



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Ana Alice Peregrino Pinto

Giovana Bueno Alves

**DETERMINAÇÃO DO FATOR DE PONDERAÇÃO REGIONAL (K) PARA A
BACIA DO RIO BRÍGIDA EM PERNAMBUCO**

Recife

2019

ANA ALICE PEREGRINO PINTO
GIOVANA BUENO ALVES

**DETERMINAÇÃO DO FATOR DE PONDERAÇÃO REGIONAL (K) PARA A
BACIA DO RIO BRÍGIDA EM PERNAMBUCO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Gonçalves de Azevedo

Recife
2019

Catálogo na fonte
Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

- P659d Pinto, Ana Alice Peregrino.
 Determinação do fator de ponderação regional (K) para a bacia do rio Brígida em Pernambuco / Ana Alice Peregrino Pinto, Giovana Bueno Alves. – Recife, 2019.
 56 f., figs., tabs.
- Orientador: Prof. Dr. José Roberto Gonçalves de Azevedo.
 TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Civil, 2019.
 Inclui referências e apêndices.
1. Engenharia Civil. 2. Seca. 3. Índice de seca. 4. Índice de Severidade de Palmer. 5. Bacia do rio Brígida. I. Alves, Giovana Bueno. II. Azevedo, José Roberto Gonçalves de. (Orientador). III. Título.
- 621.3 CDD (22. ed.)
- UFPE
BCTG/2019-407

ANA ALICE PEREGRINO PINTO

GIOVANA BUENO ALVES

**APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE SEVERIDADE DE SECA DE PALMER (PDSI) PARA
A BACIA DO RIO BRÍGIDA EM PERNAMBUCO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Profº. Dr. José Roberto Gonçalves de Azevedo (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Fabianny Joanny Bezerra Cabral Da Silva (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

À nossas famílias que estiveram sempre conosco nos momentos fáceis e difíceis, apoiando minhas decisões, investindo e acreditando na minha capacidade de tornar tudo isso possível.

Ao nosso orientador, Prof. José Roberto Azevedo, por toda a atenção, preocupação, paciência, disponibilidade e boa vontade para me incentivar, ensinar e orientar.

E a todos nossos amigos, colegas de faculdade e pessoas próximas que nos fizeram companhia nessa trajetória e que de alguma forma, por menor que tenha sido, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

A seca é um fenômeno natural que constantemente gera prejuízos em vários países, para o qual é difícil encontrar uma definição que abranja toda sua complexidade, embora existam diversos conceitos oficiais. Como diversos fatores afetam a severidade de uma seca (como a precipitação, evapotranspiração, umidade do solo, etc.) ela pode ser analisada de diferentes perspectivas disciplinares, incorporando diferentes fatores físicos, biológicos, socioeconômicos, dentre outros, e gerando os diferentes tipos de seca: agrícola, hidrológica, econômica, etc. O Índice de Severidade da Seca de Palmer (ISSP, ou PDSI, no original em inglês) é um dos métodos de avaliação da severidade da seca mais conhecido, amplamente aplicado e também criticado na literatura. O método foi desenvolvido nos Estados Unidos, mais precisamente em regiões do Kansas e Iowa, e exige que seja adaptado para aplicação em diferentes regiões. Para a adaptação foram utilizados 38 postos pluviométricos localizados na Bacia do Brígida, no estado de Pernambuco, e a adaptação exigiu utilização do método de Hargreaves & Christiansen para cálculo da evapotranspiração, além da avaliação dos valores dos índices que classificam as secas. A partir destas alterações foram obtidas novas equações e o método adaptado foi aplicado novamente para os 38 postos. Comparando os resultados do método original e de sua adaptação, a severidade da seca se manteve proporcional entre ambos, porém a duração dela teve resultados opostos. Para o método original, a tendência é de que a duração aumente, já para a adaptação a tendência é de que diminua. Avaliando os gráficos pode-se ver comportamento muito similar entre os períodos de secas resultantes de cada método.

Palavras-chave: Seca. Índice de seca. Índice de Severidade de Palmer. Bacia do rio Brígida.

ABSTRACT

Drought is a natural phenomenon that constantly results in losses through many countries and for which it is difficult to find a definition that covers all its complexity, although there are several official concepts. As many factors affect the severity of the phenomena (i. e. precipitation, evapotranspiration, soil humidity, etc.) it can be analyzed from different disciplinary perspectives, incorporating different factors such as physical, biological, socioeconomical, among others, creating different types of drought: agricultural, hydrological, economical, etc. Palmer's Drought Severity Index (PDSI) is one of the most known methods of evaluation of the severity of a drought, widely applied but also criticized in the literature. The method was developed in the United States, precisely in regions of Kansas and Iowa, and demands adaptations for its application in different regions. For these adaptations 38 stations within the Brígida river watershed were used, in the state of Pernambuco, and the adaptation required the utilization of the method of Hargreaves e Christiansen for computation of evapotranspiration, in addition to the evaluation of the values of the index that classify the drought. From these alterations new equations were obtained and the adapted method was applied again to the 38 stations. Comparing the results of the original method and its adaptation, the drought severity remained proportional between both, however the duration results were conflicting. For the original method, the tendency is an increase of the duration of droughts, while with the new adaptation the tendency is of decrease. Evaluating the graphics one can see very similar behavior between the drought periods resulting from each method.

Keywords: Drought. Palmer's Drought Severity Index. Brígida river watershed. Drought Severity Index.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Localização da bacia do rio Brígida e municípios da região.....	14
Figura 2 –	38 postos pluviométricos da bacia do Brígida e estações automáticas do INMET de Cabrobó e Ouricuri.....	20
Figura 3 –	Comparação das médias de temperatura máxima, média e mínima mensais dos dados reais e preenchidos do posto de Cabrobó.....	21
Figura 4 –	Gráfico das temperaturas máximas, médias e mínimas mensais para as estações.....	22
Figura 5 –	Comparação das médias de temperatura máxima, média e mínima mensais do posto de Ouricuri e do de Cabrobó preenchido.....	23
Figura 6 –	Precipitação e umidade média mensal de Ouricuri.....	23
Figura 7 –	Precipitação e umidade média mensal de Cabrobó.....	24
Figura 8 –	Regressão linear para obtenção da equação do K'.....	29
Figura 9 –	Fluxograma do método de Palmer original.....	31
Figura 10 –	Gráfico de piores secas (Sz) para diversos períodos de tempo.....	33
Figura 11 –	Gráfico do ajuste linear para K.....	36
Figura 12 –	Fluxograma do método de Palmer adaptado para os postos da bacia do Brígida.....	37
Figura 13 –	Relação das sexeridades das secas obtidas em Ipubi.....	42
Figura 14 –	Relação das durações das secas obtidas em Ipubi.....	42
Figura 15 –	Comparação dos resultados do PDSI original e da adaptação realizada no atual estudo reduzida em 66,67%.....	43
Figura 16 –	Médias de durações por década pela adaptação de Faeirstein (2018) e a atual adaptação.....	43
Figura 17 –	Médias de severidades por década pela adaptação de Faeirstein (2018) e a atual adaptação.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Críticas feitas ao método de severidade de seca de Palmer..	17
Tabela 2 –	Significado dos valores do PDSI e Z-index.....	18
Tabela 3 –	Adaptações realizadas para aplicação do PDSI no Brasil ...	19
Tabela 4 –	Distribuição dos valores por intervalo de PDSI.....	33
Tabela 5 –	Ajuste do valor de “c” na equação do PDSI.....	35
Tabela 6 –	Valores de DK’ obtidos em adaptações do PDSI para o Brasil.....	39
Tabela 7 –	Comparação de percentuais entre os valores de Palmer e a atual adaptação.....	39
Tabela 8 –	Resultados da aplicação de ambas as adaptações.....	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO	12
1.2	OBJETIVO GERAL	12
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	ÁREA DE ESTUDO	13
2.2	A SECA	14
2.3	O MÉTODO DE PALMER	15
3	MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1	SÉRIE DE DADOS	20
3.2	O MÉTODO DE PALMER	24
3.2.1	Balanço hídrico	24
3.2.2	Coeficientes de evapotranspiração (α), recarga (β), runoff (γ) e perda (δ)	25
3.2.2.1	Coeficiente de evapotranspiração (α)	26
3.2.2.2	Coeficiente de recarga (β)	26
3.2.2.3	Coeficientes de runoff (γ)	26
3.2.2.4	Coeficiente de perda (δ)	26
3.2.3	Índice CAFEC (Climaticamente Adequado para Condições Existentes).....	27
3.2.4	Cálculo da anomalia de precipitação mensal ("d")	27
3.2.5	Determinação do fator de ponderação regional ("K").....	28
3.2.6	Cálculo do índice de anomalia de umidade ("Z").....	30
3.2.7	Determinação da equação do PDSI	30
3.2.8	Adaptação do método de Palmer para a bacia do Brígida	32
3.2.8.1	Definição dos piores valores de z	32
3.2.8.2	Definição dos novos intervalos de seca	33
3.2.8.3	Determinação da nova equação do PDSI	34
3.2.8.4	Determinação da nova equação do K	35
3.3	A APLICAÇÃO DO MÉTODO	38

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1	DETERMINAÇÃO DO FATOR DE PONDERAÇÃO	39
4.2	COMPARAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DA EQUAÇÃO DE PALMER E A EQUAÇÃO ADAPTADA	40
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	44
	REFERÊNCIAS	46
	APÊNDICE A - ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS	49
	APÊNDICE B - DIFERENÇA DO ERRO GERADO PELA UTILIZAÇÃO DE UMA REGRESSÃO LINEAR E POLINOMIAL PARA A EQUAÇÃO DAS PIORES SECAS	51
	APÊNDICE C - CÁLCULO DO FATOR K	52

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Palmer (1965), a seca é um período durante o qual a precipitação é menor do que a esperada. Esse tipo de fenômeno pode ocorrer tanto em áreas úmidas como em áreas áridas e, portanto, não deve ser confundido com a aridez, que consiste em uma característica permanente do clima (AZEVEDO & SILVA, 1994).

A seca é definida pela *World Meteorological Organization* (1992) e *American Meteorological Society* (1997) como um déficit prolongado de precipitação, um déficit de precipitação que resulta em uma baixa disponibilidade hídrica para a atividade que a requer, ou ainda um período anormal seco, suficientemente longo para que a falta de precipitação cause um desequilíbrio hidrológico.

Porém, de acordo com Whilwhite e Glantz (1987), existem discordâncias sobre a definição do fenômeno da seca. A severidade de um período de seca não pode ser avaliada sem levar em consideração algum contexto, de acordo com os autores. Como a seca afeta diversos fatores econômicos e sociais ela será também avaliada distintamente em relação a cada um destes fatores. Os autores exemplificam esta discordância com uma situação no nordeste brasileiro em que um período de seca que foi dado com duração de cinco anos por alguns cientistas, enquanto meteorologistas indicaram uma duração de apenas dois anos para esta mesma seca.

O índice de severidade de seca de Palmer (PDSI) é, de acordo com Azevedo e Silva (1994), o mais conhecido na literatura. O método tem como proposta expressar as secas agrícolas e hidrológicas em um único índice incluindo em sua determinação as taxas de umidade no solo e na planta e a obtenção de uma padronização entre diversas regiões.

O método foi criado nos Estados Unidos, utilizando 9 localidades, e se baseia no cálculo do balanço hídrico e na obtenção e um fator “K” de ponderação regional, Alley (1984) critica esses fatores do método por tornar necessária uma adaptação em diferentes regiões.

1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

A seca é um fenômeno frente ao qual há grande vulnerabilidade, o que Blain (2005) exemplifica utilizando o racionamento de energia elétrica realizado em 2001, devido ao baixo nível dos reservatórios em diversas regiões do Brasil. Isso torna necessário o estudo dela para melhor planejam^{1.1}ento frente ao fenômeno, ou até para possivelmente impedi-lo. De acordo com Silva (2017), a Bacia hidrográfica do rio Brígida, área de estudo da presente pesquisa, é caracterizada como BSh pela classificação Köppen, clima de escassez de chuva e irregularidade da precipitação, e encontra-se em uma região bastante vulnerável a mudanças climáticas, o que torna urgente a proposição de medidas de acompanhamento e prevenção de eventos hidrológicos extremos, uma vez que esses déficits causam prejuízos nas esferas econômica, social e ambiental. A utilização de um índice efetivo que seja capaz de mensurar a severidade da seca numa área como a mencionada se torna importante para melhorar o planejamento da região e evitar grandes danos econômicos e sociais.

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é adaptar o índice de severidade da seca de Palmer para que este possa resultar em valores compatíveis com o estado de Pernambuco, região da Bacia do Brígida.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Aplicar, por meio de planilhas eletrônicas, o balanço hídrico pelo método de Hargreaves e Christiansen (1973), para os postos da área de estudo;
- b) Adaptar o fator de ponderação regional (K) do Método de Palmer à área de estudo;
- c) Comparar os resultados dessa adaptação com a adaptação utilizada por Faeirsten (2018) no estado e Pernambuco.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Sendo um fenômeno de difícil definição e vasta importância para a garantia do bem estar da população, entender o que é e como se processa a seca é fundamental para que seja possível prever seus efeitos. Portanto, se faz necessário um escopo teórico que embase o trabalho realizado.

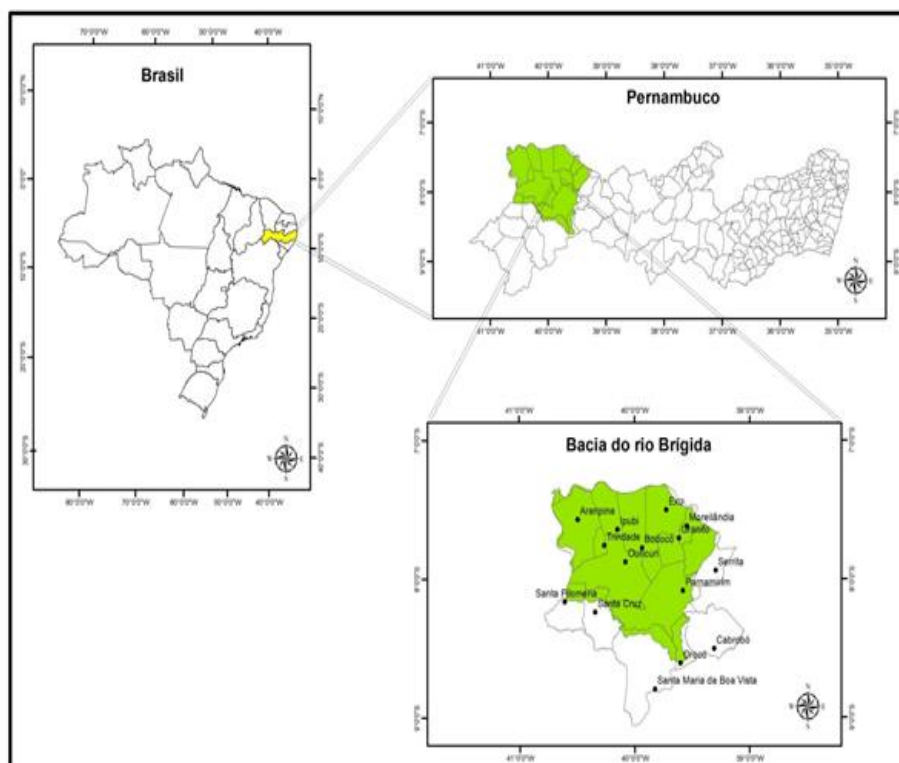
2.1 ÁREA DE ESTUDO

A área escolhida para estudo é a Bacia do Brígida ou, de acordo com a denominação adotada no Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco (PERH-PE), Unidade de Planejamento Hídrico (UP11) (SECTMA, 1998). Esta está localizada no Estado de Pernambuco, na Região Nordeste do Brasil, na mesorregião do Sertão Pernambucano e na microrregião de Araripina e Salgueiro. Ela abrange 15 municípios, e seu território ocupa uma área de 13.560,90 km² (IBGE, 2010).

O clima da bacia do rio Brígida é do tipo BSh de Köppen, que é predominante na região Nordeste do Brasil, incluindo o oeste de Pernambuco, área da Bacia em estudo. Segundo a Embrapa, o clima é definido como clima semiárido quente com temperatura média elevada, próximo de 27°C, baixa nebulosidade; forte insolação; índices elevados de evaporação. A estação chuvosa irregular e torrencial de novembro a abril variando de 250 a 750 mm anualmente, deixando de ocorrer durante alguns anos e provocando secas. Os postos Ouricuri e Cabrobó tem uma média anual de 600 mm e 552,5 mm respectivamente.

De acordo com Silva (2017), o clima nessa região é influenciado por diversas massas de ar, que ao deslocarem a umidade para outras regiões gera uma má distribuição da precipitação ao longo do ano e em baixa quantidade.

Figura 1 - Localização da bacia do rio Brígida e municípios da região.



Fonte: Silva, 2017.

2.2 A SECA

A Sociedade Meteorológica Americana define seca de forma aparentemente abrangente, como “uma prolongada e anormal deficiência de umidade”. Essa definição, por mais que verdadeira, ainda gera certa confusão. Isso por que, de acordo com Glantz e Katz (1977) a seca pode ser analisada de diferentes perspectivas disciplinares, incorporando diferentes fatores físicos, biológicos, socioeconômicos, etc., em sua definição e gerando os diferentes tipos de seca: agrícola, hidrológica, econômica, etc. A falta de uma padronização dessa definição torna difícil a obtenção de uma medida exata da severidade desse fenômeno em uma região. Ao buscar criar um índice que possa ser usado universalmente para definir a severidade de uma seca, Palmer (1965), define o problema como “um período de tempo, geralmente com duração de ordem de meses ou anos durante o qual a umidade de uma área é constantemente menor do que a umidade esperada ou apropriada desta área. A

severidade dessa seca é considerada como função tanto da duração como da magnitude dessa deficiência”.

O método de Palmer, que calcula um índice prático para classificar a seca, foi criado então unindo à definição um parâmetro confiável para sua classificação e, consequentemente, controle.

Nos Estados Unidos, Wilhite (1982) afirma a importância do estudo com monitoramento em tempo real para o combate da anomalia, e afirma a importância da reavaliação e substituição de ferramentas que se provem imprecisas ou inadequadas.

2.3 O MÉTODO DE PALMER

O método de Índice de Severidade de Secas de Palmer (PDSI) teve sua origem nos Estados Unidos. Desenvolvido inicialmente utilizando uma região de 31 condados no oeste do Kansas e de 12 condados de região central de Iowa cujo clima é continental e posteriormente com mais 7 localidades: Dakota do Norte, a região High Plains, do planalto de Edwards e do sul do Texas, oeste central de Ohio, Tennessee Ocidental, e Scranton, na Pensilvânia. De acordo com Blain (2005), o objetivo de Palmer era de gerar um índice padronizado, comparável em diferentes localidades em qualquer época e para isso foi necessário um fator de padronização. De acordo com Fernandes *et al.* (2009), a motivação de Palmer foi o fato de que um mês anormalmente úmido no meio de um período de seca não tem um impacto maior no índice assim como uma seca drástica seguida de uma série de meses com precipitação próxima ao normal não significa que a seca acabou. Consequentemente, Palmer desenvolveu critérios para determinar quanto um período de seca ou de umidade começa e termina. método utiliza parâmetros do Balanço Hídrico climático de Thorntwaite & Mather (1955), que é amplamente criticado como apontado por Palmer (1965) e visto por Alley (1984) e Azevedo & Silva (1994) como uma limitação do PDSI devido a não existência de um método universal para cálculo do balanço hídrico. Atualmente Allen *et al.* (1998) recomenda a utilização do método de Penman-Monteith, porém os dados disponíveis para a região são escassos, e foi escolhido uma abordagem alternativa para o cálculo do balanço hídrico, discutida mais a frente.

Após cálculo do balanço hídrico, o Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) foi determinado (calculado) utilizando os períodos de maior seca para cada um dos 38 postos da bacia do Brígida (Apêndice 1), a região de estudo, e a partir deles arbitrar valores representativos de uma seca extrema, severa, moderada e suave (denominado no método de Palmer através do parâmetro X). Além disso, esses períodos são utilizados para realizar regressões lineares que resultaram não só na equação da característica climática (K), equações (1) e (2) como na equação final do PDSI, equação (3).

$$K' = 1,5 * \log_{10} \left[\frac{\frac{\widehat{PE} + \widehat{R} + \widehat{RO}}{\widehat{P} + \widehat{L}} + 2,80}{\widehat{D}} \right] + 0,50 \quad (1)$$

$$K = \frac{17,67}{\sum_1^{12} \widehat{D} K'} * K' \quad (2)$$

$$X_i = X_{i-1} + \frac{z_i}{3} - 0,103 * X_{i-1} \quad (3)$$

Onde:

$\widehat{PE}$: Evapotranspiração potencial média mensal;

$\widehat{R}$: Recarga de umidade média do solo mensal;

$\widehat{RO}$: Runoff médio mensal;

$\widehat{P}$: Precipitação média mensal;

$\widehat{L}$: Perda de umidade média do solo mensal;

$\widehat{D}$: Média dos valores absolutos da anomalia de precipitação (d) mensal;

z: Estimativa preliminar do índice de anomalia de umidade (Z);

Alley (1984) e Wells et al. (2004) criticam essa adaptação do K por utilizar apenas nove localidades e consequentemente não produzir confiabilidade que permitisse, em nível nacional, a comparação de condições hídricas de diferentes regiões. O Segundo artigo afirma que o comportamento inconsistente em diferentes localidades torna

necessária a adaptação do método dificultando ou até mesmo impossibilitando as comparações espaciais de valores do índice de Palmer, e, como prova disso, cita a má performance do método quando utilizado no oeste dos Estados Unidos. A Tabela 1 resume as críticas encontradas na literatura sobre o método de severidade de seca de Palmer, já citadas.

Tabela 1 – Críticas feitas ao método de severidade de seca de Palmer.

Crítica	Autor	Razão
Utilização do método de Thornthwaite & Mather (1955)	Palmer (1965); Alley (1984); Azevedo & Silva (1994)	A não existência de um método universal para cálculo do balanço hídrico. Allen et al. (1998) recomenda a utilização do método de Penman-Monteith (FAO).
adaptação do K' por utilizar apenas nove localidades dos Estados Unidos	Alley (1984); Wells et al. (2004)	Não produzir confiabilidade que permitisse, em nível nacional, a comparação de condições hídricas de diferentes regiões, tornando necessária a adaptação do método, dificultando ou até mesmo impossibilitando as comparações espaciais de valores do índice.
Valor do PDSI=-4, escolhido de forma arbitrária, para designação de uma seca extrema	Alley (1984)	O valor é baseado em uma equação que levou em conta, para seu desenvolvimento, apenas dados de Kansas e Iowa.

Fonte: As Autoras, 2019.

Com base nessas e outras críticas, Blain (2005) adaptou o método para possibilitar sua utilização em São Paulo, para isso foi necessário alterar a fórmula do fator de ponderação regional, que foi calculada por Palmer (1965) utilizando as nove localidades resultando em 17,87 (Equação 2), o fator encontrado para o estado de São Paulo foi de 22,8 (BLAIN, 2005). Em outra adaptação, realizada por Limeira *et al.* (2007) para o estado da Paraíba, obteve-se o fator 21,87.

Fernandes et al. (2010) afirmam que os resultados apresentados pelo PDSI não representam de forma adequada os anos em que houve diminuição na produtividade, provavelmente pela falta de ajustes desse índice às condições climáticas da região. Em seu estudo o método foi aplicado sem nenhuma adaptação para o município de Santo Antônio de Goiás, GO. No entanto, em suas conclusões é citada também o bom desempenho do Z-index (índice de anomalia da umidade, uma etapa do método de Palmer) para a microrregião de Goiânia, com base nos critérios de número de eventos de seca, distribuição de frequências próxima à normal e número de acertos

dos índices de seca em relação à produtividade ajustada o arroz de terras altas. O Z-index foi calculado pelo autor pela mesma equação do processo do PDSI:

$$Z = d * K \quad (4)$$

Sendo a classificação desses valores obtidos feita similar a do próprio índice de Palmer, como demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Significado dos valores do PDSI e Z-index

Classe	PDSI	Z-index
Extremamente	$\geq 4,00$	$\geq 4,00$
Muito úmido	3,00 a 3,99	3,00 a 3,99
Moderadamente úmido	2,00 a 2,99	2,00 a 2,99
Pouco úmido	0,5 a 1,99	0,5 a 1,99
Próximo ao normal	0,49 a -0,49	0,49 a -0,49
Pouco seco	-0,5 a -1,99	-0,5 a -1,99
Moderadamente seco	-2,00 a -2,99	-2,99 a -2,99
Muito seco	-3,00 a -3,99	-3,00 a -3,99
Extremamente seco	$\leq -4,00$	$\leq -4,00$

Fonte: Fernandes et al., 2010.

Barra *et al.* (2002) aplicou o método para o estado do Ceará do modo original como foi desenvolvido, exceto pela substituição da utilização do método de Thorntwaite & Mather (1955) para Balanço Hídrico climático pelo método de Hargreaves & Samani (1985), devido às conclusões de Barra & Dantas Neto (1998), citado em Barra *et al.* (2002), para a utilização do primeiro método no estado. Já Faeirstein (2018) e Silva (2017) utilizaram em seus estudos o método de Palmer na região do presente estudo, a Bacia do Brígida (PE), porém utilizando o fator encontrado por Limeira *et al.* (2007), devido à proximidade das áreas de estudo e também de sua similaridade climática.

Outro ponto criticado por Alley (1984) é a escolha de -4, escolhido de forma arbitrária, para designação de uma seca extrema, com base em uma equação que levou em conta, para seu desenvolvimento, apenas dados de Kansas e Iowa. Em sua adaptação, Blain (2005) também procura se dirigir a essa crítica, analisando os períodos de maior seca em seis localidades diferentes e arbitrando -3 para designar

uma seca extrema, justificado pela aparição de apenas um valor menor que -4 dentre os analisados. A partir desta alteração e também da equação linear obtida por meio de uma regressão feita a partir dos valores de Z mais extremos, Blain (2005) adaptou também a equação final do PDSI, anteriormente a Equação 3. Na Tabela 3 encontra-se um resumo de algumas adaptações encontradas para aplicação do PDSI no Brasil.

Tabela 3 – Adaptações realizadas para aplicação do PDSI no Brasil.

Autor	Local	Adaptações	Observações
Barra <i>et al.</i> (2002)	Ceará	Cálculo do balanço hídrico utilizando Hargreaves & Samani (1985).	Mudou o método de cálculo do balanço hídrico devido às conclusões de Barra & Dantas Neto (1998).
Blain (2005)	São Paulo	Fórmula do fator de ponderação, fórmula do PDSI.	-
Limeira <i>et al.</i> (2007)	Paraíba	Fórmula do fator de ponderação.	-
Fernandes <i>et al.</i> (2010)	Goiás	-	Verificou que o PDSI não representava adequadamente as condições de seca do local.
Faeirstein (2018) e Silva (2017)	Pernambuco	Cálculo do balanço hídrico utilizando Hargreaves & Christiansen (1973), e a fórmula do fator de ponderação utilizado por Limeira <i>et al.</i> (2007).	-

Fonte: As Autoras, 2019.

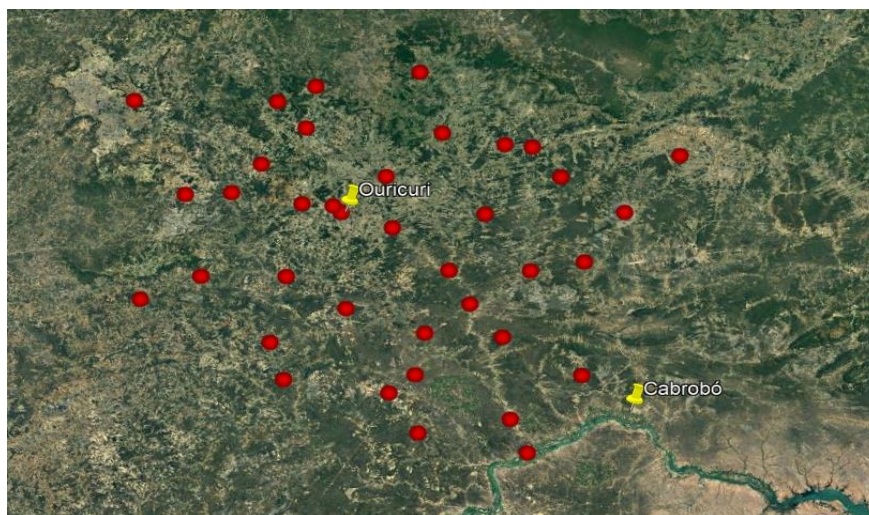
3 MATERIAIS E MÉTODOS

A partir de uma análise do artigo original de Palmer (1965), foi possível sugerir adaptações que pudessem resultar em um índice de severidade de seca que representasse mais fielmente as características dos 38 postos de onde foram retirados os dados para este trabalho. O processo de cálculo, tanto do método original quanto de sua adaptação, encontra-se descrito a seguir.

3.1 SÉRIE DE DADOS

A presente pesquisa utilizará dados obtidos de 38 postos pluviométricos encontrados nos municípios de Araripina, Bodocó, Cabrobó, Exú, Granito, Ipubi, Moreilândia, Orocó, Ouricuri, Parnamirim, Santa Maria da Boa Vista, Serrita e Trindade, todos localizados na região da bacia do rio Brígida, conforme mostra a figura 5, e estão listados no Apêndice 1. As séries históricas de pluviometria foram obtidas a partir do portal Hidroweb, constando de dados mensais desde 1961 até 2016.

Figura 2 - 38 postos pluviométricos da bacia do Brígida e estações automáticas do INMET de Cabrobó e Ouricuri.



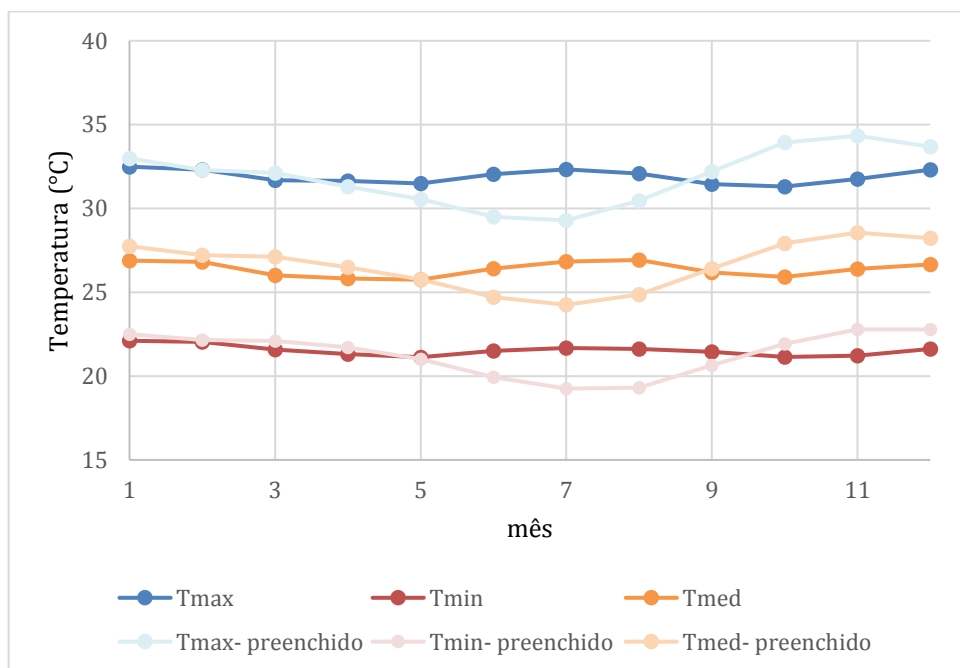
Fonte: imagem do Google Earth.

A região estudada conta com duas estações meteorológicas automáticas do INMET (Instituto nacional de meteorologia) próximas, uma localizada em Cabrobó

(82886) e a segunda em Ouricuri (82753). Devido à escassez de dados da região, para o presente estudo foram utilizados os mesmos dados de temperatura máxima, média e mínima da estação do INMET de Cabrobó para os demais 37 postos. Esses dados foram obtidos a partir do portal BDMEP com séries históricas também datando de 1961 à 2016, porém tendo sido previamente executado o preenchimento de falhas por Silva (2017), utilizando um aplicativo desenvolvido por Azevedo (2017), onde se empregaram 05 (cinco) métodos estatísticos, ambos descritos por Azevedo (2010): Ponderação Regional com Regressão, Ponderação Regional, Regressão Linear Simples, Vetor regional e Regressão Linear Múltipla. Porém, ainda de acordo com Silva (2017) o método da regressão linear múltipla não se adequou corretamente aos postos da região estudada, sendo observados em alguns casos, resultados de pluviometria negativa e pluviometria superestimada que não condiz com a tendência da região.

Os dados preenchidos da Estação de Cabrobó são comparados com os dados das médias mensais de temperatura máxima, média e mínima, preenchidas e não preenchidas na Figura 7.

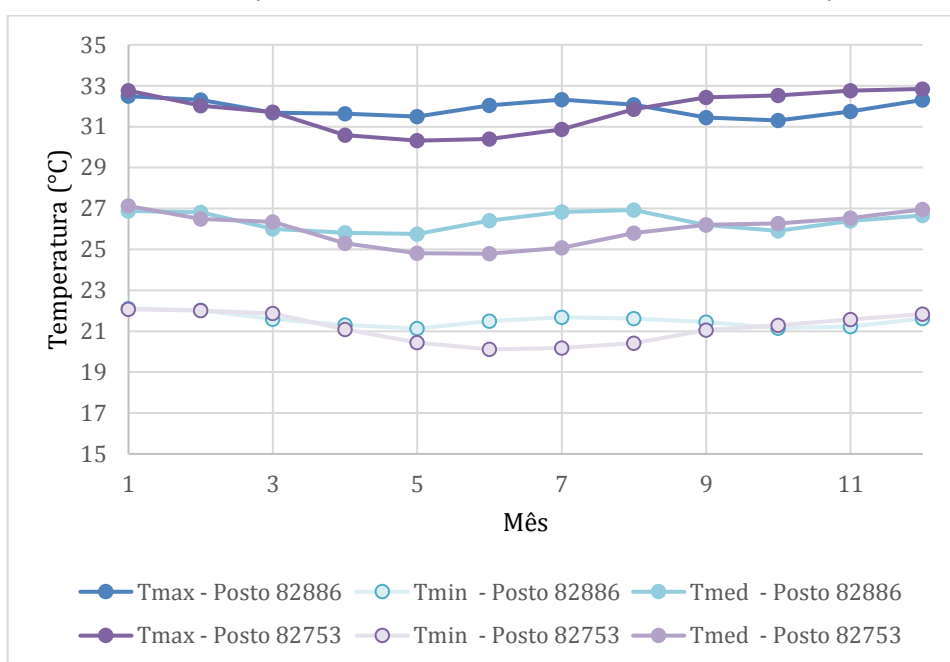
Figura 3 - Comparação das médias de temperatura máxima, média e mínima mensais dos dados reais e preenchidos do posto de Cabrobó.



Fonte: As Autoras, 2019.

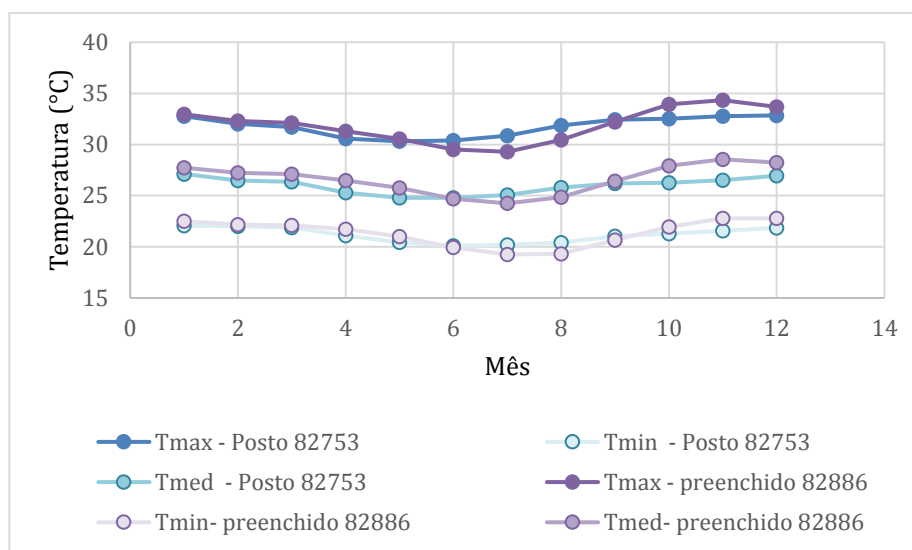
A Figura 3 compara as mesmas variáveis, porém entre das duas estações do INMET na região, já a Figura 4 realiza essa mesma comparação para a estação de Cabrobó. Assim pode-se analisar a variação dos dados do posto de Cabrobó com e sem preenchimento. Também o comportamento similar destes dados preenchidos ao posto de Ouricuri, validando a utilização dos dados de um único município em toda a região.

Figura 4 - Gráfico das temperaturas máximas, médias e mínimas mensais para as estações



Fonte: As Autoras, 2019.

Figura 5 - Comparação das médias de temperatura máxima, média e mínima mensais do posto de Ouricuri e do de Cabrobó Preenchido.

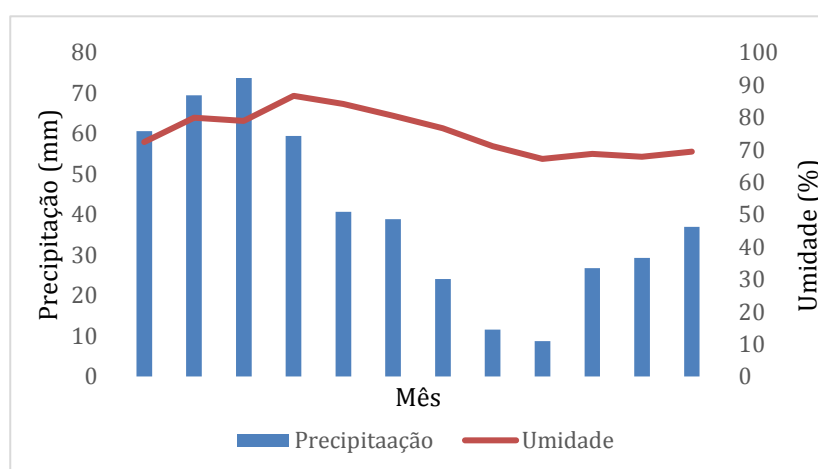


Fonte: As Autoras, 2019.

A análise da figura 5 mostra uma similaridade no comportamento da temperatura, já que a variação máxima entre esses valores ocorre para a temperatura média mensal, sendo $1,75^{\circ}$. As demais temperaturas têm variações menores, sendo $1,64^{\circ}$ para a temperatura máxima e $1,5^{\circ}$ para a temperatura mínima mensal.

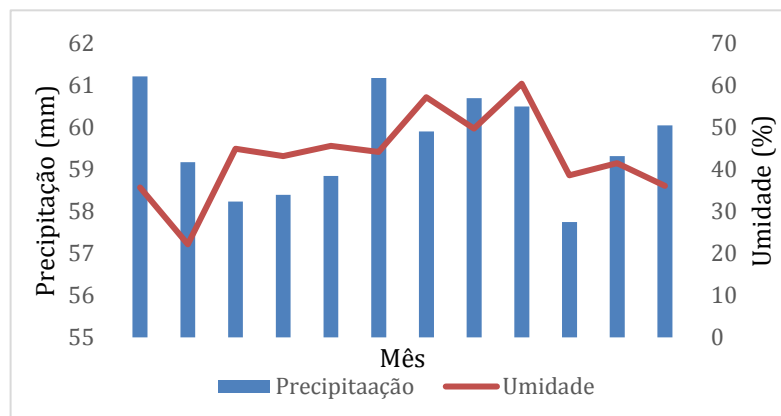
Utilizando os dados obtidos a partir do Hidroweb podemos também analisar a umidade e precipitação média mensal nos municípios de Cabrobó e Ouricuri buscando representar a Bacia. Os resultados são mostrados nas Figuras 6 e 7.

Figura 6 - Precipitação e umidade média mensal de Ouricuri.



Fonte: O Autoras, 2019.

Figura 7 - Precipitação e umidade média mensal de Cabrobó.



Fonte: As Autoras, 2019.

3.2 O MÉTODO DE PALMER

A base do trabalho realizado é o artigo de Palmer, que descreve a metodologia desenvolvida por ele para encontrar os índices de severidade de seca para uma região, e é descrita a seguir.

3.2.1 Balanço hídrico

De acordo com Fernandes *et al.* (2009), o balanço hídrico para o PDSI é calculado utilizando como dados de entrada todos os termos da equação do balanço hídrico, incluindo precipitação (P), evapotranspiração potencial (PET), Escoamento Superficial (RO), recarga do solo (R) e perda de umidade na camada de superfície (Ls) e na camada subterrânea do solo (Lu).

Assim como feito por Faeirstein (2018), a capacidade de armazenamento de umidade no solo (AWC), tanto na camada de superfície (AWCs) como na camada subjacente (AWCu), dos municípios em estudo, foi determinada através da utilização de perfis de solo do zoneamento pedológico e agroclimático de Pernambuco obtidos pela FIDEM, onde as capacidades de campo foram ponderadas pelo tipo de solo dentro da área de influência de cada posto pluviométrico.

Então, a partir dos dados de entrada de cada um dos 38 postos, são calculados os demais dados do balanço hídrico de cada posto. Para isso foi utilizada a metodologia de Palmer (1965), como aplicada por Faeirstein (2018) e Silva (2017).

Em seu desenvolvimento original, Palmer (1965) utiliza para cálculo da evapotranspiração potencial o método de Thorntwaite & Mather (1955). De acordo com Azevedo & Silva (1994), entretanto, a utilização do método de Thornthwaite é considerada uma das limitações do PDSI, já que não há um método universalmente aceito para o cálculo da evapotranspiração. Palmer (1965) também afirma que não há razão que impeça a utilização de outro método para este fim.

Com base nos trabalhos de Faeirstein (2018) e Silva (2017), no presente estudo será então utilizado o método apresentado por Hargreaves e Christiansen (1973) e já modificado para os dados climáticos disponíveis no Brasil, como citado por Studart (2006), utilizando apenas dados de temperatura e umidade. O método foi escolhido devido a sua adaptação para os dados disponíveis do Nordeste brasileiro, e o mau desempenho da equação de Thornthwaite para o estado do Ceará (BARRA & DANTAS NETO, 1998 apud BARRA *et al.*, 2002).

Por esse método a Evapotranspiração Potencial é calculada pela equação:

$$ETP = (32 + 1,8 * T) * F * 0,158 * (100 - U)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Onde,

T: Temperatura média em graus Celsius;

U: Umidade relativa média (%);

F: Fator mensal tabelado e dependente da latitude do local;

A evapotranspiração mensal (PET) é então obtida multiplicando o resultado da equação pelo número de dias do mês (n):

$$PET = ETP * n \quad (6)$$

3.2.2 Coeficientes de evapotranspiração (α), recarga (β), runoff (γ) e perda (δ)

A partir dos valores potenciais, é preciso encontrar os coeficientes α , β , γ e δ . Estes coeficientes dependem dos valores potenciais médios e reais médios para cada mês, e a razão entre eles gera um coeficiente que, segundo Palmer (1965), é utilizado

para estimar a quantidade de um dado de entrada do balanço hídrico (evapotranspiração, recarga, runoff ou perda de umidade) que pode ser considerado normal para um dado local após levar em consideração a demanda.

3.2.2.1 Coeficiente de evapotranspiração (α)

Sendo ET a evapotranspiração real média de um mês, e PE a evapotranspiração potencial média desse mesmo mês, temos, como valor de α , a equação abaixo:

$$\alpha = ET / PE \quad (7)$$

3.2.2.2 Coeficiente de recarga (β)

Sendo R a recarga média de um mês, e PR a recarga potencial média desse mesmo mês, temos, como valor de α , a equação abaixo:

$$\beta = R / PR \quad (8)$$

3.2.2.3 Coeficiente de runoff (γ)

Sendo RO o runoff médio de um mês, e PRO o runoff potencial médio desse mesmo mês, temos, como valor de α , a equação abaixo:

$$\gamma = RO / PRO \quad (9)$$

3.2.2.4 Coeficiente de perda (δ)

Sendo L a perda de umidade do solo média de um mês, e PL a perda potencial de umidade do solo média desse mesmo mês, temos, como valor de α , a equação abaixo:

$$\delta = L / PL \quad (10)$$

3.2.3 Índice CAFEC (Climaticamente Apropriado para Condições Existentes)

Conforme feito por Palmer (1965), os coeficientes de evapotranspiração (α), recarga (β), runoff (γ) e perda (δ) calculados são utilizados para o cálculo dos valores CAFEC, ou o valor climaticamente apropriado para as condições existentes de recarga, runoff, perda, evapotranspiração e precipitação. Ele pode ser obtido para qualquer mês, multiplicando-se o valor potencial para o mês em questão por seu respectivo coeficiente, ou, no caso da precipitação, calculando a equação do balanço hídrico com os valores obtidos, conforme demonstrado nas equações abaixo.

$$\widehat{ET} = \alpha * PE \quad (11)$$

$$\widehat{R} = \beta * PR \quad (12)$$

$$\widehat{RO} = \gamma * PRO \quad (13)$$

$$\widehat{L} = \delta * PL \quad (14)$$

$$\widehat{P} = \widehat{ET} + \widehat{R} + \widehat{RO} - \widehat{L} \quad (15)$$

Onde:

$\widehat{ET}$ = Valor CAFEC para evapotranspiração;

$\widehat{R}$ = Valor CAFEC para a recarga de umidade do solo;

$\widehat{RO}$ = Valor CAFEC para o runoff;

$\widehat{L}$ = Valor CAFEC para a perda de umidade do solo;

$\widehat{P}$ = Valor CAFEC para a precipitação;

3.2.4 Cálculo da anomalia de precipitação mensal (“d”)

Utilizando os valores de precipitação CAFEC obtidos, Palmer (1965) definiu uma variável que mensurasse a diferença entre a precipitação real e a precipitação estimada (CAFEC), o “d”, representando uma medida da diferença de umidade para um mês particular em relação ao que seria considerado normal, chamado por Blain (2005) de “anomalia de precipitação mensal”.

3.2.5 Determinação do fator de ponderação regional (“K”)

Palmer (1965) afirma não ser possível comparar os valores de “d” obtidos em uma época do ano em uma região com valores obtidos em outra época do ano, nessa mesma região, assim como não seria possível compará-los para localidades diferentes sem antes uma pré determinação de que os dados sejam realmente compatíveis. Dessa forma, Palmer concluiu que a significância de uma determinada seca depende de alguma forma do que é considerado normal para uma dada região num dado mês.

O fator de ponderação permite que seja feita essa comparação. Assumindo que o período de aproximadamente um ano mais seco para um dos seus postos de estudo tivesse consequências econômicas semelhantes ao período de aproximadamente um ano mais seco do outro posto de estudo, Palmer argumenta que parece razoável que a primeira estimativa de K (o “k”) seja uma relação entre o que o solo recebe e o que dele sai, conforme a equação abaixo:

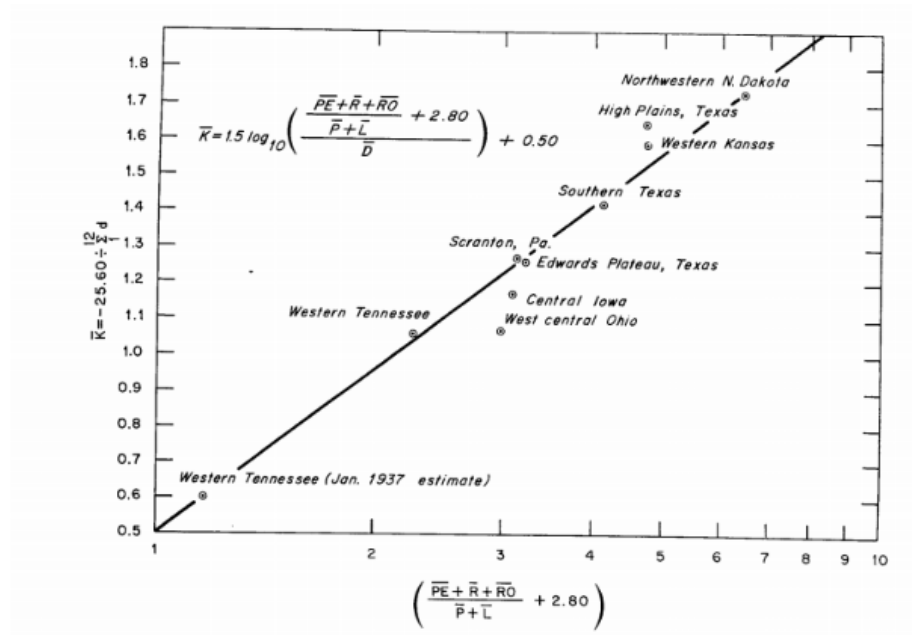
$$k = \frac{\overline{PE} + \bar{R}}{\bar{P} + \bar{L}} \quad (16)$$

Essa equação, entretanto, se mostrou ineficiente em verificar períodos anormalmente secos e úmidos em alguns postos, o que levou Palmer buscar alternativas que resultassem em dados de índice mais coerentes. Utilizando a equação que encontrou como primeira aproximação de X (Equação 17), Palmer determinou qual o somatório de Z de uma extrema seca num período de 12 meses. Considerando $X = -4$ e $t = 12$ meses, o valor encontrado foi $\Sigma Z = -25,6$.

$$Xi = \frac{\sum_1^i zt}{(0,309t + 2,691)} \quad (17)$$

Com esse valor em mãos, Palmer procurou, para cada um dos postos em análise, o mais seco e o segundo mais seco período de 12 meses, tirou a média da soma de valores de d dessas duas situações, e gerou o gráfico mostrado abaixo.

Figura 8 - Regressão Linear para obtenção da equação do K'.



Fonte: Palmer, 1965.

Palmer, empiricamente, chegou a Equação 18, fruto do gráfico semi-logarítmico acima, ajustando a mesma a partir de observações sobre as variáveis que influenciariam no valor de K. A equação ajustada é uma ferramenta poderosa, pois foi ajustada a partir de valores médios para períodos de um ano e estimativas, mas é utilizada para calcular o fator de ponderação para o somatório de cada um dos doze meses de cada posto.

$$K' = 1,5 * \log \left(\frac{\frac{PE + R + RO}{P + L} + 2,80}{D} \right) + 0,50 \quad (18)$$

Observou-se, entretanto, que o valor de K' resultava em valores de soma de DK' para os doze meses notavelmente diferentes, o que não devia ocorrer. Palmer alega indicar que os valores de D estão com mais peso em alguns postos que em outros. Para resolver esse problema, é necessário corrigir novamente os valores de K', o que é feito encontrando a média da soma dos valores anuais de DK', para todos os postos de análise. Foi encontrado o valor de 17,67.

Palmer supôs que se todos os fatores de ponderação forem ajustados por 17,67, as análises de seca seriam mais comparáveis. Isso resulta na Equação 19 mostrada abaixo, que se tornou a equação final para o fator de ponderação.

$$K = \frac{17,67}{\sum_1^{12} DK'} K' \quad (19)$$

Na literatura é possível encontrar pesquisadores brasileiros que adaptaram o método, por exemplo, para as regiões de São Paulo, Paraíba e Ceará (AZEVEDO & SILVA, 1994; BARRA *et al.*, 2002 e BLAIN, 2005; LIMEIRA *et al.*, 2007), encontrando um DK' médio apropriado para suas regiões e utilizando as equações já encontradas.

É crucial a adaptação do K quando utilizado o método em uma localidade diferente da que Palmer usou como base, porque o mesmo leva em consideração as características e dados regionais, como as variáveis do balanço hídrico de cada posto. Dessa forma, é coerente supor que, para condições climáticas diferentes, o valor de K utilizado também será diferente.

3.2.6 Cálculo do índice de anomalia de umidade (“Z”)

O índice de anomalia de umidade é uma variável criada por Palmer para representar os valores de anomalia de precipitação mensal devidamente ponderados pelo valor de K, e é obtido a partir da Equação 4.

3.2.7 Determinação da equação do PDSI

A equação do PDSI fornece o índice (X) que vai definir a severidade de uma seca em uma dada região. A equação final encontrada por Palmer é da forma

$$Xi = Xi - 1 + \frac{Zi}{3} - 0,103 * Xi - 1 \quad (20)$$

Onde:

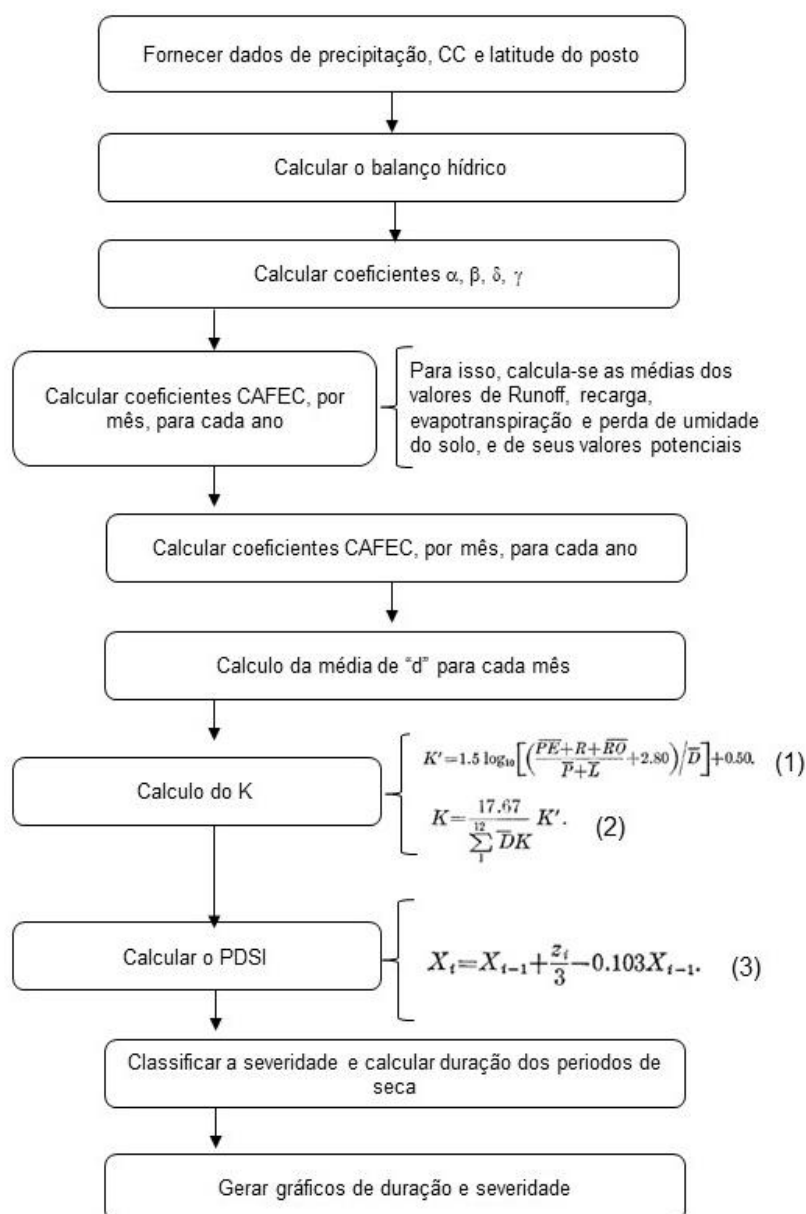
Xi: Índice de severidade de seca (PDSI) do mês desejado;

X_{i-1} : Índice de severidade de seca (PDSI) do mês anterior;

Z_i : Índice de anomalia de umidade no mês desejado;

A metodologia utilizada por Palmer pode ser resumida no fluxograma mostrado na Figura 9 a seguir:

Figura 9 - Fluxograma do método de Palmer original.



Fonte: As Autoras, 2019.

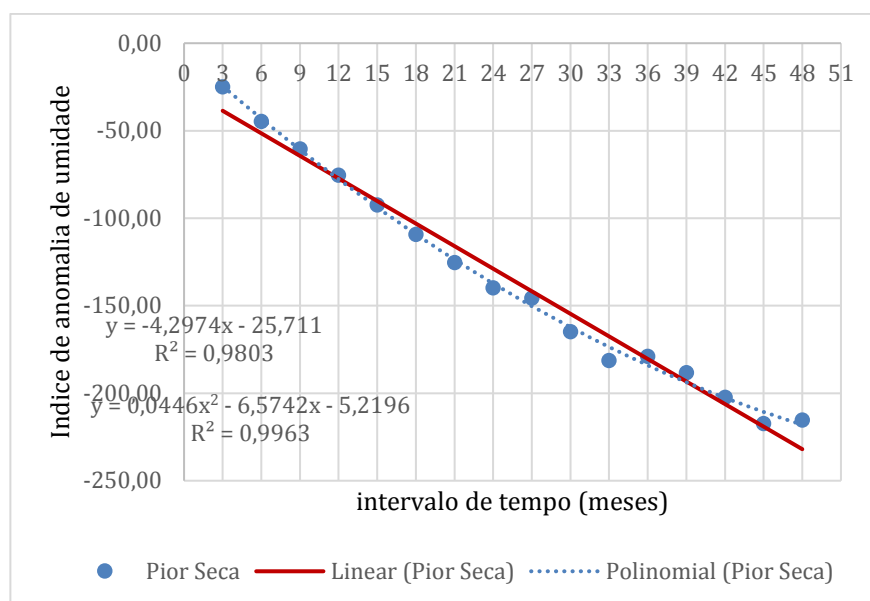
3.2.8 Adaptação do método de Palmer para a bacia do Brígida

O Índice de Severidade de Seca de Palmer (ISSP) foi criado a partir de dados fornecidos por postos em regiões dos Estados Unidos, com suas particularidades climáticas. Neste trabalho, portanto, buscou-se uma adaptação do método que melhor representasse a realidade da bacia do rio Brígida. A metodologia aplicada será descrita a seguir.

3.2.8.1 Definição dos piores valores de z

Para obter a equação do PDSI, Palmer primeiro utilizou os períodos de piores secas para obter a equação do somatório de z , o que também foi realizado por Blain (2005) ao adaptar o método. É importante ressaltar que o “ z ” refere-se a primeira aproximação do índice de anomalia de umidade e que, conforme o valor de K vai sendo melhor estimado, “ z ” se transforma em “ Z ”, o índice de anomalia de umidade propriamente dito. Assim, também realizado nesse trabalho, foram calculados os piores valores de z (índice de anomalia de umidade) em cada posto. Foram utilizados intervalos de 3, 6, 9, 12, ..., até 48 meses. A partir desses valores, foi escolhido o pior somatório de z para cada um dos intervalos de tempo dentre os 38 postos, e assim obteve-se os dados que resultaram no gráfico mostrado abaixo, relacionando os somatórios dos piores valores de z com os intervalos de tempo definidos. Os pontos foram aproximados por um ajuste linear, que gerou a equação da reta a seguir:

$$\sum z = -4,297360 * t - 25,711038 \quad (21)$$

Figura 10 - Gráfico de piores secas (Σz) para diversos períodos de tempo.

Fonte: As Autoras, 2019.

3.2.8.2 Definição dos novos intervalos de seca

Também utilizando os valores dos somatórios de z , foram estimados novos intervalos de intensidade das secas. Palmer, originalmente, definiu o valor de -4 como o limite onde começaria a chamada seca extrema, escolhendo o valor de acordo com os dados dos 9 postos nos quais embasou sua pesquisa. Para os dados da bacia do Brígida, entretanto, foi proposto que o valor de -6 definiria melhor as situações de seca extrema, utilizando como critério de escolha a frequência de valores do índice de severidade de seca, a ser comentado mais a frente, dividindo os intervalos de forma que a porcentagem da frequência de cada tipo de seca ficasse aproximadamente similar, conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4 - Distribuição dos valores por intervalo de PDSI

Intervalos	Frequência	%
0.00 a -1.49	2557	16.10%
-1.50 a -2.99	3066	19.31%
-3.00 a -4.49	3237	20.39%
-4.50 a -5.99	3173	19.98%
≤ -6.00	3846	24.22%
	15879	100.00%

Fonte: As Autoras (2019).

3.2.8.3 Determinação da nova equação do PDSI

Considerando o valor de -6 como o limite para seca extrema, foi possível encontrar uma primeira aproximação para a equação de severidade de seca. Fazendo uma análise do gráfico das piores secas, constatou-se que os pontos referentes a $t = 12$ e $t = 36$ meses eram bem representados pelo ajuste linear, e, portanto, foram os pontos utilizados para criar um sistema que resultasse nos coeficientes a e b da equação desejada, mostrada abaixo:

$$Xi = \sum_{t=1}^i zi / (0,7162 * t + 4,2852) \quad (22)$$

Como foi dito, a Equação 22 é a primeira aproximação de uma forma de quantificar a seca. Palmer afirma, entretanto, que a equação precisaria de uma constante “ c ” para evitar que, por exemplo, um mês anormalmente úmido reflita nos valores de Σz por tempo demais, mascarando a seriedade de uma seca futura.

Para encontrar o valor de “ c ” relativo a equação X , inicialmente considerou-se a contribuição individual de cada mês, considerando $i = 1$ e $t = 1$, chegando a equação

$$X1 = z1/5,0014 \quad (23)$$

Palmer (1965) sugere que a equação, incluindo a constante, deve ser da seguinte forma:

$$\Delta X = \frac{z1}{5,0014} + c * Xi - 1 \quad (24)$$

Considerando Xi como uma diferença entre o valor do mês anterior de X e o valor do mês atual ($Xi = \Delta X$), Palmer argumenta que a condição de contorno na qual estamos interessados é a que mantém uma dada seca com a mesma severidade, ou seja, considerando $\Delta X = 0$, como se comportarão as outras variáveis da Equação 24.

Foi criada a Tabela 5, assim como feito por Palmer.

Tabela 5 – Ajuste do valor de “c” na equação do PDSI

T_{i-1}	X_{i-1}	Σz_{i-1}	ΔX_i	T_i	X_i	Σz_i	Δz_i
1	-1	-5.0014	0	2	-1	-5.7176	-0.7162
9	-1	-10.7312	0	10	-1	-11.4474	-0.7162
1	-3	-15.0042	0	2	-3	-17.1529	-2.1487
9	-3	-32.1936	0	10	-3	-34.3423	-2.1487

Fonte: As Autores, 2019.

Inicialmente, foi possível encontrar o valor de z para cada um dos dois meses subsequentes arbitrados, considerando que não haveria nenhuma alteração na severidade da seca ($\Delta X = 0$). A partir desses dois valores, foi possível encontrar $\Delta z = \Sigma z_i - \Sigma z_{i-1}$, que é o valor usado na Equação 24 para calcular o c.

O valor de c encontrado para os dados da bacia do Brígida, após manipulações algébricas necessárias, foi de -0,14321, resultando na equação final:

$$X_i = X_{i-1} + \frac{z_i}{5,0014} - 0,14321 * X_{i-1} \quad (25)$$

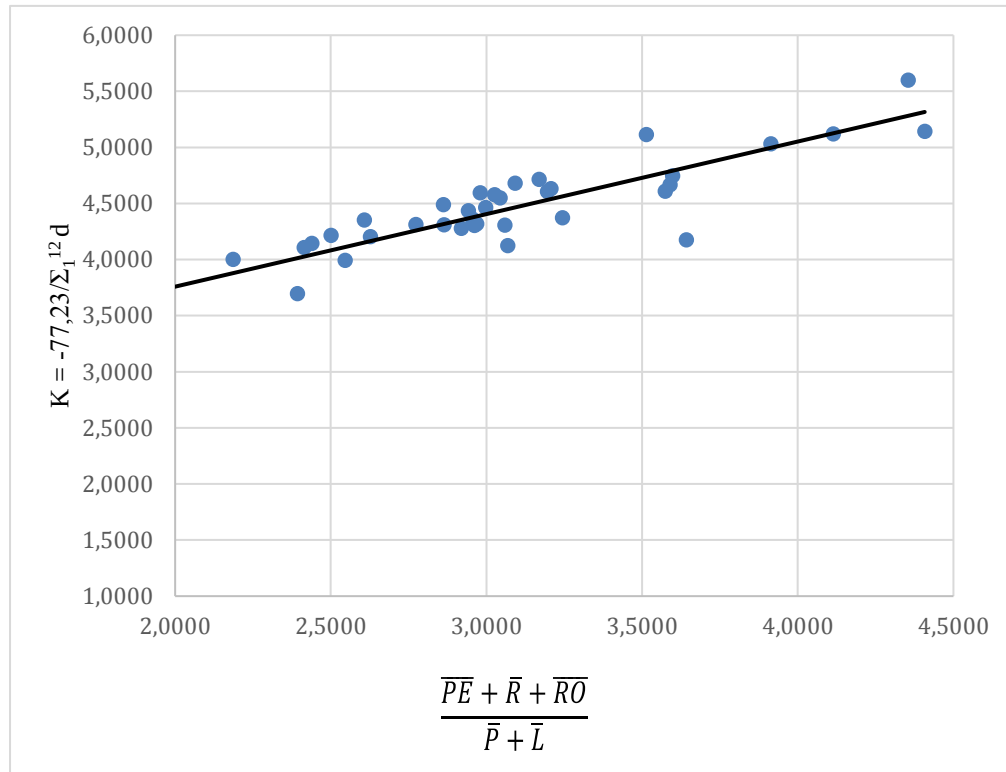
Esta é a equação final para o PDSI, adaptada para os valores da bacia do Brígida.

3.2.8.4 Determinação da nova equação do K

Foi observado por Palmer que o primeiro valor suposto para k mostrava resultados que não condiziam com a realidade de alguns postos avaliados. Dessa forma, foi necessário pensar em uma outra metodologia para definir valores para o fator de ponderação regional. No presente trabalho, foi utilizada a mesma ideia do artigo original de Palmer, encontrando uma equação a partir dos pontos plotados em um gráfico constando, nas abscissas, uma relação entre as variáveis do balanço hídrico $((PE + R + RO)/(P + L))$; optou-se por não considerar o valor de 2,80 somado ao balanço hídrico, o que foi feito por Palmer, por não haver no artigo uma justificativa para a utilização do mesmo), e nas ordenadas, uma relação entre o valor do pior somatório de z para o período de doze meses ($\Sigma z_{12} = -77,23$) e os piores somatórios

de d, também para o período de 12 meses, para cada um dos 38 postos, gerando o gráfico mostrado abaixo na Figura 11.

Figura 11 - Gráfico do ajuste linear para K.



Fonte: As Autoras (2019).

A partir da Figura 11, utilizou-se o ajuste linear para os pontos plotados, o que gerou a Equação 26 a seguir.

$$K' = 0,646724 * \left(\frac{\frac{\overline{PE} + \overline{R} + \overline{RO}}{\overline{P} + \overline{L}}}{\overline{D}} \right) + 2,465293 \quad (26)$$

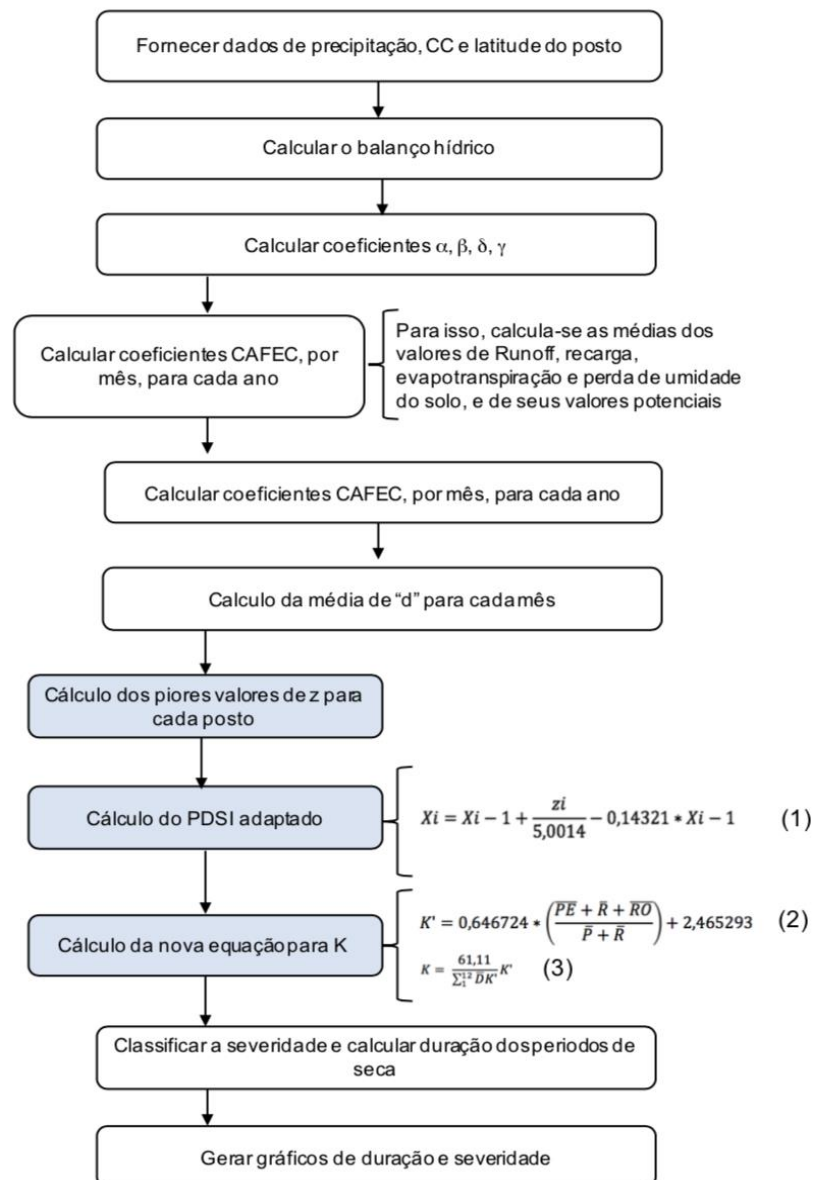
Essa equação foi considerada a nova equação do fator de ponderação regional, a segunda estimativa de K.

A partir dessa equação, foi possível calcular o DK' médio dos 38 postos, conforme demonstrado no Apêndice 3, que resultou no valor médio da constante da equação final do K. A metodologia aplicada chegou no valor de DK' = 61, 11, a constante procurada, o que gerou a equação abaixo para o valor final de K:

$$K = \frac{61,11}{\sum_1^{12} \overline{DK'}} K' \quad (27)$$

A metodologia utilizada no presente trabalho para adaptar o que foi feito por Palmer pode ser resumida no fluxograma mostrado na Figura 12 a seguir:

Figura 12 - Fluxograma do método de Palmer adaptado para os postos da bacia do Brígida.



Fonte: As Autoras, 2019.

3.3 A APLICAÇÃO DO MÉTODO

A Aplicação do método para os 38 postos pluviométricos da Bacia do Brígida foi realizada por meio de planilhas eletrônicas automatizadas por macros, que foram elaboradas por Faeirstein (2018). Por meio destas foram aplicadas duas adaptações para comparação.

A primeira, já utilizada por Faeirstein (2018), utilizando o método de Hargreaves & Christiansen (1973) e o fator DK' de 21,87, utilizado por Limeira et al. no estado da Paraíba, como mostrado na Equação 21.

$$K = 21,87 * \left(\frac{K'}{\sum_{i=1}^{12} DK'} \right) \quad (21)$$

Com esse fator, Faeirstein (2018) observou para Bodocó e Cabrobó reduções nos índices de severidade de seca ao longo do período estudado, e para Ouricuri um aumento pequeno desse índice, com uma quase constância dos valores obtidos. Em questões de duração, para Bodocó e Ouricuri foi observado um aumento da duração das secas ao longo dos anos, já em Cabrobó houve uma diminuição.

A segunda adaptação utiliza as equações 25, 26 e 27 encontradas e um fator DK' de 61,1125 encontradas nesse estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após aplicação do método de Palmer, adaptando o artigo original às especificidades da região estudada, uma análise dos resultados obtidos foi realizada. Os principais pontos de discussão são descritos a seguir.

4.1 DETERMINAÇÃO DO FATOR DE PONDERAÇÃO

Em 1965, Palmer utilizou para encontrar o fator de ponderação nove áreas dos Estados Unidos. O DK' encontrado nesse caso foi de 17,67, porém esse fator é regional, e deve ser recalculado para a área a ser aplicado o método.

O encontro desse fator DK' ocorre pela utilização da Equação 18, que também foi adaptada no presente estudo resultando na equação 26. Assim, foi obtido para 12 meses um valor do Σz de -77,23 para a Bacia do Brígida contra -25,6 obtido por Palmer. Blain (2005), em sua adaptação, utilizou a Equação 18 original de Palmer para obter DK', porém encontrou também um somatório de z , sendo ele de -27,85. Esses valores são obtidos através das regressão feita sobre a Figura 10.

Com base nas críticas realizada ao PDSI, um dos fatores adaptados foi o fator X que designa uma seca extrema. Palmer (1965) obtém esse valor de forma arbitrária, porém sua aplicação na região de estudo se torna inviável já que mais de 40% das secas seria classificada como extrema nesse caso, como é possível avaliar na Tabela 4. Essa avaliação foi feita também baseada na adaptação de Blain (2005) que reduziu o fator para -3 considerando que em suas séries históricas analisadas, apenas uma única seca tinha um valor abaixo de -4.

Essas adaptações resultaram então no fator DK' de 61,11 e nas Equações 25, 26 e 27. A Tabela 6 resume os diferentes DK' obtidos no Brasil.

Tabela 6 – Valores de DK' obtidos em adaptações do PDSI para o Brasil

Palmer (1965)	Balin (2005)	Limeira <i>et al.</i> (2007)	Atual
17,67	22,8	21,87	61,11

Fonte: As Autoras, 2019.

O valor de 61,11 é muito discrepante em relação aos demais fatores, porém isso pode ser justificado pela proporcionalidade deste valor com o do Σz para 12 meses obtido. O valor de 17,67 de Palmer é 33% do valor DK' obtido, porém o Σz para 12 meses de Palmer (-25,6) é 29% de -77,23.

Tabela 7 - Comparação de percentuais entre os valores de Palmer e a atual adaptação.

	Somatório do z	DKmédio	% do z em relação a Palmer	% do DKmédio em relação a Palmer
Palmer	25,6	17,67	33%	29%
Atual	77,2794	61,1125		

Fonte: As Autoras (2019).

Na Figura 10 é também perceptível que a proximidade de ambas as regressões (linear e polinomial) com os dados do gráfico, gera um coeficiente de determinação extremamente favorável e dá a entender que ambas seriam ótimas adaptações. Porém, analisando o erro², ou seja, a diferença entre os valores reais e calculados ao quadrado, para cada uma das regressões temos uma grande discrepância, sendo o erro da equação 21 (linear) 81,34% maior que a equação polinomial referente aos mesmos dados, como demonstrado no Apêndice 2. Este erro pode ter resultado na diferença das relações na Tabela 7: de 4% entre a relação do Σz e o DKmédio. Torna-se, então, interessante a adaptação dessa equação como polinomial. No entanto, para isso seria também necessário encontrar uma adaptação linear para a constante c, o que não foi possível realizar ao longo deste estudo, foi então mantida a utilização da regressão linear.

Obtendo-se essa adaptação, pode-se recomendar, como já citado, um melhoramento dela adaptando equação das piores secas (Σz), ou a equação 21, para uma equação polinomial, o que diminuiria o erro dos dados da equação para os reais.

4.2 COMPARAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DA EQUAÇÃO DE PALMER E A EQUAÇÃO ADAPTADA

Em um resumo geral, pelo método original adaptado por Faeirstein (2018), para os 38 postos estudados, foram obtidos um total de 1105 períodos de seca, sendo em

média 29 por posto e com duração média de 11,2 meses. É importante ressaltar também que nesta primeira etapa foi utilizado $X \leq -4$ para designar uma seca extrema, o que resultou em 18% dos períodos sendo de seca extrema, 15% de seca severa, 28% de seca moderada e os demais 39% de seca leve.

A partir dos resultados pode-se também analisar as tendências em relação a duração e severidade dos períodos de seca. Apenas para um dos 38 postos, localizado em Ipubi, a tendência é de a duração diminuir e em todos os demais a tendência é contrária. Já em relação a severidade da seca, para 15 dos 38 postos a tendência é de redução do índice de Palmer. Pelo método adaptado o total de secas é de 1182 e uma média de aproximadamente 31 secas por posto, com duração média de 10,45 meses. Por esse método também se alteram as quantidades de cada modalidade de seca, com 15% das secas sendo extrema, 14% de severa, 31% de seca moderada e os restantes 40% de seca leve. A Tabela 9 resume os resultados obtidos aplicando ambas as adaptações por meio das planilhas eletrônicas.

Tabela 8 – Resultados da aplicação de ambos as adaptações

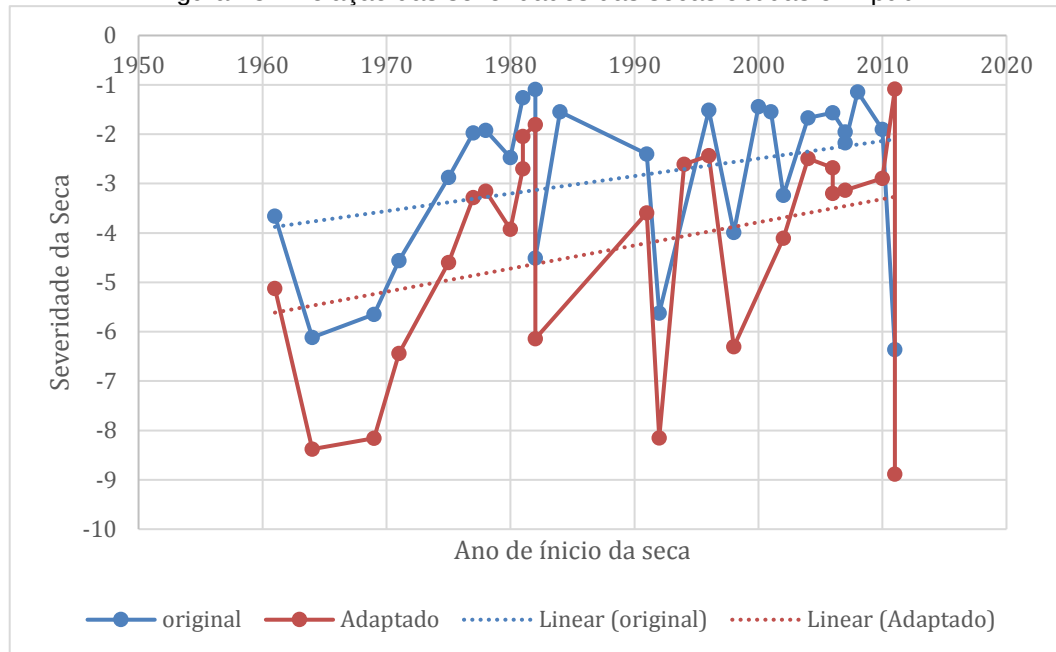
	Método adaptado por Faeirstein (2018)	Adaptação atual
Nº de períodos de seca	1105	1182
Média de secas por posto	29	31
Média da duração das secas	11,2	10,45
% de períodos de seca extrema	18%	15%
% de períodos de seca severa	15%	14%
% de períodos de seca moderada	28%	31%
% de períodos de seca leve	39%	40%

Fonte: As Autoras (2019).

O posto cuja tendência da duração é de diminuir está localizado em Ipubi (740023). Ao analisar mais profundamente este posto, o número de secas diminui de 26 secas para 25, a severidade por mais que aumente, permanece proporcional aos resultados obtidos pela primeira adaptação, de Faeirstein (2018), do mesmo modo a

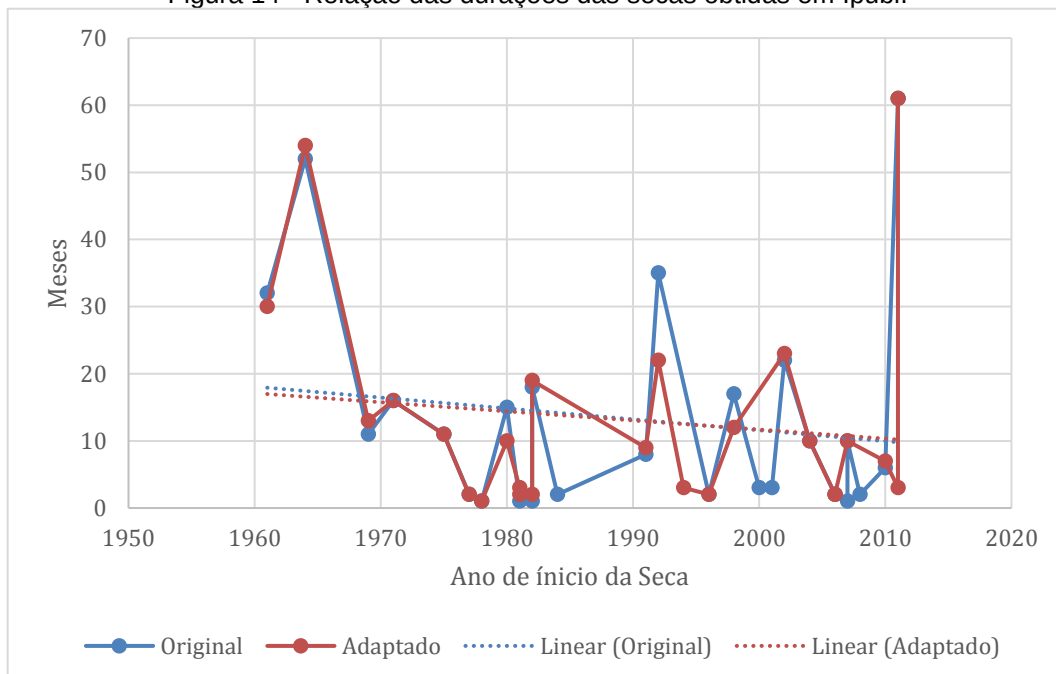
duração permanece proporcional. Esses resultados são mostrados nas Figura 13 e 14.

Figura 13 - Relação das severidades das secas obtidas em Ipubi



Fonte: As Autoras, 2019.

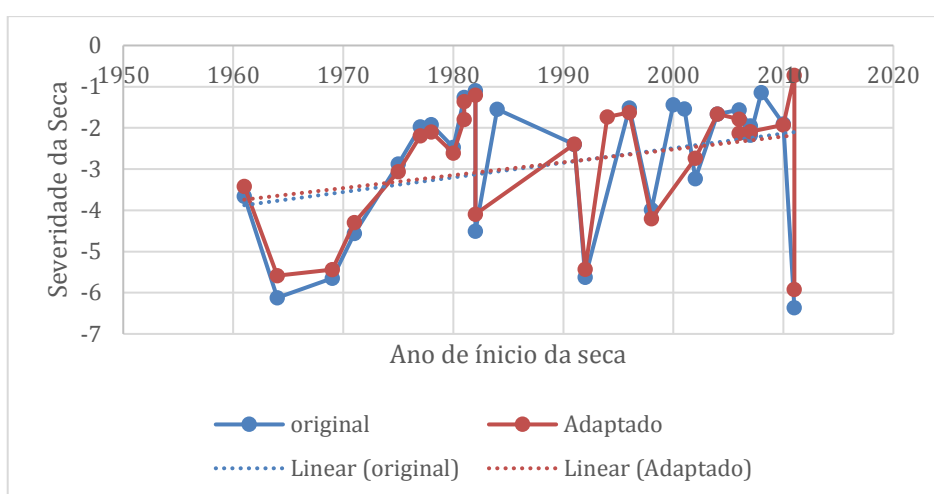
Figura 14 - Relação das durações das secas obtidas em Ipubi.



Fonte: As Autoras, 2019.

Avaliando os diferentes valores de PDSI deste mesmo posto para a seca extrema para cada um dos métodos, obtemos que o método original, cujo X da seca extrema é -4, é 66,67% do valor do X para a adaptação atual (-6). Ao reduzirmos em 66,67% os valores obtidos com a nova adaptação, obtemos o gráfico da Figura 15, com linhas de tendência praticamente sobrepostas.

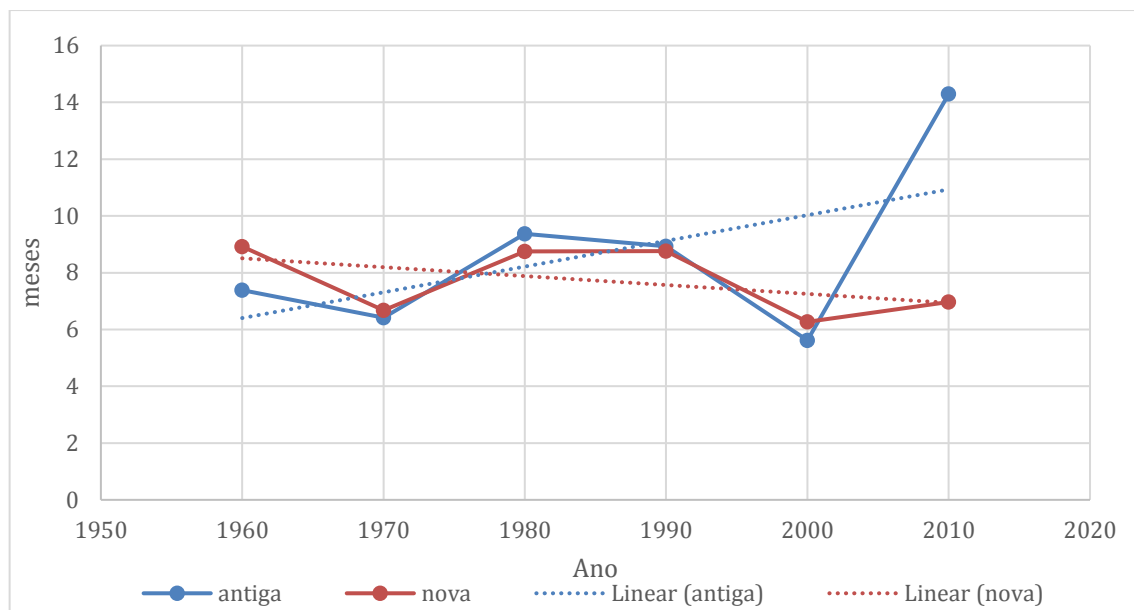
Figura 15 - Comparação dos resultados do PDSI original e da adaptação realizada no atual estudo reduzida em 66,67%.



Fonte: As Autoras, 2019.

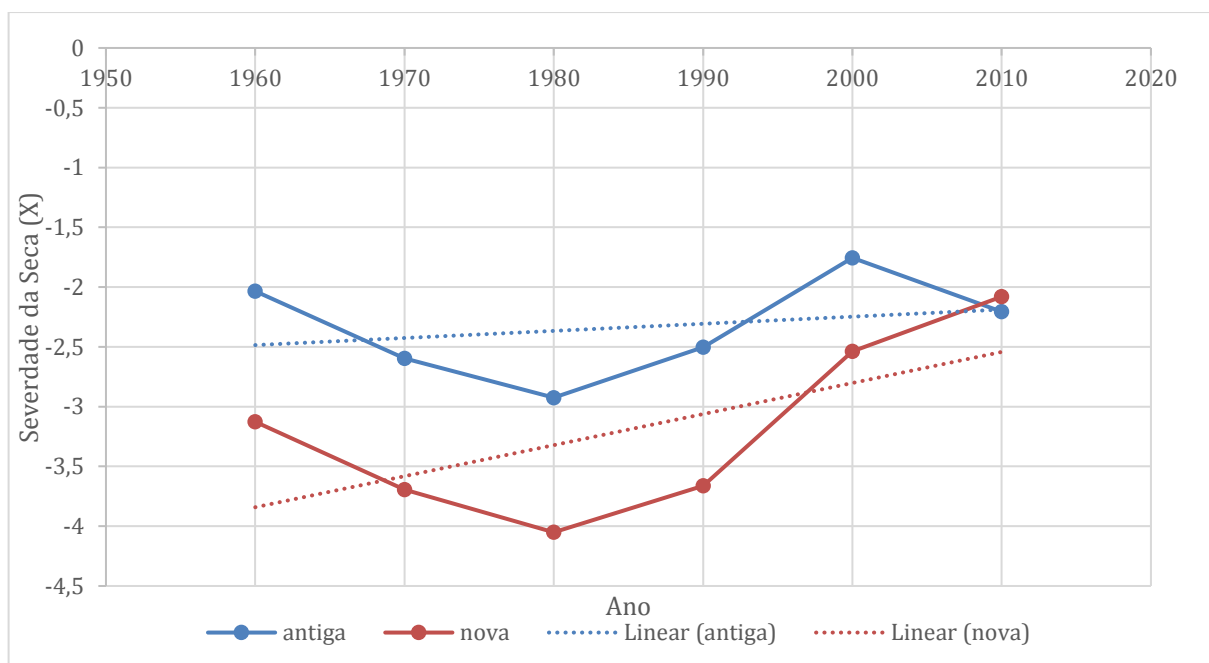
As Figuras 16 e 17 a seguir, demonstram uma relação geral dos resultados médios do PDSI por década em relação à severidade e a duração.

Figura 16 - Médias de durações por década pela adaptação de Faeirstein (2018) e a atual adaptação.



Fonte: As Autoras, 2019.

Figura 17 - Médias de severidades por década pela adaptação de Faeirstein (2018) e a atual adaptação.



Fonte: As Autoras, 2019.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir da adaptação realizada para o índice de severidade de seca de Palmer para a região da bacia do Brígida, foi possível analisar a tendência geral que segue o fenômeno da seca para as séries de dados existentes. Os resultados sugerem um aumento da severidade das secas ao longo dos anos, embora haja uma redução na duração média das mesmas.

As adaptações do fator de ponderação regional, da equação do PDSI e a utilização do método de Hargreaves & Christiansen (1973) para cálculo do balanço hídrico, realizadas no presente trabalho, sugerem, devido aos resultados proporcionais ao que propõe Palmer (1965) no artigo original, uma nova abordagem no que pode ser considerado esperado para os resultados de uma região do Nordeste.

É recomendada a adaptação da equação das piores secas (equação 21) para a linha de tendência polinomial, pois, como podemos observar no Apêndice 2, a mesma se ajusta aos dados do gráfico com um erro, em comparação ao ajuste linear, 81,34% menor. Na realização deste trabalho, não foi possível encontrar uma equação para as piores secas, na forma polinomial, que permitisse calcular o método de Palmer, entretanto, é possível notar que, caso uma outra abordagem seja adotada para o cálculo do PDSI (abordagem essa que inclua a utilização da equação polinomial), pode ser possível chegar a resultados de índice mais precisos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Sistema de Informações Hidrológicas - HIDROWEB**. Brasília. 2017. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acesso em: 01 fev. 2017.

ALLEN R.G.; PEREIRA.L.S.; RAES D.; SMITH M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements** - FAO Irrigation and drainage paper, p. 56, Rome, 1998.

ALLEY, W.M. The Palmer drought severity index: limitations and assumptions. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, Boston, v. 23, p. 1100-1366. 1984.

AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY. **Meteorological drought: Policy statement**. Bull. Am. Meteorol. So. 78 p.847-849, 1997. [S.I.].

AZEVEDO, P.V., SILVA, V.P.R. Índice de seca para a microrregião do agreste da Borborema, no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 9, n. 1, p. 66-72, 1994.

AZEVEDO, J. R. G. (Organizador). **Hidrometria aplicada à gestão dos recursos hídricos**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2010. 482p.

AZEVEDO, J. R. G. **Software para Preenchimento de falhas**. Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2017.

BARRA, T. S.; COSTA, J.M.N.; RAO, T.V.R; SEDIYAMA, G.C.; FERREIRA, W.P.M; NETO, F.S.D. Caracterização climatológica da severidade de secas do Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.266-272. 2002. [S.I.].

BEÇA, Lucas Maciel Maia. **Elaboração de uma planilha eletrônica para avaliação do índice de severidade de Herbst**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2018.

BLAIN G. C. **Avaliação e adaptação do índice de severidade de seca de Palmer (PDSI) e do índice padronizado de precipitação (SPI) às condições climáticas do Estado de São Paulo**. 2005. 133 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo de Campinas, São Paulo. 2005.

EMBRAPA. **Base de dados (Clima)**. [S.I.]. Disponível em: <<https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>>. Acesso em: 04 jul. 2019.

FAEIRSTEIN, G. V. M. **Avaliação do índice de severidade de seca de Palmer (PDSI) através de planilha eletrônica**. Trabalho de Conclusão de Curso

(Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A.B.; PAZ, R.L.; AMORIM, A. O.; CARDOSO, A. S.; **Índices para a Quantificação da Seca**. 48 p. Santo Antônio de Goiás. Embrapa Arroz e Feijão. 2009.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A.B.; PAZ, R.L.; AMORIM, A. O. Desempenho de índices quantitativos de seca na estimativa da produtividade de arroz de terras altas. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 45, n. 8, p. 771-779. 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Normas de apresentação tabular**. 3. ed. Rio de Janeiro. 1999.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP)**. Brasília: INMET, 2017. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 04 dez. 2017.

LIMEIRA, R.C.; AZEVEDO, P. V.; BEZERRA, W. A.; ALMEIDA, M. V.; MENEZES, H. E. A. Aplicação do Índice de Severidade de Seca de Palmer para o Estado da Paraíba. **Revista Fafibe On-line**, v.3, 2007. p. 1-6. Disponível em: <http://www.unifafibe.com.br/revistasonline/arquivos/revistafafibeonline/sumario/11/19042010140747.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2017.

PALMER, W. C. **Meteorological drought. Research Paper**, n. 45, p. 1-65. Washington D.C. 1965.

SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE – SECTMA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco** – PERH-PE. Recife: SECTMA, 1998.

SILVA, F. J. B. C. da. **Estimativa de cenários de seca e aridez a partir de análise hidrológica e de sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do rio Brígida - PE**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2017.

Studart, T. **Apostila da disciplina de hidrologia aplicada**. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2006.

WELLS, N. GODDARD, S. HAYES M. J. A self-calibration Palmer Drought Index. **Journal of Climatology**. v. 17. n.12. p. 2335-2351. 2004 [S.I.].

WILHITE, D. A. Government response to drought in the United States: with particular reference to the Great Plains. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v. 22, p. 40-50, 1982. [S.I.].

WILHITE, D. A.; GLANTZ, M.H. Understanding the drought phenomenon: The role definitions. In: WILHITE et al. **Planning for drought toward a reduction of societal vulnerability**. Westview. 1987.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION: **International Meteorological Vocabulary**. 2d, WMO n. 182, WMO, 784p. 1992. [S.I.].

APÊNDICE A – ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS

Codigo_PL U	Nome	Município	Tipo_de_Co
740013	ARARIPINA (SÃO GONÇALO)	ARARIPINA	CONVENCIONAL
740020	NASCENTE (OLHO D'ÁGUA)	ARARIPINA	CONVENCIONAL
739021	BODOCÓ	BODOCÓ	CONVENCIONAL
740017	FEITORIA (SÃO FÉLIX)	BODOCÓ	CONVENCIONAL
739030	SÍTIO ESTACA	BODOCÓ	CONVENCIONAL
839007	FAZENDA MACAMBIRA	CABROBÓ	CONVENCIONAL
739032	TIMORANTE (BAIXIO)	EXÚ	CONVENCIONAL
739033	VIRAÇÃO (CANA BRAVA)	EXÚ	CONVENCIONAL
739025	GRANITO	GRANITO	CONVENCIONAL
739034	FAZENDA COLINAS	GRANITO	CONVENCIONAL
740018	IPUBI	IPUBI	CONVENCIONAL
740023	SERRA BRANCA	IPUBI	CONVENCIONAL
739029	SÍTIO DOS MOREIRAS	MOREILÂNDIA	CONVENCIONAL
839034	FAZENDA TAPERA	OROCÓ	CONVENCIONAL / TELEMÉTRICA
839011	OROCÓ	OROCÓ	CONVENCIONAL
839047	BOM JESUS AÇUDE ENGENHEIRO	OROCÓ	CONVENCIONAL
740015	CAMACHO BARRA DE SÃO PEDRO (MANACA)	OURICURI	CONVENCIONAL
740016		OURICURI	CONVENCIONAL
740029	OURICURI SANTA CRUZ (CRUZ DE MALTA)	OURICURI	CONVENCIONAL
840019		OURICURI	CONVENCIONAL
840021	SANTA FILOMENA (MUNDURI)	OURICURI	CONVENCIONAL
740021	OURICURI	OURICURI	CONVENCIONAL
840004	BEZERRO	OURICURI	CONVENCIONAL
840011	JACARÉ	OURICURI	CONVENCIONAL
840024	VARGINHA	OURICURI	CONVENCIONAL
839009	JACARÉ	PARNAMIRIM	CONVENCIONAL / TELEMÉTRICA
839013	PARNAMIRIM	PARNAMIRIM	CONVENCIONAL / TELEMÉTRICA
839014	POÇO DO FUMO	PARNAMIRIM	CONVENCIONAL
839001	AÇUDE ABOBORAS	PARNAMIRIM	CONVENCIONAL
839008	ICAÍÇARA (POÇO CERCADO)	PARNAMIRIM	CONVENCIONAL
840016	MATIAS	PARNAMIRIM	CONVENCIONAL
839015	FAZENDA RODRIGUES	SANTA MARIA DA BOA VISTA	CONVENCIONAL
839000	ALGODOEIRO	SANTA MARIA DA BOA VISTA	CONVENCIONAL
839023	URIMAMA	SANTA MARIA DA BOA VISTA	CONVENCIONAL

739028	SERRITA (SERRINHA)	SERRITA	CONVENCIONAL
739026	IPUEIRA	SERRITA	CONVENCIONAL
739031	SANTA ROSA	SERRITA	CONVENCIONAL
740025	TRINDADE (ESPÍRITO SANTO)	TRINDADE	CONVENCIONAL

APÊNDICE B – DIFERENÇA DO ERRO GERADO PELA UTILIZAÇÃO DE UMA REGRESSÃO LINEAR E POLINOMIAL PARA A EQUAÇÃO DAS PIORES SECAS

Num Meses	Hist	Valor Linear	Valor Polinomia I	Erro ² Linear	Erro ² Polinomia I
3	-24,83	-38,60	-24,54	189,66	0,08
6	-44,61	-51,50	-43,06	47,41	2,41
9	-60,34	-64,39	-60,77	16,42	0,19
12	-75,35	-77,28	-77,68	3,71	5,42
15	-92,24	-90,17	-93,79	4,30	2,38
18	-109,22	-103,06	-109,09	37,94	0,02
21	-125,30	-115,96	-123,59	87,33	2,93
24	-139,63	-128,85	-137,29	116,25	5,50
27	-145,55	-141,74	-150,18	14,53	21,39
30	-164,66	-154,63	-162,27	100,61	5,75
33	-181,16	-167,52	-173,55	185,93	57,90
36	-178,92	-180,42	-184,03	2,25	26,16
39	-188,25	-193,31	-193,71	25,58	29,80
42	-202,15	-206,20	-202,58	16,37	0,18
45	-217,29	-219,09	-210,65	3,25	44,03
48	-215,18	-231,98	-217,92	282,22	7,48
			SOMA =	1133,74	211,61
				Δ Erro =	81,34%

APÊNDICE C – CÁLCULO DO FATOR K

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Posto	D barra	1.7481	1.5324	2.1069	1.7798	1.1214	0.3510	0.3230	0.0964	0.1778	0.2786	0.7085	1.4698	61.7622
839000	K'	4.0353	4.2562	3.7679	4.0074	4.9126	10.2838	10.9633	30.9486	17.9035	12.3167	6.3388	4.3325	
	Db * K'	7.0540	6.5224	7.9386	7.1321	5.5091	3.6099	3.5407	2.9820	3.1828	3.4313	4.4912	6.3680	
	K	3.9928	4.2115	3.7283	3.9652	4.8609	10.1756	10.8480	30.6231	17.7152	12.1871	6.2721	4.2870	
Posto	D barra	2.0967	1.8276	2.1662	2.0874	1.3527	0.4455	0.3056	0.1169	0.1717	0.5429	0.9047	1.6332	59.7448
740021		3.5023	3.6550	3.4690	3.5069	4.0726	7.3462	9.5810	21.0687	15.1273	6.4701	4.8684	3.7966	
	Db * K'	7.3432	6.6798	7.5146	7.3202	5.5090	3.2724	2.9275	2.4624	2.5976	3.5127	4.4047	6.2005	
	K	3.5824	3.7386	3.5484	3.5872	4.1659	7.5144	9.8004	21.5510	15.4736	6.6182	4.9799	3.8835	
Posto	D barra	1.8743	1.9350	2.3942	2.2040	1.3061	0.5132	0.4202	0.1246	0.1488	0.4461	0.9344	1.4972	60.5025
739028	K'	3.6429	3.6059	3.3872	3.4667	4.1552	6.7657	7.7184	20.1801	17.3000	7.4130	4.8275	3.9395	
	Db * K'	6.8278	6.9776	8.1097	7.6407	5.4271	3.4725	3.2430	2.5143	2.5740	3.3070	4.5107	5.8981	
	K	3.6796	3.6423	3.4213	3.5017	4.1971	6.8339	7.7962	20.3836	17.4744	7.4878	4.8761	3.9793	
Posto	D barra	2.0938	2.1344	2.0881	2.1723	1.4814	0.7536	0.5417	0.1693	0.1961	0.5729	1.0048	1.7159	60.3295
739029	K'	3.4021	3.3842	3.4046	3.3682	3.7893	5.0682	6.0861	14.0516	12.4670	5.8888	4.4174	3.6084	
	Db * K'	7.1233	7.2234	7.1092	7.3167	5.6135	3.8191	3.2969	2.3787	2.4449	3.3738	4.4385	6.1916	
	K	3.4462	3.4282	3.4488	3.4119	3.8385	5.1339	6.1651	14.2340	12.6288	5.9653	4.4747	3.6552	
Posto	D barra	2.1473	1.7640	2.2922	2.2405	1.3340	0.5326	0.3480	0.1674	0.1904	0.5029	1.0049	1.8191	58.9809
740013	K'	3.3819	3.5811	3.3240	3.3438	3.9408	6.1606	8.1213	14.2266	12.8007	6.3791	4.4239	3.5473	
	Db * K'	7.2621	6.3171	7.6194	7.4919	5.2570	3.2815	2.8263	2.3809	2.4378	3.2082	4.4458	6.4530	
	K	3.5042	3.7105	3.4441	3.4646	4.0832	6.3833	8.4148	14.7407	13.2633	6.6096	4.5838	3.6755	
Posto	D barra	2.1517	2.1040	2.2708	2.1961	1.5723	0.7217	0.6511	0.2434	0.2316	0.6304	1.2225	1.6500	63.0029
740016	K'	3.4115	3.4330	3.3619	3.3924	3.7602	5.2866	5.5924	10.8316	11.2572	5.6951	4.1307	3.6992	
	Db * K'	7.3405	7.2231	7.6341	7.4500	5.9123	3.8151	3.6411	2.6360	2.6069	3.5901	5.0499	6.1038	
	K	3.3092	3.3300	3.2610	3.2906	3.6474	5.1279	5.4246	10.5066	10.9194	5.5243	4.0068	3.5882	
Posto	D barra	2.3225	2.1189	2.1797	2.2712	1.7222	0.8747	0.4614	0.1953	0.3191	0.5830	1.0460	1.8228	59.1962
740017	K'	3.1813	3.2502	3.2283	3.1975	3.4309	4.3666	6.0695	10.9786	7.6768	5.3176	4.0552	3.3776	
	Db * K'	7.3887	6.8867	7.0366	7.2623	5.9088	3.8193	2.8006	2.1446	2.4497	3.1004	4.2417	6.1568	
	K	3.2843	3.3554	3.3328	3.3010	3.5420	4.5080	6.2660	11.3340	7.9253	5.4898	4.1865	3.4870	
Posto	D barra	1.9736	1.6618	2.5303	1.9172	1.2278	0.4435	0.3484	0.1222	0.1818	0.4464	1.1126	1.6985	61.6840
840021	K'	3.6475	3.8693	3.3874	3.6823	4.3657	7.7267	9.1619	21.5510	15.3005	7.6920	4.5624	3.8390	
	Db * K'	7.1987	6.4300	8.5711	7.0596	5.3600	3.4264	3.1921	2.6346	2.7813	3.4337	5.0760	6.5204	
	K	3.6137	3.8335	3.3560	3.6482	4.3252	7.6551	9.0770	21.3513	15.1588	7.6207	4.5201	3.8034	
Posto	D barra	1.7277	1.5942	2.1521	1.8717	1.0578	0.3378	0.2163	0.0833	0.1378	0.3955	0.6799	1.3050	59.2468
839015	K'	3.9485	4.0727	3.6560	3.8343	4.8877	10.0508	14.3118	33.2204	21.0605	8.9445	6.2342	4.4288	
	Db * K'	6.8218	6.4926	7.8681	7.1769	5.1703	3.3953	3.0958	2.7679	2.9022	3.5375	4.2387	5.7798	

	K	4.0728	4.2010	3.7711	3.9551	5.0416	10.3673	14.7625	34.2665	21.7237	9.2261	6.4305	4.5683	
Posto	D barra	1.8951	1.5412	2.2196	1.8231	1.0171	0.5726	0.3063	0.1696	0.1656	0.5700	1.0437	1.6174	61.8128
840019	K'	3.7805	4.0825	3.5882	3.8324	4.9157	6.8183	10.6027	17.1649	17.5146	6.8376	4.8532	4.0063	
	Db * K'	7.1643	6.2919	7.9644	6.9870	4.9999	3.9039	3.2475	2.9104	2.9007	3.8977	5.0655	6.4796	
	K	3.7377	4.0362	3.5475	3.7890	4.8600	6.7411	10.4825	16.9705	17.3162	6.7601	4.7982	3.9609	
Posto	D barra	2.0554	1.8612	2.2971	2.2359	1.2355	0.3981	0.3201	0.1359	0.1425	0.5320	1.1014	1.6634	61.0550
740015	K'	3.5435	3.6560	3.4300	3.4564	4.2590	8.0317	9.3887	18.7749	18.0125	6.6308	4.4775	3.7976	
	Db * K'	7.2832	6.8045	7.8792	7.7284	5.2620	3.1976	3.0053	2.5511	2.5675	3.5277	4.9313	6.3170	
	K	3.5468	3.6594	3.4333	3.4597	4.2630	8.0393	9.3976	18.7926	18.0295	6.6370	4.4817	3.8011	
Posto	D barra	2.0193	1.9616	2.2060	1.9836	1.3508	0.5010	0.3715	0.1618	0.1730	0.5416	1.0010	1.6848	60.2313
739021	K'	3.5311	3.5624	3.4409	3.5503	4.0586	6.7606	8.2591	15.7696	14.9078	6.4393	4.6153	3.7427	
	Db * K'	7.1303	6.9882	7.5905	7.0422	5.4823	3.3874	3.0679	2.5510	2.5786	3.4873	4.6199	6.3058	
	K	3.5828	3.6145	3.4913	3.6022	4.1179	6.8595	8.3799	16.0004	15.1259	6.5335	4.6828	3.7974	
Posto	D barra	1.9143	1.7631	2.2257	1.9528	1.3178	0.6268	0.3146	0.0944	0.2278	0.5202	0.8476	1.7756	60.0521
739025	K'	3.6220	3.7212	3.4602	3.5992	4.1456	5.9979	9.5043	25.9298	12.1852	6.7223	5.0778	3.7124	
	Db * K'	6.9336	6.5609	7.7013	7.0286	5.4631	3.7596	2.9899	2.4470	2.7760	3.4967	4.3039	6.5916	
	K	3.6860	3.7869	3.5213	3.6628	4.2188	6.1038	9.6721	26.3877	12.4004	6.8410	5.1675	3.7780	
Posto	D barra	1.9962	2.0660	2.2594	2.0454	1.1558	0.4471	0.2867	0.0948	0.2203	0.5478	0.8559	1.7379	60.3896
739026	K'	3.5750	3.5375	3.4457	3.5483	4.3819	7.4203	10.1906	25.8278	12.5222	6.5094	5.0536	3.7399	
	Db * K'	7.1363	7.3085	7.7853	7.2577	5.0646	3.3174	2.9221	2.4490	2.7582	3.5656	4.3252	6.4997	
	K	3.6178	3.5799	3.4870	3.5908	4.4344	7.5091	10.3126	26.1370	12.6721	6.5873	5.1141	3.7847	
Posto	D barra	1.9936	1.6872	2.0879	2.1213	1.1928	0.4149	0.2619	0.1157	0.2186	0.5397	1.0034	1.6145	60.1508
739030	K'	3.6141	3.8226	3.5622	3.5449	4.3852	7.9852	11.2103	22.2570	12.9400	6.7090	4.7478	3.8837	
	Db * K'	7.2049	6.4497	7.4374	7.5198	5.2309	3.3130	2.9358	2.5754	2.8292	3.6206	4.7637	6.2705	
	K	3.6718	3.8837	3.6191	3.6016	4.4553	8.1129	11.3895	22.6128	13.1469	6.8163	4.8237	3.9458	
Posto	D barra	2.1091	2.2383	2.1821	2.4753	1.4653	0.5446	0.2574	0.1086	0.1008	0.4316	0.8128	1.9019	59.7216
739031	K'	3.4001	3.3462	3.3689	3.2618	3.8109	6.0853	10.1249	20.6198	22.0167	7.0335	4.8910	3.5020	
	Db * K'	7.1711	7.4896	7.3511	8.0739	5.5840	3.3144	2.6062	2.2394	2.2203	3.0357	3.9755	6.6603	
	K	3.4793	3.4241	3.4473	3.3378	3.8996	6.2271	10.3607	21.1000	22.5295	7.1973	5.0049	3.5835	
Posto	D barra	2.1892	1.7606	2.1472	2.0805	1.6379	0.7057	0.4362	0.2071	0.5015	0.6812	1.1465	1.7770	61.2714
739032	K'	3.3646	3.5835	3.3822	3.4116	3.6673	5.2550	6.9783	11.9702	6.3906	5.3556	4.1824	3.5732	
	Db * K'	7.3658	6.3092	7.2623	7.0977	6.0065	3.7085	3.0442	2.4793	3.2052	3.6480	4.7952	6.3495	
	K	3.3558	3.5742	3.3734	3.4027	3.6578	5.2414	6.9602	11.9391	6.3740	5.3417	4.1716	3.5639	
Posto	D barra	2.3072	1.7954	2.3943	1.8895	1.5039	0.8441	0.5114	0.1542	0.2184	0.5074	0.8466	1.6243	60.7861
739033	K'	3.3610	3.6164	3.3285	3.5591	3.8396	4.9137	6.5062	15.8665	11.9274	6.5383	4.9064	3.7377	
	Db * K'	7.7547	6.4929	7.9695	6.7249	5.7742	4.1476	3.3276	2.4469	2.6052	3.3176	4.1539	6.0710	
	K	3.3791	3.6358	3.3463	3.5782	3.8602	4.9401	6.5412	15.9517	11.9915	6.5734	4.9327	3.7577	
Posto	D barra	1.9545	1.9281	2.2375	1.9983	1.1830	0.4092	0.2415	0.1552	0.1823	0.4770	0.8230	1.7042	59.3541
739034	K'	3.5986	3.6141	3.4553	3.5737	4.3377	7.8789	11.6366	16.7408	14.6148	7.1086	5.1568	3.7651	

	Db * K'	7.0336	6.9684	7.7311	7.1416	5.1315	3.2238	2.8105	2.5976	2.6645	3.3911	4.2440	6.4164	
	K	3.7052	3.7212	3.5576	3.6796	4.4662	8.1123	11.9813	17.2367	15.0478	7.3192	5.3096	3.8766	
Posto	D barra	2.7670	2.2654	2.2632	2.2615	1.6586	0.9701	0.6629	0.2247	0.4062	0.5900	1.4305	2.1143	62.6551
740018	K'	3.0445	3.1727	3.1734	3.1739	3.4315	4.1172	4.8826	9.5965	6.4102	5.1814	3.5856	3.2233	
	Db * K'	8.4240	7.1873	7.1820	7.1778	5.6914	3.9941	3.2369	2.1565	2.6040	3.0571	5.1291	6.8148	
	K	2.9695	3.0946	3.0953	3.0958	3.3470	4.0159	4.7624	9.3603	6.2524	5.0538	3.4973	3.1439	
Posto	D barra	2.1389	1.8186	2.3228	2.1342	1.2799	0.4039	0.2372	0.1459	0.2009	0.7539	1.0444	1.7177	61.2940
740020	K'	3.4896	3.6700	3.4085	3.4919	4.1771	7.8904	11.7004	17.4824	13.3729	5.3714	4.5631	3.7408	
	Db * K'	7.4640	6.6743	7.9172	7.4523	5.3462	3.1866	2.7758	2.5506	2.6861	4.0495	4.7657	6.4257	
	K	3.4793	3.6592	3.3984	3.4816	4.1648	7.8670	11.6657	17.4306	13.3333	5.3555	4.5496	3.7297	
Posto	D barra	2.1579	2.0629	2.2432	2.0663	1.5548	0.9141	0.6643	0.2887	0.3132	0.5369	1.2032	1.6723	60.8155
740023	K'	3.3212	3.3607	3.2887	3.3592	3.6533	4.4859	5.2457	8.8631	8.3629	5.9056	4.0004	3.5698	
	Db * K'	7.1670	6.9327	7.3773	6.9410	5.6800	4.1007	3.4848	2.5588	2.6192	3.1707	4.8134	5.9699	
	K	3.3375	3.3771	3.3048	3.3756	3.6712	4.5078	5.2713	8.9063	8.4037	5.9344	4.0200	3.5872	
Posto	D barra	2.1858	2.0884	2.4553	2.1922	1.2411	0.4054	0.2601	0.1446	0.1927	0.5704	1.1092	1.8984	61.2074
740025	K'	3.4131	3.4573	3.3091	3.4103	4.1346	7.5762	10.4301	16.7965	13.2155	6.0974	4.3330	3.5566	
	Db * K'	7.4603	7.2201	8.1247	7.4761	5.1314	3.0710	2.7130	2.4281	2.5468	3.4779	4.8063	6.7517	
	K	3.4078	3.4520	3.3039	3.4051	4.1281	7.5644	10.4139	16.7705	13.1950	6.0879	4.3262	3.5511	
Posto	D barra	2.2774	1.9301	2.3545	2.1734	1.3502	0.4905	0.3003	0.1274	0.2683	0.5167	0.9020	1.8208	61.8040
839001	K'	3.4177	3.5891	3.3866	3.4633	4.0718	6.8878	9.6891	19.4911	10.5508	6.6636	4.8699	3.6566	
	Db * K'	7.7836	6.9273	7.9735	7.5273	5.4977	3.3782	2.9093	2.4832	2.8304	3.4428	4.3929	6.6578	
	K	3.3795	3.5490	3.3487	3.4245	4.0262	6.8107	9.5806	19.2730	10.4327	6.5890	4.8155	3.6157	
Posto	D barra	1.9419	1.6170	2.4480	2.1083	1.3248	0.4735	0.2716	0.1102	0.1108	0.4720	0.7544	1.5185	62.2984
839007	K'	3.7474	4.0050	3.4823	3.6462	4.3446	7.7230	11.6320	25.0581	24.9411	7.7404	5.7657	4.1049	
	Db * K'	7.2772	6.4761	8.5249	7.6873	5.7559	3.6572	3.1594	2.7614	2.7628	3.6533	4.3495	6.2333	
	K	3.6761	3.9288	3.4160	3.5768	4.2619	7.5760	11.4106	24.5811	24.4663	7.5930	5.6559	4.0268	
Posto	D barra	2.0167	1.8550	2.1465	2.2916	1.3558	0.4216	0.2829	0.1139	0.2207	0.6912	0.8953	1.6866	60.8477
839008	K'	3.5557	3.6508	3.4898	3.4249	4.0872	7.6810	10.2394	21.7753	12.4303	5.6467	4.9215	3.7691	
	Db * K'	7.1709	6.7721	7.4908	7.8485	5.5415	3.2384	2.8964	2.4798	2.7430	3.9031	4.4062	6.3571	
	K	3.5711	3.6666	3.5049	3.4398	4.1050	7.7144	10.2840	21.8701	12.4844	5.6713	4.9429	3.7855	
Posto	D barra	1.9870	1.6471	2.5596	2.0497	1.2414	0.4025	0.3246	0.1230	0.1868	0.4717	0.9780	1.5551	64.8225
839009	K'	3.7854	4.0578	3.4901	3.7450	4.5783	8.9815	10.5451	23.7869	16.5099	8.0255	5.1473	4.1520	
	Db * K'	7.5215	6.6834	8.9331	7.6761	5.6833	3.6153	3.4233	2.9263	3.0834	3.7860	5.0340	6.4568	
	K	3.5687	3.8256	3.2903	3.5306	4.3162	8.4675	9.9416	22.4255	15.5650	7.5662	4.8527	3.9143	
Posto	D barra	1.9967	1.5207	2.1990	1.9565	1.0270	0.2672	0.2053	0.0835	0.1166	0.3555	0.6521	1.3812	62.5214
839011	K'	3.8646	4.3025	3.7358	3.8933	5.1857	12.9223	16.0758	35.9155	26.4303	10.3247	6.7495	4.4882	
	Db * K'	7.7162	6.5429	8.2150	7.6173	5.3258	3.4525	3.2999	2.9998	3.0813	3.6702	4.4016	6.1988	
	K	3.7775	4.2055	3.6516	3.8055	5.0688	12.6311	15.7135	35.1061	25.8346	10.0920	6.5974	4.3870	
Posto	D barra	2.1262	2.0226	2.2429	2.1641	1.4472	0.4486	0.2255	0.1022	0.2034	0.5575	0.8393	1.9040	63.3302

839014	K'	3.5673	3.6238	3.5100	3.5480	4.0844	7.6888	12.8582	25.3880	13.9840	6.6681	5.2570	3.6959	
	Db * K'	7.5849	7.3294	7.8724	7.6782	5.9108	3.4490	2.8989	2.5951	2.8446	3.7175	4.4123	7.0371	
	K	3.4424	3.4969	3.3871	3.4238	3.9414	7.4196	12.4079	24.4989	13.4943	6.4346	5.0729	3.5665	
Posto	D barra	2.0402	1.9062	2.4040	2.2740	1.3833	0.4357	0.2684	0.1435	0.1598	0.5230	0.9873	1.5151	62.4697
839023	K'	3.6031	3.6831	3.4309	3.4861	4.1434	7.7931	11.1148	18.6402	16.9945	6.9036	4.8165	3.9975	
	Db * K'	7.3509	7.0207	8.2480	7.9273	5.7316	3.3955	2.9830	2.6751	2.7152	3.6107	4.7553	6.0564	
	K	3.5248	3.6030	3.3564	3.4104	4.0534	7.6238	10.8733	18.2352	16.6253	6.7537	4.7119	3.9106	61.7572
Posto	D barra	2.1490	1.7164	2.4801	1.8944	1.2303	0.4441	0.2609	0.1215	0.1744	0.4804	1.0570	1.6188	
840004	K'	3.5573	3.8326	3.4115	3.7041	4.3728	7.7498	11.4613	21.7784	15.9217	7.3502	4.6856	3.9150	
	Db * K'	7.6448	6.5783	8.4611	7.0170	5.3799	3.4417	2.9900	2.6464	2.7768	3.5312	4.9526	6.3376	
	K	3.5202	3.7926	3.3759	3.6655	4.3271	7.6688	11.3417	21.5510	15.7554	7.2734	4.6367	3.8742	
Posto	D barra	2.1565	1.8721	2.2946	2.1249	1.1033	0.3201	0.2164	0.1449	0.1647	0.6530	0.8751	1.8610	61.2617
840011	K'	3.5192	3.6793	3.4558	3.5349	4.5253	9.5648	12.9660	18.1504	16.2636	5.9459	5.0625	3.6866	
	Db * K'	7.5892	6.8881	7.9298	7.5112	4.9928	3.0620	2.8064	2.6300	2.6789	3.8826	4.4302	6.8607	
	K	3.5107	3.6704	3.4474	3.5263	4.5143	9.5415	12.9344	18.1061	16.2240	5.9314	5.0501	3.6776	
Posto	D barra	2.0519	1.8700	2.3033	1.9338	1.2578	0.5492	0.2849	0.0903	0.1597	0.4389	1.0279	1.5146	64.5359
840016	K'	3.7364	3.8600	3.5977	3.8140	4.5390	7.2140	11.6191	31.3413	18.7999	8.4083	5.0028	4.1873	
	Db * K'	7.6668	7.2183	8.2864	7.3756	5.7089	3.9622	3.3106	2.8308	3.0018	3.6901	5.1422	6.3422	
	K	3.5382	3.6553	3.4068	3.6117	4.2982	6.8313	11.0027	29.6787	17.8027	7.9623	4.7374	3.9652	
Posto	D barra	2.0193	1.9590	2.4568	1.9832	1.2129	0.3473	0.2562	0.1118	0.1766	0.6162	1.1575	1.7259	61.5931
840024	K'	3.5805	3.6148	3.3819	3.6008	4.3220	8.9489	11.2546	22.6050	15.2164	6.1198	4.4108	3.7700	
	Db * K'	7.2301	7.0814	8.3087	7.1411	5.2419	3.1082	2.8835	2.5276	2.6873	3.7710	5.1055	6.5068	
	K	3.5525	3.5866	3.3555	3.5727	4.2883	8.8791	11.1667	22.4286	15.0977	6.0721	4.3764	3.7406	
Posto	D barra	1.8153	1.4899	2.0506	2.0075	1.1163	0.3096	0.2372	0.0826	0.1545	0.3563	0.6983	1.3836	58.4651
839047	K'	3.8249	4.1219	3.6689	3.6947	4.6763	10.4366	12.8715	32.3280	18.4437	9.3918	5.9999	4.2492	
	Db * K'	6.9432	6.1411	7.5234	7.4172	5.2200	3.2314	3.0528	2.6719	2.8489	3.3466	4.1895	5.8790	
	K	3.9981	4.3085	3.8350	3.8620	4.8881	10.9092	13.4543	33.7919	19.2789	9.8170	6.2716	4.4416	
Posto	D barra	1.9663	1.7206	2.1665	2.1673	1.3152	0.4393	0.2845	0.1011	0.1854	0.4603	0.8212	1.5656	57.7877
740029	K'	3.5359	3.6888	3.4370	3.4366	4.0659	7.2573	9.8640	23.2890	13.8211	7.0386	5.0288	3.8100	
	Db * K'	6.9527	6.3470	7.4462	7.4482	5.3476	3.1882	2.8067	2.3544	2.5622	3.2400	4.1297	5.9648	
	K	3.7394	3.9011	3.6348	3.6344	4.2998	7.6748	10.4315	24.6290	14.6163	7.4435	5.3182	4.0292	
Posto	D barra	2.1399	2.0003	2.2361	2.1224	1.0380	0.4526	0.2386	0.1243	0.2130	0.4636	0.8989	1.4729	64.5974
839034	K'	3.6944	3.7802	3.6415	3.7045	4.9992	8.2765	13.4874	23.6185	14.8154	8.1382	5.3914	4.2510	
	Db * K'	7.9056	7.5613	8.1426	7.8626	5.1890	3.7459	3.2184	2.9366	3.1551	3.7731	4.8460	6.2612	
	K	3.4951	3.5762	3.4451	3.5046	4.7295	7.8300	12.7598	22.3444	14.0161	7.6992	5.1005	4.0216	
Posto	D barra	1.9334	1.8697	2.0503	2.1202	1.2294	0.4067	0.2128	0.1092	0.1403	0.4389	0.8462	1.5592	58.9361
839013	K'	3.6331	3.6729	3.5665	3.5302	4.3018	8.0163	13.0765	23.1329	18.5626	7.6097	5.1336	3.9134	
	Db * K'	7.0243	6.8671	7.3125	7.4847	5.2886	3.2606	2.7824	2.5271	2.6036	3.3398	4.3438	6.1016	
	K	3.7672	3.8085	3.6982	3.6606	4.4607	8.3123	13.5594	23.9872	19.2481	7.8907	5.3232	4.0579	

												Valor médio =	61.1125
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---------------	---------