão, Castro, Curitiba, Irati, Ivaí, Londrina e Maringá (Fig. 6 e tab. 2), pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) disponíveis no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP/INMET, 2013). Foram escolhidas estas cidades, por apresentarem um banco de dados mais antigo e com menos falhas que as demais.

Foram utilizados dois bancos de dados para preenchimento das falhas, o Boletim Agroclimatológico Mensal, emitido pelo INMET e, dados de precipitação total mensal (mm.mês$^{-1}$) de Reanálises 2 (NCEP/NCAR).

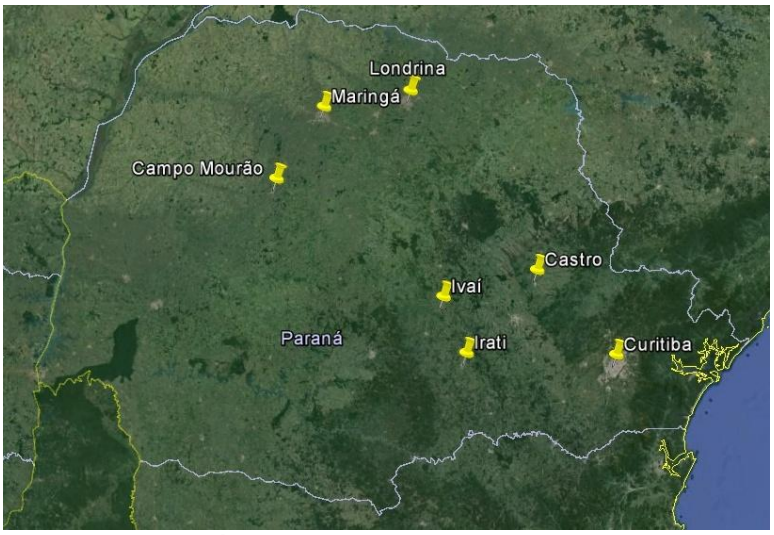


Figura 6 – Distribuição geográfica das estações convencionais sobre o Estado do Paraná.

Fonte: GOOGLE EARTH

Tabela 2 – Lista das estações meteorológicas convencionais de superfície pertencentes ao INMET, utilizadas neste estudo.

| Cidade | Altitude (m) | Lat(°) | Lon (°) | Início de funcionamento |
|---|---|---|---|---|
| Campo Mourão | 616,4 | -24,05 | -52,37 | 02/04/1958 |
| Castro | 1008,8 | -24,78 | -50,00 | 01/11/1922 |
| Curitiba | 923,5 | -25,43 | -49,27 | 01/01/1991 |
| Irati | 836,9 | -25,47 | -50,63 | 24/09/1966 |
| Ivaí | 808,0 | -25,00 | -50,87 | 01/01/1912 |
| Londrina | 566,0 | -23,32 | -51,13 | 11/12/1953 |
| Maringá | 542,0 | -23,40 | -51,92 | 01/12/1953 |

Fonte: INMET, 2013.

Os fenômenos ENOS foram identificados utilizando a metodologia da Agência Japonesa de Meteorologia (AJM) que consiste na seleção de períodos, cuja média móvel de cinco meses da anomalia da temperatura da superfície do mar (TSM) da região equatorial do Oceano Pacífico (aproximadamente a região do chamado Niño 3) seja ≥0,5°C (El Niño) ou ≤-0,5°C (La Niña) por, no mínimo, seis meses consecutivos (NOAA, 2013).

## 3.2 Métodos

A metodologia está dividida em três etapas principais: análise da precipitação; análise da produtividade e, associação entre precipitação e produtividade.

### 3.2.1. A análise da precipitação:

Para conhecer o comportamento da precipitação no Estado do PR, foram analisadas médias do total mensal de precipitação (mm.mês$^{-1}$), com base nos dados de Reanálise 2, para o período de 1990 a 2009.

Em sequência, foram analisadas médias de precipitação mensal, apenas nos meses que coincidem com o ciclo da cultura da soja para o PR (outubro a março), para as sete cidades selecionadas, dentro do conjunto de dados das estações de superfície, de 1990 a 2012. Analisou-se também a média total das sete cidades para o mesmo período.

No caso dos dados faltantes, foi feito o preenchimento da falhas. Para isso, foram utilizados os valores apresentados para cada falha dentro dos Boletins Agroclimatológicos Mensais, do período de 1990 a 2012, elaborados pelo INMET e, se esse conjunto não tivesse a informação necessária, os dados foram preenchidos com os dados mensais de precipitação de Reanálise 2, baixados de NCEP/NCAR, com resolução de 0,5°X0,5°.

Com os dados de média de precipitação mensal para todas as cidades e anos, foi calculado o histograma de frequência de precipitação para o período de 1990 a 2012.

Foi analisado o comportamento da precipitação para cada cidade em anos de atuação do fenômeno ENOS. Para isso foram separados os anos de atuação de El Niño, La Niña ou Neutro, e calculada a média para o período de cultivo da soja (outubro a março) para cada uma das cidades. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância e as médias, quando significativas, foram comparadas pelo teste de Duncan a 1% de probabilidade. O processamento dos dados foi realizado com o software R.

### 3.2.2. A análise da produtividade

Para avaliar a produtividade do PR, foi calculado um histograma de frequência das produtividades, considerando todos os períodos e cidades de estudo.

Em seguida, determinou-se o perfil da produtividade por safra para cada uma das cidades em estudo, durante o período de 1990 a 2012, através da regressão linear. Assim, os efeitos dos anos foram analisados por análise de regressão, utilizando-se modelos lineares (com nível de significância $p \leq 0,05$), com o auxílio do software SigmaPlot e Excel.

Para avaliar a influência dos fenômenos ENOS na produtividade de soja nas diferentes cidades, os dados foram analisados quanto à sua homogeneidade e, posteriormente, submetidos à análise da variância ($p \leq 0,05$). A comparação das médias para os fatores locais e fenômenos ENOS foram comparadas pelo teste de Duncan a 1% de probabilidade.

### 3.2.3. Associação entre precipitação e produtividade

Para determinar a relação entre a produtividade e a precipitação, durante o período de 1990 a 2012, primeiramente calculou-se a média da produtividade por safra e a média de precipitação do período de cultivo da soja, para as sete cidades, dentro do período estudado.

Em seguida, os dados de produtividade média (para o conjunto das sete cidades) foram organizados de maneira decrescente. Assim, foram selecionados para estudo detalhado os quatro anos com maiores (2003, 2007, 2010 e 2011) e os quatros anos com menores (1990, 1991, 1992 e 1994) produtividades.

Na sequência, para os anos selecionados, foi calculada a média de precipitação mensal para cada cidade e a média das cidades, para determinar o padrão de precipitação durante os estágios de desenvolvimento da cultura.

## Resultados e Discussões

### 4.1 Precipitação no Estado do Paraná

Durante todo o período de avaliação dos anos de 1990 a 2009 para todos os meses de dezembro (Fig. 7l), janeiro (Fig. 7a), fevereiro (Fig. 7b) e março (Fig. 7c), a precipitação apresentou-se distribuída em todo o Estado do Paraná (PR) sem padrão definido, com médias em torno de 120 e 240 mm, 180 e 340 mm, 120 e 340 e 80 e 280 mm, respectivamente. Observa-se que na média, os meses de janeiro (Fig. 7a) apresentaram os maiores índices de precipitação. Já para os meses de fevereiro (Fig. 7b), a quantidade de precipitação começa diminuir, principalmente na faixa oeste e central do Estado. A diminuição da precipitação segue nos meses de março (Fig. 7c) a agosto (Fig. 7h), onde os meses mais secos foram os de julho (Fig. 7g) com 80 mm e agosto (Fig. 7h) com 60 mm. A partir do mês de setembro (Fig. 7i) a precipitação tende a aumentar novamente, apresentando uma média em torno de 160 mm.

De maneira geral, durante o período de outubro (Fig. 7j) a março (Fig. 7c) que são os meses mais quentes do PR ocorrem as maiores precipitações. Nos meses de março a setembro (Fig. 7c a h) observou-se as maiores taxas de precipitação na região sudoeste do Estado, diminuindo gradualmente em direção ao nordeste. Estes resultados de precipitação média mensal para o período estudado é semelhante ao padrão de precipitação do Estado, onde os meses mais quentes apresentam maiores índices de precipitação, e os meses mais frios menores índices, porém sem uma estação seca definida (IAPAR, 2014).

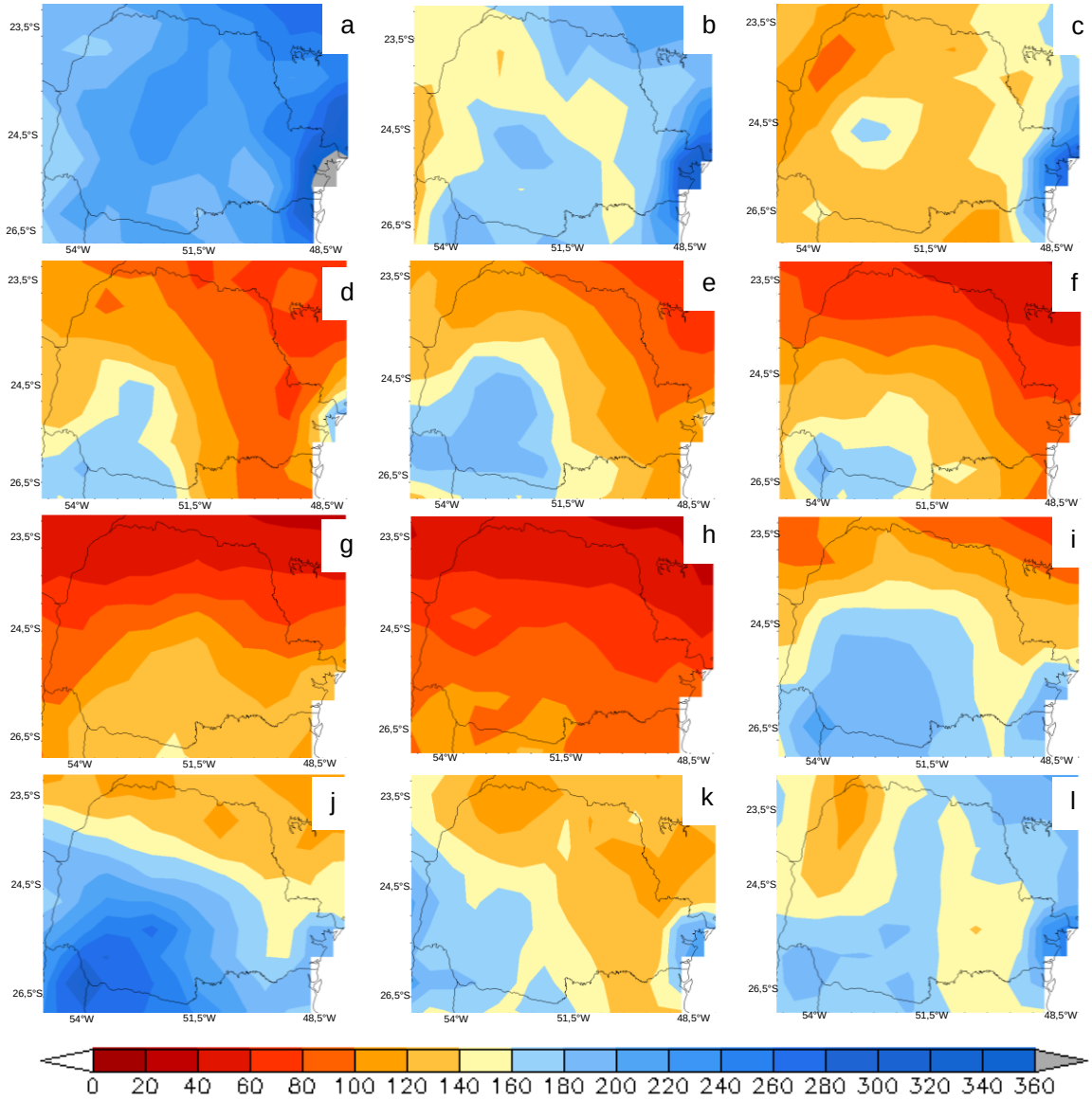


Figura 7 - Precipitação média mensal de 1990 a 2009 dos meses de (a) janeiro, (b) fevereiro, (c) março, (d) abril, (e) maio, (f) junho, (g) julho, (h) agosto, (i) setembro, (j) outubro, (k) novembro e (l) dezembro.

## 4.2 Precipitação durante o ciclo da cultura da Soja

Durante os meses de cultivo de soja, no período compreendido entre 1990 a 2012, a precipitação média das sete cidades em estudo variou entre 800 mm (1991) a 1300 mm (2010) (Fig. 8, linha preta). Os anos de 1991, 1992, 1993, 1994, 2000, 2001, 2002, 2004, 2005, 2006, 2009 e 2012, foram os anos que ocorreram as menores precipitações, abaixo de 800 mm. Já para as cidades de Ivaí em 1997, Irati em 1998, Maringá e Londrina em 2010, apresentaram as maiores precipitações, acima de 1400 mm.

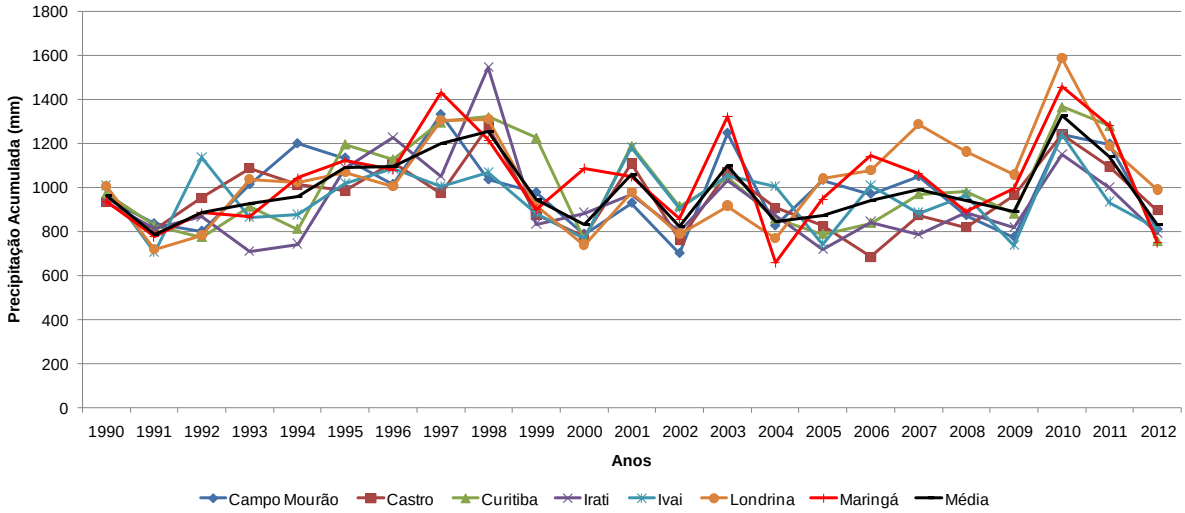


Figura 8 – Precipitação acumulada mensal (mm) referentes aos meses de cultivo de soja para as cidades de Campo Mourão, Castro, Curitiba, Irati, Ivaí, Londrina e Maringá.

Pela análise do histograma de frequência de precipitação total acumulada para o período de cultivo da soja, verificou-se que aproximadamente 80% dos valores de precipitação estavam entre 800 mm e 1300 mm (Fig. 9). As maiores frequências de precipitação compreende-se entre 700 mm e 1100 mm, representando cerca de 76% dos casos.

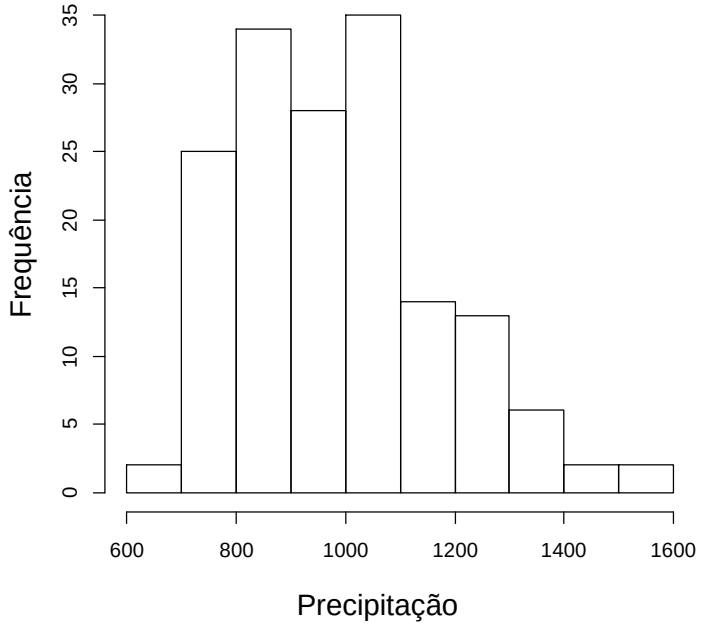


Figura 9 - Histograma de precipitação total acumulada do período do cultivo da soja, no período de 1990 a 2012 para as cidades Campo Mourão, Castro, Curitiba, Irati, Ivaí, Londrina e Maringá.

Observou-se que a precipitação no período estudado é suficiente para suprir as necessidades hídricas da cultura, uma vez que as menores precipitações entre 600 mm e 700 mm, representam apenas 1,24% dos casos, e entre 700 mm e 800 mm, representando 15,53% dos casos. A soja, durante todo eu ciclo de desenvolvimento possui a necessidade hídrica em torno de 450 a 800 mm, dependendo também das condições climáticas, duração do ciclo por cultivar e manejo (EMBRAPA RORAIMA, 2009).

Com relação à precipitação durante eventos ENOS, as cidades de Campo Mourão, Castro, Irati, Ivaí, Londrina e Maringá, apresentaram precipitação média mais elevada nos anos de ocorrência de El Niño nos meses de safra de soja, do que em anos de ocorrência de La Niña, exceto Curitiba em que a precipitação mostrou-se mais elevada em anos de La Niña do que em anos de El Niño (Fig. 10). Em anos neutros, nota-se que a precipitação média está abaixo da precipitação observada em anos de ocorrência de ENOS.

Durante a primavera (outubro a dezembro) no primeiro ano de ocorrência de El Niño a precipitação apresenta-se em excesso enquanto que na ocorrência de La Niña a precipitação apresenta-se abaixo da normal na primavera e começo do verão (FERREIRA, 2006). De acordo com os resultados, observou-se que a precipitação é mais elevada em ocorrências de El Niño do que ocorrência de La Niña, com exceção de Curitiba que mostrou o contrário. Sendo que, as menores precipitações médias acumuladas na primavera e verão foram em anos neutros para todas as cidades.

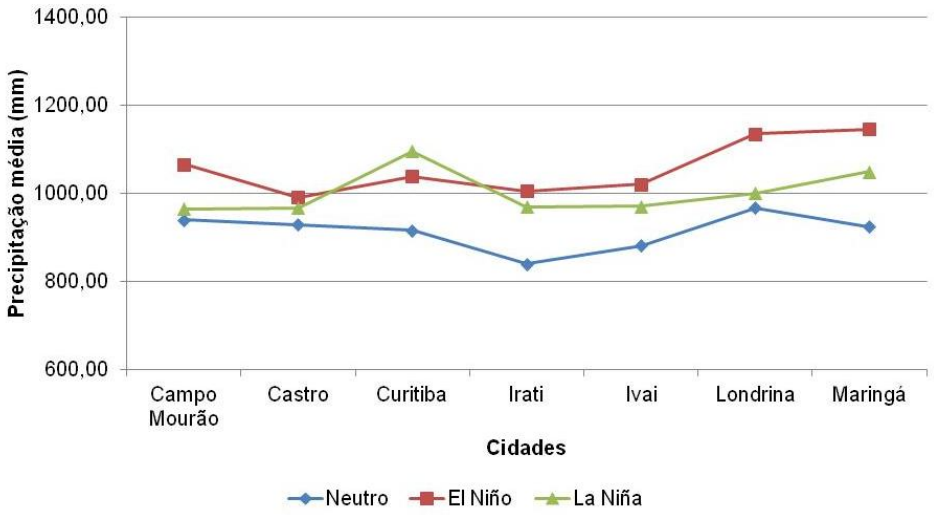


Figura 10 – Precipitação média em anos de eventos ENOS para as cidades Campo Mourão, Castro, Curitiba, Irati, Ivaí, Londrina e Maringá.

Para a variável precipitação observou-se interação significativa entre o fenômeno dentro de cada cidade e, em geral, não significativa na comparação entre cidades dentro de cada fenômeno (tab. 3). No entanto, somente a cidade de Maringá apresentou esta diferença, sendo que para os anos de El Niño, os quais possuem as maiores precipitações, observou-se uma diferença em torno de 9% maior que o volume de precipitação média para os anos dos fenômenos La Niña e, 24% maior que nos anos neutros.

Em média para todo o período de estudo, os fenômenos El Niño, neutro e La Niña apresentaram uma precipitação em torno de 1050 mm, 910 mm e 1000 mm, respectivamente. A menor média de precipitação foi a de Irati, sem ocorrência de ENOS, com cerca 15% de precipitação abaixo da média. A maior precipitação média observada foi em Maringá, com ocorrência de El Niño, onde obtevou-se aproximadamente 16% acima da média. Este fato mostra que independente do fenômeno e da cidade, a precipitação média ficou acima da exigência hídrica da cultura, que é de 450 mm a 800 mm (EMBRAPA RORAIMA, 2014).

Assim, a precipitação das respectivas cidades durante a safra, é suficiente em sua totalidade, porém, a produtividade também depende da distribuição da precipitação ao longo dos estádios de desenvolvimento da cultura e, esta por sua vez depende das condições climáticas, manejo e duração da cultura (precoce ou tardia).

Tabela 3 – Precipitação média relacionada aos fenômenos ENOS de 1990 a 2012 para as cidades Campo Mourão, Castro, Curitiba, Irati, Ivaí, Londrina e Maringá.

| | **Fenômenos** | | |
|---|---|---|---|
| **Cidades** | **El Niño** | **Neutro** | **La Niña** |
| **Campo Mourão** | 1065,1$^{ns}$a | 939,0$^{ns}$a | 964,4$^{ns}$a |
| **Castro** | 989,7 a | 928,3 a | 965,8 a |
| **Curitiba** | 1037,8 a | 914,9 a | 1095,0 a |
| **Irati** | 1004,2 a | 838,7 a | 968,2 a |
| **Ivaí** | 1019,7 a | 879,8 a | 969,9 a |
| **Londrina** | 1133,9 a | 965,9 a | 998,6 a |
| **Maringá** | 1144,3 a | 923,8 b | 1048,1 ab |
| **Média** | | 985,9 | |
| **CV** | | 18,19 | |

* Médias com mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente entre si pelo teste Duncan (p≤0,01). $^{ns}$ - Não significativo.

### 4.3 Produtividade entre 1990 e 2012

A análise da produtividade de soja (kg.ha$^{-1}$) para as safras entre 1990 e 2012, foi realizada através da análise de regressão linear, observando o fenômeno a ser descrito e o ajuste da reta aos pontos observados (coeficiente de determinação), para as cidades de Campo Mourão, Castro, Curitiba, Irati, Ivaí, Londrina e Maringá (Fig. 11), onde observou-se uma tendência positiva na produtividade de soja (kg.ha$^{-1}$) em todas as cidades ao longo do período estudado.

A cidade de Curitiba apresentou o maior coeficiente de inclinação (67,93), indicando que esta cidade possui a maior tendência de aumento na sua produtividade (Fig. 11c). O menor coeficiente de inclinação foi observado em Maringá (28,98), indicando ser a cidade com menor tendência de aumento na produtividade de soja (Fig. 11g).

Na análise do histograma de frequência de produtividade para o período estudado, verifica-se que as maiores frequências de produtividade compreende-se entre 2200 a 3400 kg.ha$^{-1}$, representando cerca de 83% dos casos (Fig. 12). A média de produtividade das cidades e período estudado é de 2674 kg.ha$^{-1}$, valor 3% acima da média do Estado que é de 2593 kg.ha$^{-1}$ (IBGE, 2014).

Pela análise estatística observou-se que a produtividade apresentou interação significativa entre os fatores estudados (Fenômeno ENOS e Cidades) (tab. 4). A cidade de Castro apresentou as maiores produtividades de grãos de soja independente do fenômeno ENOS estudado. A produtividade da cidade de Castro foi em torno de 20% maior para os fenômenos El Niño e 19% para o neutro, na comparação à cidade de Maringá que apresentou as menores médias de produtividade para estes dois fenômenos. Já para o fenômeno La Niña, a cidade de Castro, em valor absoluto foi 15% maior na produção que a cidade de Curitiba que apresentou a menor média de produtividade (tab. 4).

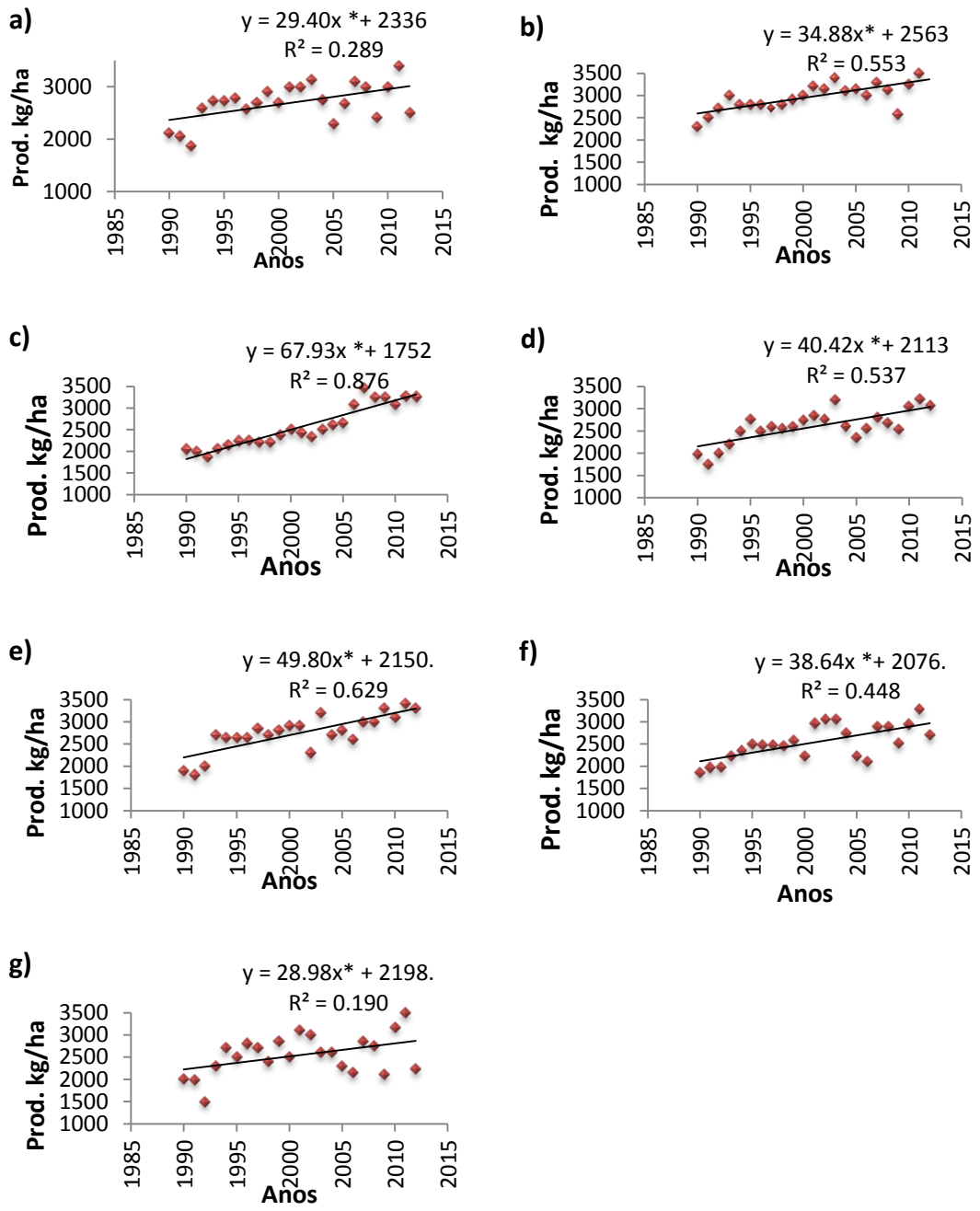


Figura 11 – Produtividade média de soja (kg.ha$^{-1}$) no período de 1990 a 2012 para as cidades de (a) Campo Mourão, (b) Castro, (c) Curitiba, (d) Irati, (e) Ivaí, (f) Londrina e (g) Maringá. ($R^2$: coeficiente de determinação; * significativo a p≤0,05).

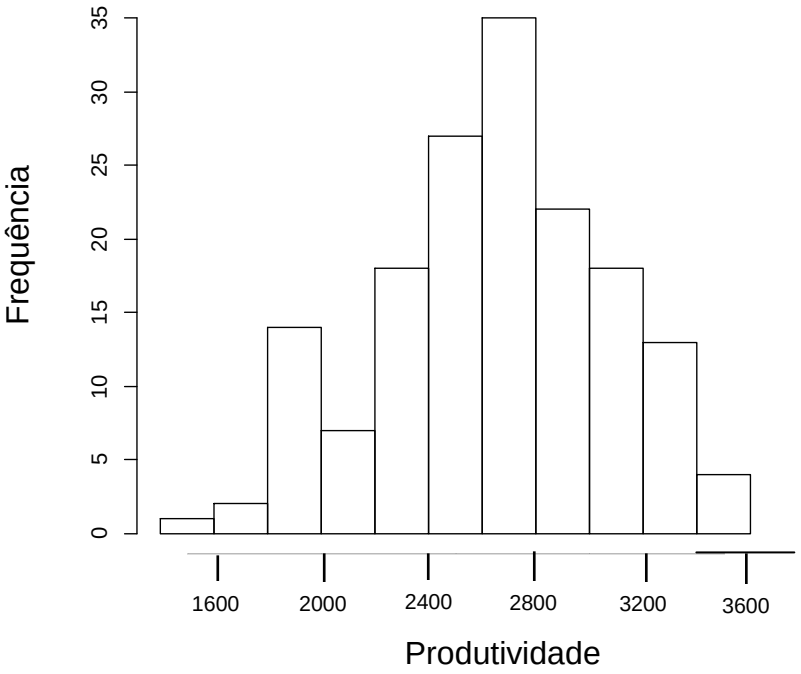


Figura 12 - Histograma de produtividade de soja no período de 1990 a 2012 para as cidades de Campo Mourão, Castro, Curitiba, Irati, Ivaí, Londrina e Maringá.

Especificamente dentro do fenômeno La Niña, na comparação entre as cidades, observou-se que na ocorrência deste fenômeno, a produtividade se mostrou mais uniforme, explicando a ausência de diferença significativa entre todas as cidades estudadas. Nas ocorrências e eventos El Niño, as cidades de Campo Mourão, Castro, Curitiba, Irati e Ivaí apresentaram maiores produtividades médias, enquanto que Londrina e Maringá, menores. Em anos neutros, Campo Mourão, Castro e Ivaí são as cidades com maiores produtividades, ao passo que Curitiba, Irati, Londrina e Maringá possuem as menores produtividades (tab. 4).

Em geral, para todas as cidades estudadas o fator fenômeno não influenciou a produtividade de grãos de soja, com exceção de Maringá e Campo Mourão que apresentaram diferenças significativas para este fator. Para Campo Mourão, a produtividade média em anos de La Niña foi cerca de 17% maior que a produtividade média em anos neutros e 10% maior que a produtividade em anos de El Niño. Para Maringá, a produtividade média em anos de La Niña foi de aproximadamente 21% e 19% maior que anos neutros e anos de El Niño, respectivamente.

Tabela 4 - Produtividade média de soja relacionada aos fenômenos ENOS de 1990 a 2012 para as cidades de Campo Mourão, Castro, Curitiba, Irati, Ivaí, Londrina e Maringá.

| | Fenômenos | | |
|---|---|---|---|
| **Cidades** | **El Niño** | **Neutro** | **La Niña** |
| **Campo Mourão** | 2681 ABab* | 2517 ABb | 2956 Aa |
| **Castro** | 3049 Aa | 2852 Aa | 3088 Aa |
| **Curitiba** | 2636 ABa | 2400 Ba | 2677 Aa |
| **Irati** | 2655 ABa | 2440 Ba | 2760 Aa |
| **Ivaí** | 2756 ABa | 2611 ABa | 2941 Aa |
| **Londrina** | 2515 Ba | 2434 Ba | 2731 Aa |
| **Maringá** | 2433 Bb | 2401 Bb | 2915 Aa |
| **Média** | 2665,5 | | |
| **CV** | 14,95 | | |

* Médias com mesmas letras maiúsculas na coluna e, mesmas letras minúsculas na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste Duncan (p≤0,01).

### 4.4 Relação entre Produtividade e Precipitação

Pela média da produtividade por safra e a média de precipitação de cultivo da soja, das cidades de Campo Mourão, Castro, Curitiba, Irati, Ivaí, Londrina e Maringá, durante o período de 1990 a 2012 (Fig. 13), observou-se que os três primeiros anos apresentaram as menores produtividades. Entre 1993 e 1998, a produtividade média não variou consideravelmente. As maiores produtividades médias ocorreram nos anos de 2003, 2007, 2010 e 2011. E, no período de 2004 a 2006 observa-se uma queda nos valores de produtividade para as regiões estudadas.

Quanto à precipitação, observou-se maiores valores foram observados nos anos de 1998, 2001, 2003 e 2010. A partir do ano de 2000, observou-se que, quando ocorre elevação na precipitação em relação ao ano anterior, também há elevação da produtividade em relação ao ano anterior (2001, 2003, 2006, 2007, e 2010), e o mesmo acontece com queda na precipitação, ocasionando queda na produtividade deste mesmo ano (2002, 2004, 2008, 2009 e 2012). Os únicos anos, a partir de 2000 que fugiram a esse padrão de aumento de precipitação seguido de aumento de produtividade foram 2005 e 2011.

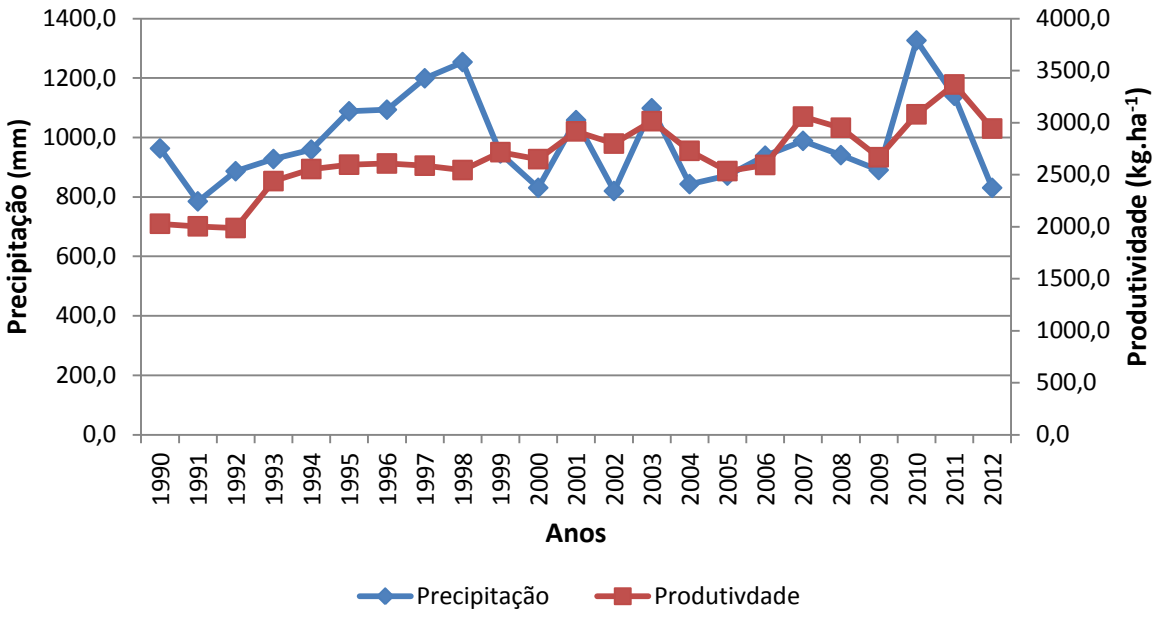


Figura 13 – Produtividade média e precipitação média dos meses da cultura de soja do Estado para as cidades de Campo Mourão, Castro, Curitiba, Irati, Ivaí, Londrina e Maringá, entre 1990 e 2012.

Assim, a partir de 2000, 83% dos anos, a variação interanual da produtividade da soja acompanhou a variação anual da precipitação. Resultado similar ao encontrado por Berlato & Fontana (1999), que constataram que a variação interanual da produtividade é explicada em 80% pela precipitação no Estado do Rio Grande do Sul.

Para avaliar a relação da precipitação com as maiores e menores produtividades médias do conjunto de cidades (que representam neste trabalho o PR), organizou-se em ordem decrescente os dados de produtividade média para o conjunto das sete cidades (tab. 5), onde foram selecionados os quatro anos com maiores produtividades (2003, 2007, 2010 e 2011) e os quatro anos com menores produtividades (1990, 1991, 1992 e 1994) (tab. 5).

Tabela 5 – Ranking dos anos com maiores produtividades, com respectivos valores de precipitação e eventos ENOS relacionado.

| Anos | Produtividade | Precipitação | Fenômeno |
|---|---|---|---|
| 2011 | 3366,3 | 1140,0 | LA |
| 2010 | 3079,3 | 1326,2 | EL |
| 2007 | 3057,4 | 988,5 | EL |
| 2003 | 3013,4 | 1098,3 | EL |
| 2008 | 2950,3 | 940,5 | LA |
| 2012 | 2942,6 | 830,5 | N |
| 2001 | 2915,6 | 1058,2 | LA |
| 2002 | 2798,0 | 819,8 | N |
| 2004 | 2728,6 | 843,0 | N |
| 1999 | 2715,9 | 946,1 | LA |
| 2009 | 2666,7 | 890,3 | N |
| 2000 | 2648,6 | 830,5 | LA |
| 1996 | 2606,7 | 1093,3 | LA |
| 1995 | 2595,1 | 1087,9 | EL |
| 2006 | 2592,6 | 938,6 | EL |
| 1997 | 2585,7 | 1198,9 | N |
| 1994 | 2553,6 | 958,8 | N |
| 1998 | 2543,7 | 1253,6 | EL |
| 2005 | 2534,0 | 871,4 | EL |
| 1993 | 2437,6 | 927,3 | N |
| 1990 | 2027,6 | 963,0 | N |
| 1991 | 2003,0 | 784,9 | N |
| 1992 | 1986,6 | 886,4 | EL |

As maiores produtividades ocorreram nos anos de 2003, 2007, 2010 e 2011, onde a média da precipitação do conjunto das cidades de Campo Mourão, Castro, Curitiba, Irati, Ivaí, Londrina e Maringá (linha preta cheia, Fig. 14), apresentaram superior a média de todo o período de dados (1990 a 2012) (linha tracejada, Fig. 14). Isso indica que, a produtividade dentro do período foi mais elevada nos anos em que a precipitação durante os meses de safra manteve-se praticamente acima da média de precipitação do período todo (Fig. 14). Durante os anos de maior produtividade, em 2011 (ano com a maior produtividade do período estudo) havia a atuação do fenômeno La Niña, enquanto nos outros três anos, 2010, 2007 e 2003, houve a atuação do fenômeno de El Niño (tab. 5).

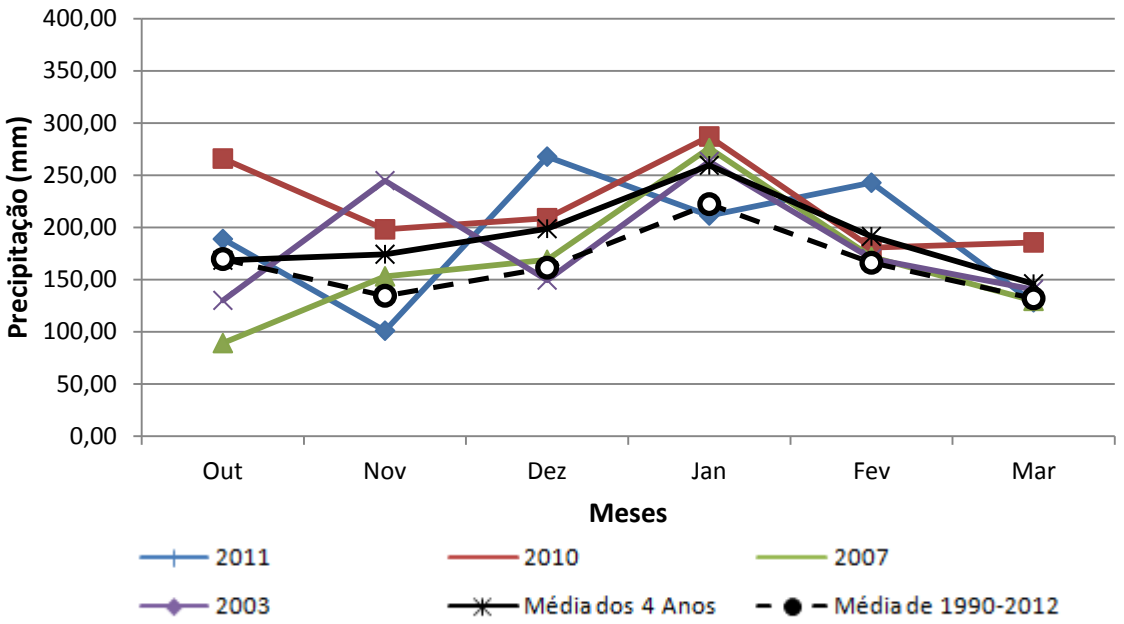


Figura 14 – Precipitação média dos meses de cultivo da cultura da soja das sete cidades estudadas nos anos de maiores produtividades no período de 1990 a 2012.

Pode-se inferir que as maiores produtividades aconteceram em anos em que a precipitação foi acima da precipitação média do período de dados. Embora as precipitações acima da média estejam vinculadas à ocorrência de fenômenos El Niño, observa-se que a maior produtividade ocorreu em um ano de La Niña, e os outros três anos em evento de El Niño. Estes resultados mostram que a ocorrência de precipitação acima da média em ano de evento La Niña está associada ao caso anômalo deste evento conhecido como La Niña Modoki, que é caracterizado pelo resfriamento anômalo da superfície do Oceano Pacifico Central e que acarreta efeitos similares aos que ocorrem devido a influência de El Niño, explicando assim este resultado (SEMENOV et al., 2011). Mesmo que em média, a precipitação é maior em anos de El Niño para todas as cidades, com exceção de Curitiba (Fig. 10), pode-se salientar que, precipitação acima da média do período contribuiu para as maiores produtividades, mas não pode-se afirmar qual dos eventos ENOS gera melhor produtividade.

Nos anos com menores produtividades, 1993, 1990, 1991 e 1992, respectivamente, observa-se que a precipitação média do conjunto das sete cidades (linha preta cheia, Fig. 15) ficou abaixo da precipitação média do período de 1990 a 2012 (linha tracejada, Fig. 15). Esse padrão de precipitação esta associado a anos neutros (1990, 1991 e 1993) e ao evento El Niño (1992) (tab. 5). A ocorrência de

precipitações abaixo da média durante evento El Niño é explicada pelo fato deste evento ter sido classificado como El Niño Modoki nos meses de outubro e novembro, coincidindo com a época de semeadura e emergência da cultura, o que pode também ter diminuído a disponibilidade de água no solo da região, pois esse tipo de evento estava ocorrendo desde dezembro de 1990 (TEDESCHI & CAVALCANTI, 2010).

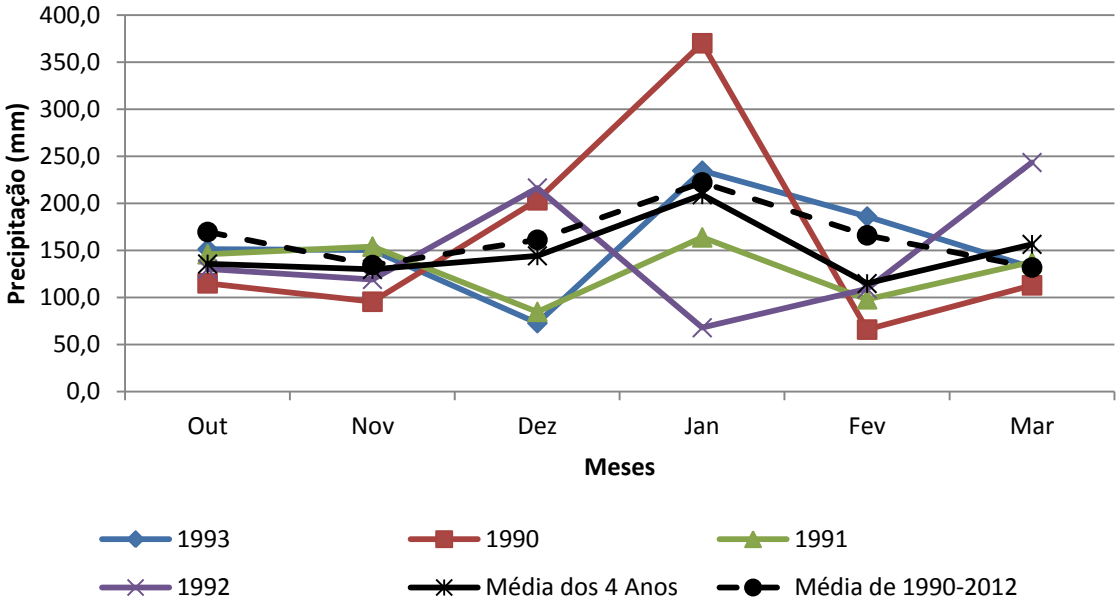


Figura 15 - Precipitação média das sete cidades em estudos nos anos de menores produtividades, precipitação média do conjunto de anos de menores produtividade e precipitação média total do período de 1990 a 2012.

Assim, em anos nos quais a precipitação média do conjunto das cidades em estudo foi abaixo da média do período, as produtividades também foram baixas, mesmo com a quantidade de precipitação média do período estando dentro do limiar necessário para o bom desenvolvimento da cultura da soja. Além disso, observou-se que nos casos de menores produtividades, só houve ocorrência conjunta com o evento El Niño o menor dos valores registrados, no ano de 1992 (tab. 5), sendo os outros anos neutros, ou seja, sem a influência de fenômenos ENOS.

Ao compararmos os resultados da relação entre eventos ENOS e maiores ou menores produtividades no período em estudo, observou-se que nos quatro anos de maior produtividade, 75% houve a ocorrência de El Niño, enquanto que nos quatro anos de menor produtividade o mesmo evento representou 25% dos casos (tab. 5).

Os períodos de maior exigência hídrica da cultura de soja são durante a germinação, emergência, floração e enchimento dos grãos (EMBRAPA RORAIMA, 2009). Observou-se que nos anos de maiores produtividades, durante a germinação e emergência da planta, (outubro e novembro), o regime de precipitação da média dos quatro anos coincide com a média do período todo em outubro e esta acima da média do mês de novembro (Fig. 14). Isto implica que nestes anos, a cultura recebeu uma demanda hídrica mais elevada quando comparada aos quatro anos de menores produtividades, onde neste período de germinação e emergência (outubro e novembro), a precipitação média dos quatro anos esteve abaixo da média de todo período (Fig.15).

Durante os meses de janeiro e fevereiro ocorre a floração e enchimento de grãos da cultura da soja, dependendo da sua época de semeadura e ciclo de desenvolvimento. Dessa forma, a precipitação nestes meses é de suma importância, uma vez que é neste período que ocorre às maiores exigências hídrica da cultura. No mês de janeiro, a precipitação foimais elevada que a média do período todo em três dos quatro anos de maiores produtividades (2003, 2007 e 2010), enquanto que o mesmo acontece para dois dos quatro anos de menores produtividades (1990 e 1993). No mês de fevereiro, em geral, a precipitação nos anos de maiores produtividades ficou acima da média do período todo e nos anos de menores produtividades (Fig. 14 e 15). Está diferença na disponibilidade hídrica em um período em que a cultura tem sua maior exigência, pode ser a explicação para a as baixas produtividades em anos em que a precipitação não foi elevada nos meses em que ocorrem a floração e enchimento de grãos.

Para a colheita da cultura de soja com alta qualidade de grãos, é necessário dias consecutivos com umidade não muito elevadas. Geralmente, a colheita ocorre durante os meses de fevereiro e março, dependendo do ciclo da cultura (precoce ou tardia) e época de sua semeadura. Observa-se que nos anos de maiores produtividades analisados, a precipitação decai em relação a fevereiro e, nos anos de menores produtividades analisados a precipitação de março eleva-se em relação a fevereiro para três anos estudados (1990, 1991 e 1992) (Fig. 14 e 15). Este aumento na precipitação no mês de março nos anos de menores produtividades pode ter gerado problemas durante a colheita devido a alta umidade, prejudicando a produtividade final .

De forma geral, a produtividade mostrou-se mais elevada quando a distribuição ao longo dos meses do ciclo da cultura foi uniforme.Para os anos de menores produtividades verificou-se que a precipitação não se comporta uniformemente e que déficit hídrico nos meses de janeiro e fevereiro foram os prováveis responsáveis pelas as menores produtividades.

Para uma melhor caracterização da relação entre a precipitação e produtividade, é necessário um estudo com um período mais longo de dados, onde, ao excluir a tendência tecnológica, seria possível determinar uma melhor relação entre esses fatores.

## Conclusões

Durante todo o período de avaliação dos anos de 1990 a 2009, o mês de janeiro apresentou os maiores índices de precipitação média e os meses de julho e agosto os mais secos.

Os meses mais quentes, de outubro a março, possuem as maiores precipitações ao longo do ano.

Em geral, o sudoeste do Estado é mais chuvoso que a região nordeste e não se identifica estação seca definida.

Para o período de 1990 a 2012, as cidades de Campo Mourão, Castro, Irati, Ivaí, Londrina e Maringá, apresentaram precipitação média nos meses de safra de soja mais elevada nos anos de ocorrência de El Niño, do que em anos de ocorrência de La Niña, com exceção de Curitiba.

Em anos neutros, a precipitação média está abaixo da precipitação observada em anos de ocorrência de ENOS para todas as cidades.

Para a variável precipitação observou-se interação significativa para o fator fenômeno dentro de cada cidade, e não significativa na comparação entre cidades dentro de cada fenômeno. Independente do fenômeno e da cidade, a precipitação média ficou acima da exigência hídrica da cultura.

Observou-se uma tendência positiva na produtividade de soja ($kg.ha^{-1}$) em todas as cidades entre 1990 e 2012. Curitiba apresentou a maior tendência de aumento na sua produtividade e Maringá a menor. Aproximadamente 83% da produtividade compreende-se entre 2200 $kg.ha^{-1}$ a 3400 $kg.ha^{-1}$. A média de produtividade das cidades para o período é de 2674 $kg.ha^{-1}$, valor 3% acima da média do Estado.

A produtividade apresentou interação significativa entre os fatores estudados (Fenômeno X Cidades). A cidade de Castro apresentou as maiores produtividades

de grãos de soja independente do fenômeno ENOS estudado. Para todas as cidades estudadas o fator fenômeno não influenciou a produtividade de grãos de soja, com exceção de Maringá e Campo Mourão que apresentaram diferenças significativas para este fator. A partir de 2000, 83% da variação interanual da produtividade da soja acompanhou a variação anual da precipitação.

Nos anos de maiores produtividades (2003, 2007, 2010 e 2011), a média da precipitação do conjunto das cidades para estes anos foi acima da média da precipitação do período todo. Nos anos de menores produtividades (1990, 1991, 1992, 1993), a média da precipitação do conjunto das cidades para estes anos foi abaixo da precipitação média do período todo.

Os fenômenos ENOS estão presentes tanto em anos de maiores produtividades, como em anos de menores produtividades para o período estudado. Os quatro anos de maiores produtividades estavam sobre a influência de El Niño e La Niña Modoki. Os quatro anos de menores produtividades ocorreram em anos neutros sendo que o de menor produtividade sofreu influência de El Niño Modoki.

As distribuições mensais de precipitação ao longo dos meses de cultivo influenciaram a produtividade no sentido que, as menores produtividades ocorreram quando janeiro e fevereiro a disponibilidade hídrica não foi elevado quando comparada aos anos de maiores produtividades

## Referências


ALMEIDA, I. R. **O clima como um dos fatores de expansão da cultura da soja no Rio Grande do Sul, Paraná e Mato Grosso**. 2005. 119 f. Tese (Doutorado em Geografia).

ARRUDA, H.V.; PINTO, H. A simplified gamma probality model for analysis of the frequency distribution of rainfall in the region of Campinas, SP – Brazil**. Agricultura and Forest Meteorology**, v. 22, n. 2, p. 101-108, 1980.

ASHOK, K; BEHERA, S. K.; RAO, S. A.; WENG, H. e YAMAGATA, T. El Niño Modoki and its possible teleconnection. **Journal of Geophysical Research**, v.112, C11007, 2007.

ASHOK, K.; YAMAGATA, Y. The El-Niño with a difference. **Nature**. Vol. 461. pp. 481 – 484, 2009.

BDMEP/INMET – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 20 de Nov. de 2013.

BENETI, C.; VASCONCELLOS, C.; CALVETTI, L.; MOREIRA, I. A. Efeitos Geográficos e Orográficos na Incidência de Descargas Elétricas Atmosféricas no Paraná – Estudo Preliminar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, 2002, Foz do Iguaçu. **Anais**. Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2002. 1CD-ROM.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Variabilidade interanual da precipitação e variabilidade dos rendimentos de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, n. 1, p. 119-125, 1999.

BERLATO, M. A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D. C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v. 40, n. 5, p. 423-432, mai. De 2005.

BIOVVIGOR FERTILIZANTES - Disponível em: < http://biovvigor.com.br/>. Acesso em 15 abr. 2014.

CAMARGO, A.P.; PINTO, H.S.; PEDRO Jr, M.J.; BRUNINI; O.; ALFONSI, R.R.; ORTOLANI; A.A. Aptidão climática de culturas agrícolas. In: VERDADE, F.C.

(Coord.). **Zoneamento agrícola do Estado de São Paulo**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Secretaria da Agricultura, 1974. v.1, p.109.

CAMARGO, M.B.P.; ARRUDA, H.V.; PEDRO Jr, M.J.; BRUNINI, O.; ALFONSI, R.R. Melhores épocas de plantio do trio no Estado de São Paulo baseadas na probabilidade de atendimento hídrico. **Bragantia**, v. 44, n. 1, p. 255-261, 1985.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em 15 abr. 2014.

CANE, M. A.; ESCHEL, G.; BUCKLAND, R. W. Forescasting Zimbabwean maize yield using eastern equatorial Pacific sea surface temperature. **Nature**, v. 370, p. 204-205, 1994.

COUTO, L; COSTA, E. F.; VIANA, R. T. Efeito do veranico sobre a produção de cultivares de milho. In: **Relatório técnico anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo**, 1980 -1984, Sete Lagoas, MG: EMBRAPA – CNPMS, 1986. p. 77-78.

CPTEC - INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Disponível em < http://www.cptec.inpe.br/>. Acesso em 07 abr. 2014.

CRIAR E PLANTAR. Disponível em: <http://www.criareplantar.com.br/agricultura/>. Acesso em 15 nov. 2013.

CUNHA, G. R.; DALMAGO, G. A.; ESTEFANEL, V. Enso influences on wheat crop in Brazil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, n. 1, p. 127-138, 1999.

EMBRAPA RORAIMA – Cultivo de soja no cerrado de Roraima. Sistema de Produção, 1. ed.1. set 2009. Disponível em <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Soja/CultivodeSojanoCerradodeRoraima/clima.htm>. Acesso em: 15 de abr. de 2014.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. Soja em números. Disponível em:<http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?cod_pai=2&op_page=294>. Acesso em: 02 de mai. de 2014.

FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R.; EVANGELISTA,B. A.; LAZZAROTTO, C; NEUMAIER,N.; NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões de soja no Brasil**. Revista Brasileira de Agrometeorologia,** Passo Fundo. v. 9, n.3, p. 414-421, 2001.

FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER,N.; NEPOMUCENO, A. L.; MARIN, F. R. Modelagem para estimativa de perdas de rendimento de grãos de soja em função da disponibilidade hídrica. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 3. 2005, Sete Lagoas –MG, 16 a 18 de agosto de 2005.

FERREIRA, D. B. **Relações entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões Sul e Sudeste do Brasil.** 2006. 125 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). São José dos Campos: INPE.

FREITAS, M. de C. M. d. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 7, n. 12, 2011.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A. Relação entre o El Niño Oscilação Sul (ENOS), precipitação e rendimento de milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 39-45, 1996.

GOODWIN, J. B.; SANS, L. M. A. Análise de interação da data de plantio, probabilidade de chuvas e consumo de água pela cultura de milho. Nota preliminar. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 2. Piracicaba-SP: ESALQ. **Anais**... 1976, p. 483-97.

GRIMM, A. M., BARROS, V. R., DOYLE, M. E. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v. 13, p. 35-58, 2000.

HANDLER, P. Corn yields in United States and sea surface anomalies in the equatorial Pacific Ocean. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 31, p. 25-32, 1984.

HANSEN, J. W.; HODGES, A. W.; JONES, J. W. ENSO Influences on Agriculture in the Southeastern United States. **Journal of Climate**, v. 11, p. 404-411, 1998.

IAPAR – Instituto Agronômico do Paraná. Cartas climáticas do Paraná. Disponível em: < http://www.iapar.br/ >. Acesso em: 02 de jun. de 2014.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso em: 15 de Nov. de 2013.

IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. Paraná em números. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/ >. Acesso em: 01 de mai. de 2014.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. 2005. 550 p. ISBN 85-86552-03-8.

KEPPENNE, C. L. Na ENSO Signal in Soybean Futures Prices. **Journal of Climate**, v. 8, p. 1685-1689, 1995.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 2ª ed. Rio de Janeiro, Olympio Editora, 1981. 450 p.

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. In: **Geografia: Revista do Departamento de Geociências**, v. 14, n. 01, jan./jun., 2005. Disponível em: <www.geo.uel.br/revista>. Acesso em: 01 de jun. de 2013.

MARIANO, Z. F.; SANTOS , M. J. Z. dos; OLIVEIRA, R. C. N.; ROCHA, H. M.; PEREIRA, C. C. Variabilidade da precipitação pluvial e a produtividade da soja, na microrregião do sudoeste de Goiás. In: CONGRESSO DE EDUCAÇÃO DO SUDOESTE GOIANO: EDUCAÇÃO E MEIO AMBIENTE CERRADO – PATRIMÔNIO EM EXTINÇÃO, 18. Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí, Comunicação Oral, 05 a 10 de novembro de 2010.

MIERES L. da S.; SALDANHA, C. B.; TSCHIEDEL, A. F.; SALDANHA, R. L.; CARDOSO, M. A. G. Projeções climáticas das alterações da quantidade de água no solo disponível para o cultivo de soja. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, p. 807-818, 2012.

MJELDE, J. W.; KEPLEINGER, K. Using the Southern Oscillation to Forecast Texas Winter Wheat and Sorghum Crop Yiels. **Journal of Climate**, v. 11, p. 54-60, 1998.

MOTA, F.S. Weather-technology models for corn and soybeans in the South of Brazil. **Agricutural Meteorology**, v 28, p. 49-64, 1983.

MOTA, F. S. Influência dos fenômenos El Niño e La Niña sobre o rendimento de arroz irrigado na Região de Pelotas – RS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 15, n. 2, p. 21-24, 2000.

NCEP/NCAR Reanalysis Project. Disponível em:< http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis/reanalysis.shtml>. Acesso em: 15 de jan. 2014.

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponível em: <http://www.elnino.noaa.gov/index.html>. Acesso em: 15 de dez. 2013.

RAMOS, C. G. M.;PEREIRA FILHO, A. J.; HALLAK, R; CALVETTI, L.;BENETI, C. A. A. Estrutura Espacial de Sistemas Precipitantes na Área de Cobertura do RADAR meteorológico no Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14. Florianópolis, **Anais..** p. 01-06, 2006.

Rao, V.B.; Sá, L.D.A; Franchito, S.H.; Hada, K. Interanual variations of rainfall and corn yields in northeast Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology.** v. 85, p. 63-74, 1997.

RIMMINGTON, G. M..; NICHOLLS, N. Forecasting Wheat Yields In Australia Wihth The Southern Oscillation Index. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 44, p. 625-632, 1993.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño / Southren Oscillation. **Monthly Weather review**, v. 115, p. 1606-1926, 1987.

ROPELEWSKI, C F.; HALPERT, M. S. Precipitation patterns associated with the high index phase of the southern oscillation. **Journal of Climate**, v. 4, p. 268-284, 1989.

SEAB – Secretária da Agricultura e do Abastecimento. Disponível em <http://www.agricultura.pr.gov.br/>. Acesso em: 21 nov. de 2013.

SEMENOV, E. K.; PLATONOV, V. S.; SOKOLIKHINA, E. V.; Synoptic Aspects of the Catastrophic Flood Formation in the Northeast of Australia during Extreme La Niña 2010–201. **Russian Meteorology and Hydrology**, v. 37, n 2, p. 90-97, 2012.

SILVS, M. V. da. Análise sazonal do regime hídrico do Rio Grande do Sul no período de 1977 a 2006 : impacto de sistemas meteorológicos no regime hídrico do Estado em 2006. 2010.120 f.Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Faculdade de Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas-RS.

TEDESCHI, R. G.; CAVALCANTI, I. F. A. Influência dos ENOS Canônicos e Modoki na precipitação da América do Sul. Congresso Brasileiro de Meteorologia, 16. 2010. Belém do Pará-PA. **Anais…** Belém do Pará-PA, 2010

WANG, G.; HENDON H. H.; Sensitivity of Australian rainfall to inter El Niño variations. **Journal Climatic.** v. 20, p. 4211-4226, 2007.

WENG, H.; ASHOK, K.; BEHERA, S. K.; RAO, S. A. e YAMAGATA, T. Impacts of recent El Niño Modoki on dry/wet conditions in the Pacific rim during boreal summer. **Climate Dynamics**, v. 29, p.113–129, 2007.

YEH, S. W.;KUG,J.S.; DEWITTE,B.; KWON, M. H.; KIRTMAN, B. P.;JIN, F. F. El Niño in a changing climate. **Nature**. V. 461. p. 511-514. 2009.