



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

ANA BEATRIZ ACCIOLY DE MENEZES

**APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE SEVERIDADE DE SECA DE PALMER (PDSI) PARA
O MUNICÍPIO DE PETROLINA - PE**

Recife

2020

ANA BEATRIZ ACCIOLY DE MENEZES

**APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE SEVERIDADE DE SECA DE PALMER (PDSI) PARA
O MUNICÍPIO DE PETROLINA-PE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do grau de Engenheira Civil.

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Gonçalves de Azevedo.

Recife

2020

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

M543a	<p>Menezes, Ana Beatriz Accioly de. Aplicação do índice de severidade de seca de Palmer (PDSI) para o município de Petrolina - PE / Ana Beatriz Accioly de Menezes - 2020. 63 folhas, il., gráfs., tabs.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. José Roberto Gonçalves de Azevedo.</p> <p>TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2020. Inclui Referências e Apêndices.</p> <p>1. Engenharia civil. 2. Seca. 3. Índice. 4. Postos pluviométricos. 5. Petrolina. I. Azevedo, José Roberto Gonçalves de (Orientador). II. Título.</p>
	<p>UFPE</p>
624 CDD (22. ed.)	BCTG/2020-270



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA
CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL**

CANDIDATO: ANA BEATRIZ ACCIOLY DE MENEZES

BANCA EXAMINADORA:

Orientador: PROF. DR. JOSÉ ROBERTO GONÇALVES DE AZEVEDO

Examinador 1: LEIDJANE MARIA MACIEL DE OLIVEIRA

Examinador 2: ROBERTA DE MELO GUEDES ALCOFORADO

**TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: APLICAÇÃO DO ÍNDICE
DE SEVERIDADE DE SECA DE PALMER (PDSI) NO MUNICÍPIO DE PETROLINA-
PE.**

LOCAL: Defesa Online via Google Meet.

DATA: 06/10/2020 **HORÁRIO DE INÍCIO:** 13h.

Em sessão pública, após exposição de cerca de 30 minutos, o(s) candidato(s) foi (foram) arguido(s) oralmente pelos membros da banca com NOTA: 9,2 (deixar 'Exame Final', quando for o caso).

1) (X) aprovado(s) (nota $\geq 7,0$), pois foi demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema da monografia e o texto do trabalho aceito.

As revisões observadas pela banca examinadora deverão ser corrigidas e verificadas pelo orientador no prazo máximo de 30 dias (o verso da folha da ata poderá ser utilizado para pontuar revisões). O trabalho com nota no seguinte intervalo, **$3,0 \leq \text{nota} < 7,0$** , será reapresentado, gerando-se uma nota ata; sendo o trabalho aprovado na reapresentação, o aluno será considerado **aprovado com exame final**.

2) () reprovado(s). (nota $< 3,0$)

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da banca e pelo(s) candidato(s).

Recife, 06 de outubro de 2020.

Orientador:

Avaliador 1:

Avaliador 2:

Candidato :

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus pela realização do sonho de me formar no curso que sempre almejei e por me permitir a busca pelo melhor caminho sempre.

À minha família que esteve sempre me apoiando e respeitando em minhas escolhas e desejos, não me deixando desacreditar de minhas capacidades de alcançar tudo o que almejei.

Ao meu professor orientador, José Roberto Gonçalves de Azevedo, pela referência e inspiração desde quando o conheci, na disciplina de Hidráulica Geral. Agradeço a oportunidade de o ter tido como professor e agora como orientador. Toda a sua dedicação, responsabilidade, atenção, preocupação, e principalmente, sua boa vontade e empatia, andarão como referência junto a mim, durante toda a minha trilha como ser humano e engenheira. Seu apoio e orientação foram primordiais nessa conclusão de curso.

Por fim, a todos os meus amigos, da vida e da faculdade, em especial aqueles que me ajudaram de alguma forma em qualquer etapa da minha pesquisa. Agradeço a companhia, os conselhos e toda forma de contribuição nessa importante etapa.

RESUMO

A seca é um fenômeno natural que retrata uma realidade constituinte de um desastre natural, típico da região semiárida do nordeste do Brasil, gerando inúmeros prejuízos para a região, como sociais, econômicos e ambientais. Além disso, a seca é um fenômeno difícil de se conceituar, pois possui uma complexidade e uma diversidade de definições, mas para a pesquisa, a definição trazida pela metodologia que será, ao longo do estudo, discutida, é referência de um período em que a precipitação é menor do que a esperada, sendo considerada, dessa forma, como uma anomalia meteorológica. Existem diferentes tipos de seca e, por essa razão, ela é estudada de diferentes perspectivas, e por isso a sua complexidade. O Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI em inglês) é um dos métodos mais conhecidos e utilizados mundialmente, que consiste em monitorar a severidade da seca através de um índice padronizado em base espacial e temporal, criado nos Estados Unidos e baseado em 9 localidades, sendo necessária adaptação conforme a região a ser analisada. Na pesquisa foi realizada a adaptação para a região de estudo. Além disso, foram utilizados 7 postos pluviométricos localizados em Petrolina, no estado de Pernambuco, o método de evapotranspiração de Hargreaves & Christiansen e o método de Thiessen para obtenção da precipitação média e áreas de influência referentes aos postos pluviométricos, além de dados de entrada para aplicação da metodologia adaptada, como dados de precipitação dentro de um período histórico de 30 anos, temperatura média, capacidade de campo e umidade relativa. A partir da aplicação do método adaptado, observou-se a tendência de diminuição na severidade e aumento das durações das secas.

Palavras-chave: Seca. Índice. Postos pluviométricos. Petrolina.

ABSTRACT

Drought is a natural phenomenon that portrays a reality that constitutes a natural disaster, typical of the semi-arid region of northeastern Brazil, generating countless losses for the region, such as social, economic and environmental. In addition, drought is a difficult concept to conceptualize, as it has a complexity and a diversity of definitions, but for research, the definition brought by the methodology that will be discussed throughout the study is a reference of a period in which precipitation is less than expected and is therefore considered a meteorological anomaly. There are different types of drought and, for this reason, it is studied from different perspectives, hence its complexity. The Palmer Drought Severity Index (PDSI) is one of the best known and most used methods worldwide, which consists of monitoring drought severity through a standardized index based on space and time, created in the United States and based on 9 locations, adapting according to the region to be analyzed. In the research, an adaptation was made for the study region. It was used 7 pluviometric stations located in the city of Petrolina/PE, the Hargreaves & Christiansen evapotranspiration method and the Thiessen method for obtaining average precipitation and areas of influence of the posts, also using input data such as precipitation data over 30 years of occurrence, average temperature, field capacity and relative humidity. After applying the method, it was possible noting the trend of decreasing severity and increasing drought durations.

Keywords: Drought. Index. Pluviometric stations. Petrolina.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Localização do município de Petrolina/PE.....	11
Figura 2 –	Município de Petrolina/PE	12
Figura 3 –	7 postos pluviométricos de Petrolina/PE	16
Figura 4 –	Gráfico piores secas (Σz) para diversos períodos de tempo.....	26
Figura 5 –	Gráfico do ajuste linear para K	28
Figura 6 –	Severidade das Secas do Posto Pluviométrico 4	30
Figura 7 –	Duração das Secas do Posto Pluviométrico 4	31
Figura 8 –	Severidade das Secas do Posto Pluviométrico 160.....	32
Figura 9 –	Duração das Secas do Posto Pluviométrico 160	32
Figura 10 –	Severidade das Secas do Posto Pluviométrico 161	33
Figura 11 –	Duração das Secas do Posto Pluviométrico 161	34
Figura 12 –	Severidade das Secas do Posto Pluviométrico 229.....	35
Figura 13 –	Duração das Secas do Posto Pluviométrico 229	35
Figura 14 –	Severidade das Secas do Posto Pluviométrico 239	36
Figura 15 –	Duração das Secas do Posto Pluviométrico 239	36
Figura 16 –	Severidade das Secas do Posto Pluviométrico 240.....	37
Figura 17 –	Duração das Secas do Posto Pluviométrico 240	38
Figura 18 –	Severidade das Secas do Posto Pluviométrico 82983	39
Figura 19 –	Duração das Secas do Posto Pluviométrico 82983	39
Figura 20 –	Tendências da Severidade das Secas dos 7 Postos Pluviométricos.....	41
Figura 21 –	Tendência da Duração das Secas dos 7 Postos Pluviométricos	42
Figura 22 –	Severidade das Secas do Município de Petrolina/PE	44
Figura 23 –	Duração das Secas do Município de Petrolina/PE	45
Figura 24 –	Tendência das Severidades das Secas dos 7 postos pluviométricos e Petrolina/PE	46
Figura 25 –	Tendência das Durações das Secas dos 7 postos pluviométricos e Petrolina/PE	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação do Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI)	16
Tabela 2 – Coordenadas dos 7 postos de Petrolina/PE.....	18
Tabela 3 – Classificação de Profundidade dos Solos.....	19
Tabela 4 – Tipos de Solo no município de Petrolina/PE, Áreas (m ²) e Capacidade de Campo (mm).....	20
Tabela 5 – Valores finais de Capacidade de Campo (mm) em relação a Porcentagem de cada tipo de solo existente em cada posto Pluviométrico.....	21
Tabela 6 – Distribuição dos valores por intervalo do PDSI.....	28
Tabela 7 – Ajuste do valor de “c” na equação do PDSI.....	29
Tabela 8 – Resumo Geral das Análises dos 7 Postos Pluviométricos.....	41
Tabela 9 – Valores de DK’ obtidos em adaptações do PDSI no Brasil.....	48
Tabela 10 – Comparação de percentuais entre os valores de Alves et al (2019) e a atual adaptação.....	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1. JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO	8
1.2. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	9
1.2.1. Objetivos Gerais	9
1.2.2. Objetivos Específicos	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1. SECA.....	10
2.2. ÁREA DE ESTUDO	10
2.3. ÍNDICE DE SEVERIDADE DE SECA DE PALMER.....	12
3. MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1. DADOS	15
3.1.1. Postos Pluviométricos	15
3.1.2. Dados de temperatura mínima, média e máxima	16
3.1.3. Capacidade de Campo	17
3.2. MÉTODO DE PALMER	20
3.2.1. Balço Hídrico	20
3.2.1.1. Coeficientes de evapotranspiração (α), recarga (β), runoff (γ) e perda (δ)	20
3.2.1.2. Elementos Climaticamente Apropriados para às Condições Existentes (CAFEC).....	21
3.2.1.3. Capacidade de Armazenamento de Água do solo	22
3.2.1.4. Deficiência, Excesso Hídrico ou Anomalia Hídrica “d”	23
3.2.1.5. Fator de Ponderação “K”.....	23
3.2.1.6. Índice de Anomalia de Umidade “Z”	24
3.2.1.7. Equação Final do Índice de Palmer.....	24
3.2.1.8. Adaptação do método de Palmer para o município de Petrolina/PE.....	25
3.3. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA	29
4. ANÁLISES E RESULTADOS	30
4.1. Análises dos 7 postos pluviométricos.....	30
4.1.1. Posto 4	30
4.1.2. Posto 160	31
4.1.3. Posto 161	33
4.1.4. Posto 229	34
4.1.5. Posto 239	36
4.1.6. Posto 240	37
4.1.7. Posto 82983	38

4.2.	RESUMO DAS ANÁLISES DOS 7 POSTOS PLUVIOMÉTRICOS	40
4.3.	ANÁLISE DO MUNICÍPIO DE PETROLINA/PE	42
4.4.	ANÁLISE GERAL.....	45
4.5.	DETERMINAÇÃO DO FATOR DE PONDERAÇÃO REGIONAL DK'	47
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	50
	REFERÊNCIAS	51
	APÊNDICE A – SEVERIDADE, DURAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS SECAS OBTIDAS EM CADA POSTO	54
	APÊNDICE B – SEVERIDADE, DURAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS SECAS OBTIDAS NO MUNICÍPIO DE PETROLINA/PE.....	58
	APÊNDICE C – CÁLCULO DO FATOR K.....	59
	APÊNDICE D – DIFERENÇA DO ERRO GERADO PELA UTILIZAÇÃO DE UMA REGRESSÃO LINEAR E POLINOMIAL PARA A EQUAÇÃO DAS PIORES SECAS	60

1. INTRODUÇÃO

A seca retrata uma realidade que constitui um desastre proveniente da natureza. Tal desastre é considerado um dos fenômenos mais ocorrentes no mundo, típico da região semiárida do nordeste brasileiro e causada pela vulnerabilidade hídrica juntamente com a falta de políticas eficazes, contribuindo para desastres sociais e ambientais. É bastante influenciada por características fisiográficas, como rocha, topografia, solo, condições meteorológicas e vegetação (SILVA *et al.*, 2013).

Existem vários tipos e definições de seca, porém para Palmer (1965), a seca retrata um período em que a precipitação é menor do que a esperada e deve ser analisada como uma anomalia meteorológica caracterizada por um período de umidade anormal e deficiente.

O termo seca difere do termo aridez, pois enquanto a seca se refere a uma característica normal e recorrente do clima, a aridez está relacionada a regiões com baixa precipitação, sendo assim, uma característica permanente do clima (WMO, 2005).

O Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI), para Blain e Brunini (2005), acusa o início de uma seca quando se tem uma redução considerável na precipitação de uma determinada região em relação ao climatologicamente esperado.

De acordo com Blain e Brunini (2005), o Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) é um dos métodos mais conhecidos e utilizados mundialmente, que consiste em monitorar o fenômeno da seca através de um índice padronizado em base espacial e temporal. O índice de Palmer foi adaptado para as condições climáticas do Estado de São Paulo por Blain (2005), resultando em um novo índice adaptado, chamado PDSI adap. Além desses dois índices, com a utilização, ainda, de um terceiro, o Índice Padronizado de Precipitação (SPI), estudos são realizados nos ramos agrícolas, meteorológicos, hidrológicos e socioeconômicos sobre a seca. Dessa forma, o PDSI é considerado um índice que quantifica a severidade de uma determinada seca, sendo necessário, para a sua obtenção, uma série histórica de dados mensais, de pelo menos trinta anos, de temperatura e precipitação pluvial.

O índice de Severidade de Seca de Palmer foi desenvolvido nos Estados Unidos, tendo como referência 9 localidades, utilizando balanço hídrico e um fator de ponderação regional, denominado fator “K”, sendo necessário uma adaptação de acordo com a região de estudo.

1.1. JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

De acordo com Teixeira (2010), mais de 50% do território correspondente a bacia do rio São Francisco compreende a região semiárida do Nordeste brasileiro. O município de Petrolina,

área de estudo do referente trabalho, apresenta temperaturas médias anuais acima de 24°C, podendo passar de 26°C (TEIXEIRA, 2009). O clima predominante de Petrolina é do tipo BSh, sendo, de acordo com a classificação de Koeppen, uma região de clima árido.

As taxas de radiação solar juntamente com as elevadas temperaturas são significantes devido a intensificação da evapotranspiração, porém a falta de regularidade das chuvas é considerada o fator mais preocupante e limitante do clima tanto para a agricultura quanto para o consumo humano nas áreas mais afastadas do rio São Francisco (TEIXEIRA, 2010).

Para regiões com situações como esta, o uso de um índice que avalie efetivamente a severidade da seca local se torna relevante para o melhor planejamento da região e evitar quadros de prejuízos e danos econômicos, sociais e ambientais.

A escolha da utilização do Método de Palmer na área de estudo, município de Petrolina, exige que o mesmo seja adaptado, sendo necessário a obtenção de um novo fator de ponderação e o DK' médio (coeficiente obtido pelo produto da média mensal dos valores absolutos da anomalia hídrica pelo fator de ponderação computado a cada mês.)

1.2. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

O principal objetivo do presente trabalho consiste na aplicação do Método de Palmer, entretanto, os objetivos gerais e específicos serão descritos a seguir.

1.2.1. Objetivos Gerais

O objetivo geral deste trabalho é aplicar o índice de severidade de seca do Método de Palmer para o município de Petrolina/PE, adaptando-o para a região de estudo.

1.2.2. Objetivos Específicos

Realizar o balanço hídrico através do método de Hargreaves e Christiansen (1973), para os postos escolhidos do município de Petrolina;

Obtenção do fator de ponderação “K” para o município de Petrolina e compará-lo com o valor obtido na bacia do rio Brígida em Pernambuco.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O Método de Palmer, metodologia bastante utilizada para análise do fenômeno da seca, consiste em um estudo de grande relevância e certa precisão até os dias atuais, devendo este ser adaptado para a região de aplicação. Os tópicos necessários para uma melhor compreensão sobre o método serão descritos a seguir.

2.1. SECA

A seca é um fenômeno difícil de ser explicado, pois possui significados distintos para vários autores. A seca é definida conceitualmente como sendo um período prolongado de precipitação deficiente, afetando negativamente as culturas e causando perda de rendimento, enquanto que no âmbito operacional, a seca se enquadra em algumas categorias. Na categoria meteorológica, a seca é definida baseado no grau de secura e a duração do período seco na região; na agricultura, relaciona-se características da seca meteorológica à danos agrícolas, como a escassez de precipitação, discrepância entre evapotranspiração real e potencial, níveis menores de água subterrânea, etc. Para o ramo hidrológico, associa-se efeitos de escassez de precipitação no suprimento de água, seja superficial ou subterrânea. Por último, para a área socioeconômica, o grande impacto é quando a escassez, em termos físicos, começa a afetar diretamente a população, se tratando do fornecimento e demanda de um bem econômico (WMO, 2005).

Segundo Palmer (1965), dependendo do interesse específico, o significado de seca muda, como ocorre nas áreas da hidrologia, economia, agricultura, etc., considerando a média dos componentes meteorológicos e das condições hídricas dos meses precedentes e do atual da área de estudo, elementos necessários e indispensáveis para que a precipitação pluvial total requerida possa manter a área em análise sob condições estáveis em termos econômicos. Com isso, criou-se o método de Palmer, para definir um índice capaz de medir a severidade da seca e, dessa forma, classificá-la, visando melhoria da definição e entendimento da mesma.

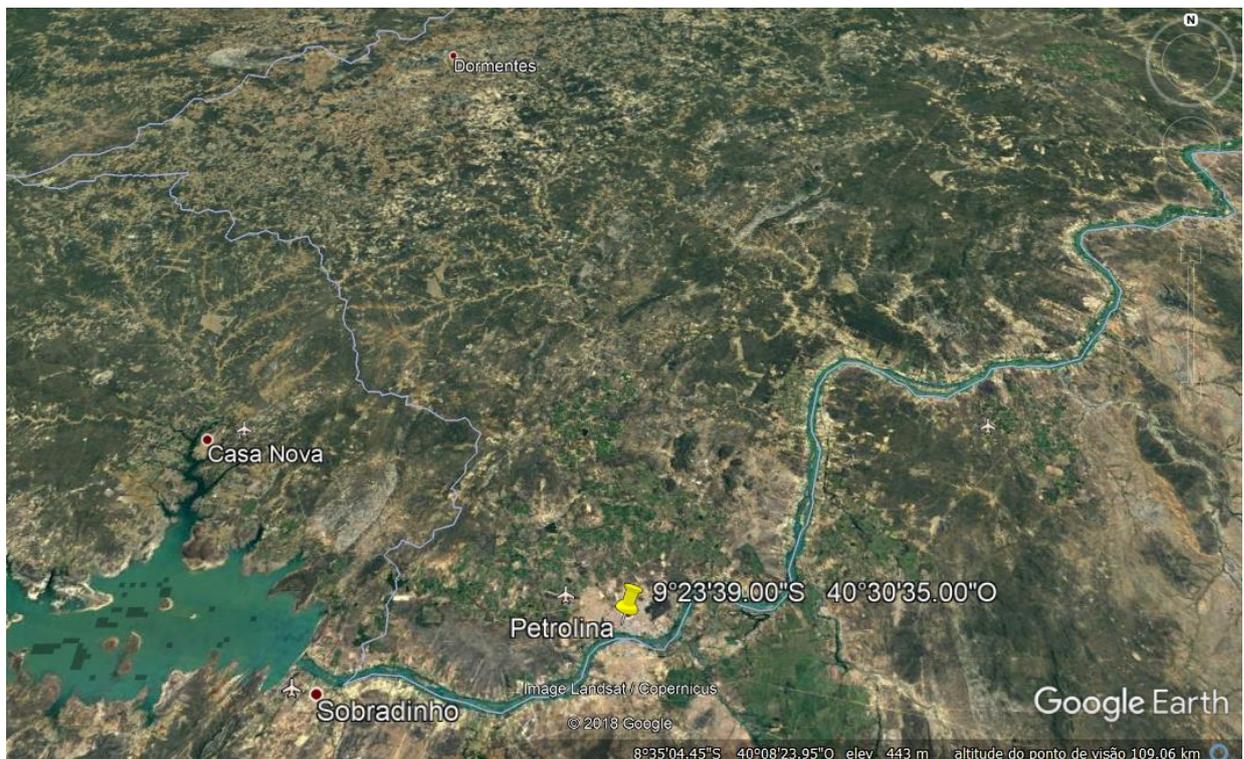
2.2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo deste presente trabalho é o município de Petrolina, localizado no interior do estado de Pernambuco, na região Nordeste do Brasil, conforme **Figura 2**. Com densidade demográfica de 64,44 hab/km², Petrolina possui área de 4.561,870 km² (IBGE, 2010) e é constituinte do bioma Caatinga. Situado a 380 metros de altitude, o município de Petrolina

possui as coordenadas geográficas $9^{\circ} 23' 34''$ S, $40^{\circ} 30' 28''$ O e localiza-se próximo ao município de Dormentes (PE) e aos municípios de Casa Nova (BA) e Sobradinho (BA), conforme **Figura 1** (IBGE, 2010).

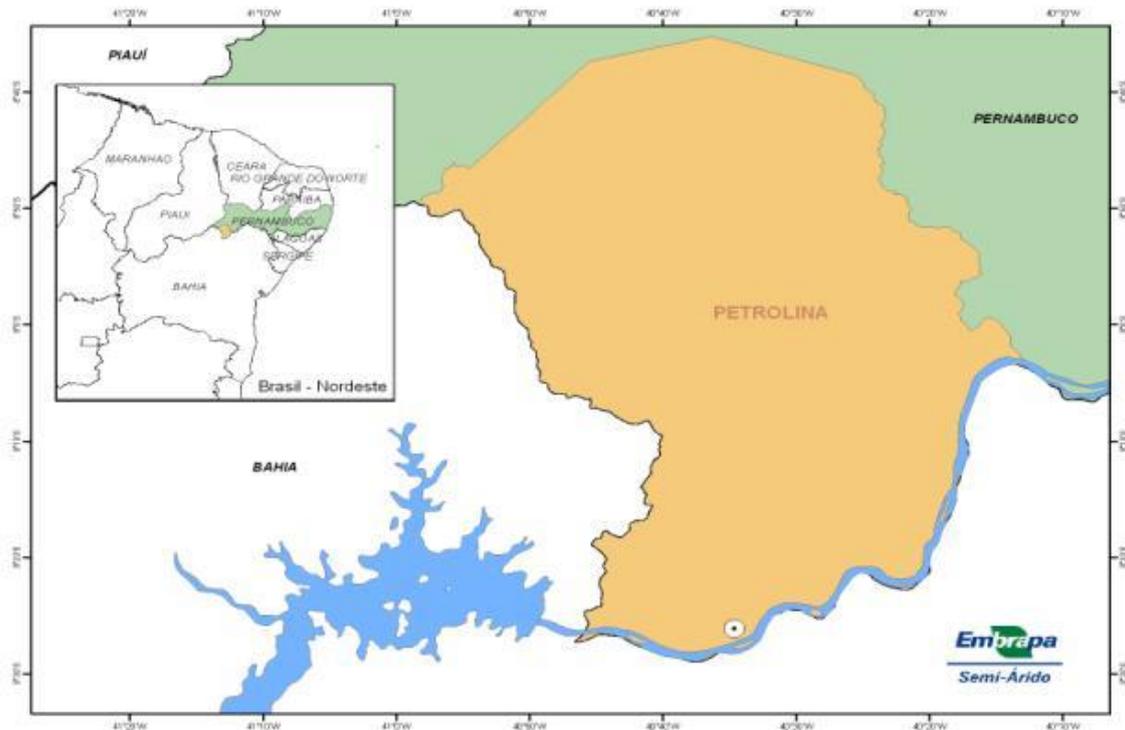
No tocante ao clima do município de Petrolina, predomina-se o clima semi-árido quente, que segundo a Embrapa, é caracterizado por escassez de chuvas e grande irregularidade em sua distribuição, baixa nebulosidade, forte insolação, índices elevados de evaporação, e temperaturas médias elevadas, por volta de 27°C . Além disso, a umidade relativa do ar é normalmente baixa, com poucas chuvas e variando de 250 mm a 750 mm por ano. A época chuvosa ocorre de novembro a abril, sendo uma distribuição irregular, e, por muitas vezes não ocorrer durante alguns anos, provoca secas.

Figura 1: Localização do município de Petrolina/PE



Fonte: A Autora (2020).

Figura 2: Município de Petrolina/PE



Fonte: EMBRAPA.

2.3. ÍNDICE DE SEVERIDADE DE SECA DE PALMER

O índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) foi desenvolvido nos Estados Unidos, utilizando como referência 9 localidades, parâmetros do Balanço Hídrico climático de Thornthwaite & Mather (1955) e um fator de ponderação regional, denominado fator “K”.

De acordo com Fernandes *et al.* (2009), Palmer (1965) desenvolveu o PDSI para determinar a duração de uma seca ou período de umidade, tendo como principal motivação, o fato de que, durante um período de seca, um mês anormalmente úmido não possui um impacto maior no índice, além de que uma série de meses com precipitação próxima da esperada seguido de uma drástica seca, em uma região, não indica que a seca terminou.

Um fator bastante relevante é que o método PDSI de Palmer foi criticado por Alley (1984), Karl (1986), entre outros autores, devido a alguns pontos que os mesmos consideraram incoerentes no desenvolvimento do método, entre os quais destacam-se a falta de especificação da escala temporal utilizada na análise, a utilização de regras arbitrárias para definir o início ou fim de uma seca, uma memória exagerada e a utilização de parâmetros do balanço hídrico climático de Thornthwaite & Mather (1955), sendo uma limitação do PDSI por causa da inexistência de um método universal para o cálculo do mesmo. Outra crítica relevante do método de Palmer, de acordo com Santos *et al.* (1987), fazendo referência ao fator “K”, é que

o mesmo só é válido para a região onde foi originalmente desenvolvido, sendo necessário uma adaptação desse fator em diferentes regiões.

De acordo com Blain (2005), o objetivo de Palmer era desenvolver um índice padronizado que pudesse ser comparável em outras localidades e em qualquer época. As críticas existentes ao método do PDSI lhes serviram de incentivo para a adaptação do PDSI, chamado PDSI adap, o qual teve foco principal a adaptação do fator regional “K” para o Estado de São Paulo, definindo que a escala temporal deve ser mensal, utilizando a razão entre a evapotranspiração real (ETR) e a evapotranspiração potencial (ETP), obtida no método de Thornthwaite e Mather (1955), para definir o início ou fim de uma seca, não apresentando, ainda, a memória exagerada do método original. Essa adaptação para as condições do Estado de São Paulo gerou uma constante de valor 22,8 para a expressão final do fator K, enquanto na equação original de Palmer, esse valor corresponde a 17,67.

Blain (2005) ainda definiu que a seca meteorológica tem início detectado quando o PDSI adap cai abaixo de -1 e seu fim é determinado quando se alcança a magnitude de -0,5.

Limeira *et al.* (2007) realizou outra adaptação no estado da Paraíba, obtendo um fator regional correspondente a 21,87. Alves *et al.* (2019) realizou uma adaptação para a Bacia do Rio Brígida, em Pernambuco. Assim como vários outros autores, o método do PDSI foi aplicado, sem realizar adaptações para a região em estudo, como Fernandes *et al.* (2010) no estado de Goiás, obtendo como conclusão, a necessidade de adaptação às condições climáticas na região de análise, assim como enfatizado no presente trabalho.

A classificação do Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI), como mostrado na Tabela 1, varia entre os valores -4 a +4, sendo considerado seca extrema quando se atinge o valor -4 e possuindo o mesmo significado, em termos de déficit de umidade, que uma seca extrema em qualquer outra divisão climática (ALLEY, 1984).

Tabela 1 - Classificação do Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI)

PDSI	Classificação
$\geq 4,00$	Extremamente úmido
3,00 a 3,99	Umidade alta
2,00 a 2,99	Umidade moderada
1,00 a 1,99	Umidade baixa
0,50 a 0,99	Umidade inicial
0,49 a -0,49	Normal
-0,50 a -0,99	Seca inicial
-1,00 a -1,99	Seca suave
-2,00 a -2,99	Seca moderada
-3,00 a -3,99	Seca severa
$\leq -4,00$	Seca extrema

Fonte: Fernandes et al. (2010)

O método do PDSI de Palmer (1965) também foi criticado, por Alley (1984), quanto a escolha arbitrária do valor -4 como indicação de seca extrema, pois foram utilizados dados de duas localidades para o desenvolvimento da equação.

Blain (2005) levou em consideração, para sua adaptação, a crítica feita por Alley (1984). Ao estudar os períodos de seca em seis localidades distintas, arbitrou o valor -3 para referir a uma seca extrema, e, através dessa 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.

Após regressões lineares, resulta-se no fator regional “K” e na equação final do PDSI, assim como mostra a Equação 1.

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

Em que,

X_i – Valor do índice de Palmer do mês em questão;

X_{i-1} – Valor do índice de Palmer do mês precedente;

Z_i - Índice de anomalia de umidade no mês em questão.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e metodologias utilizados no presente trabalho serão descritos a seguir.

3.1. DADOS

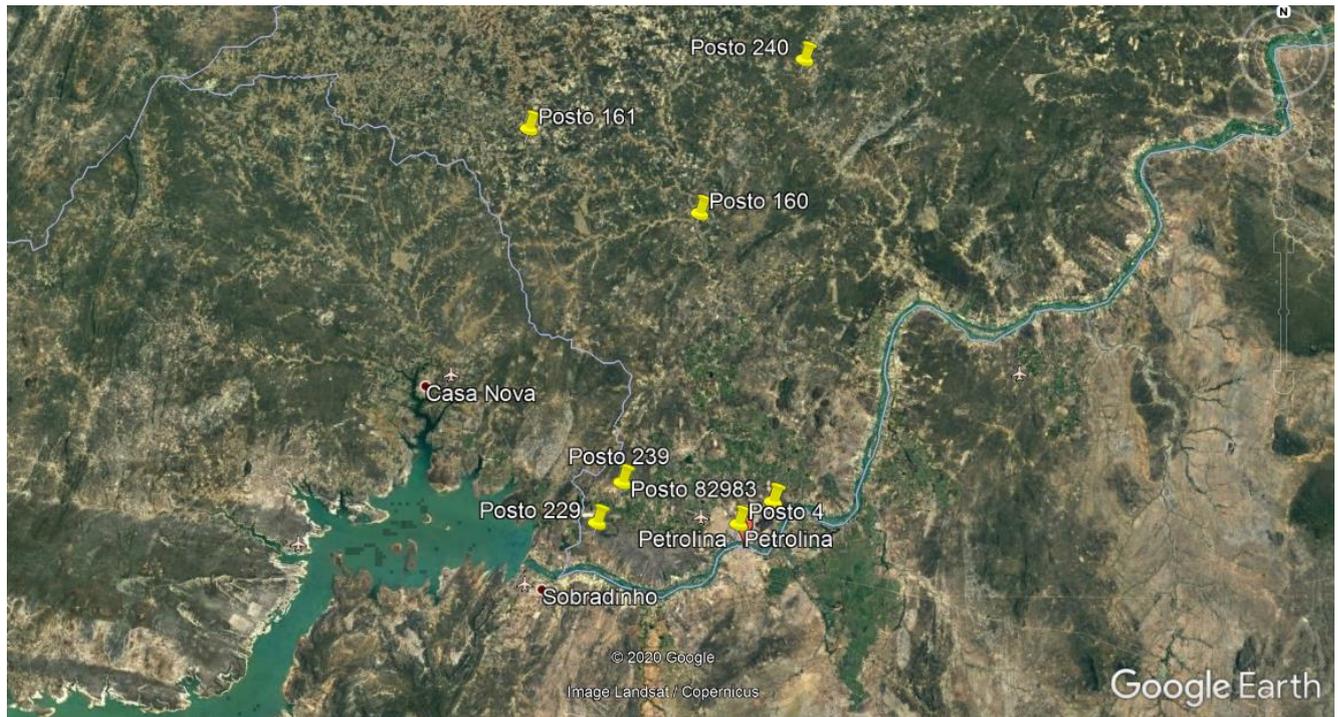
Para o presente trabalho, foram utilizados dados mensais de precipitação de 7 postos pluviométricos, localizados no município de Petrolina/PE, no período de 1961 até 2015, dados mensais históricos de temperaturas mínima, média e máxima, além da umidade relativa no mesmo período de análise. Foram utilizados, ainda, dados de capacidade de campo para a região de Petrolina, levando em consideração os tipos de solo existentes.

3.1.1. Postos Pluviométricos

No tocante aos dados de precipitação dos 7 postos de Petrolina, no período de janeiro de 1961 à dezembro de 2015, estes foram necessários realizar o preenchimento de falhas. Os dados iniciais consistiam em dados diários e foram retirados do site da APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima. Para o procedimento de preenchimento de falhas, foi utilizado o programa desenvolvido por Azevedo (2017), em que transformou-se os dados diários em dados mensais, realizou-se o preenchimento das falhas e agrupamento dos postos, utilizando todos os métodos estatísticos: Ponderação Regional, Regressão Linear Simples, Regressão Linear Múltipla, Ponderação Regional com Regressão e Vetor Regional. Além disso, obteve-se os valores de precipitação média de cada posto, sendo admitido a média dos resultados de cada método.

A Figura 3 e a Tabela 2 mostram, respectivamente, a localização geográfica e as coordenadas dos postos utilizados no presente trabalho.

Figura 3: 7 postos pluviométricos de Petrolina/PE



Fonte: A autora (2020).

Tabela 2 - Coordenadas dos 7 postos de Petrolina/PE

Posto	Coordenadas	
	Latitude	Longitude
161	-8,8119	-40,8297
160	-8,9403	-40,5736
239	-9,3386	-40,6886
229	-9,3972	-40,7256
240	-8,7064	-40,4147
82983	-9,3667	-40,4667
4	-9,3992	-40,5175

Fonte: APAC (2020).

Para este trabalho, foi necessário obter a área de influência de cada posto, e, para isto, foi utilizado o software QGIS. Para o procedimento, foi utilizado o método de Thiessen explorando a ferramenta de Diagrama de Voronoy disponível no software, obtendo assim, a área de influência de cada posto pluviométrico.

3.1.2. Dados de temperatura mínima, média e máxima

Para a realização do estudo da presente pesquisa, foi utilizada uma estação meteorológica do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, localizada no município de Petrolina, a estação 82983. Entretanto a falta e escassez de dados referentes a temperaturas mínima, média

e máxima, na região de estudo, dificultou a análise mais precisa para a obtenção dos resultados, sendo utilizado, dessa maneira, os mesmos dados da estação para os demais 6 postos, sem a necessidade de preenchimento de falhas, visto que os dados obtidos não constituíam qualquer falha dentro do período de análise.

3.1.3. Capacidade de Campo

De acordo com Veihmeyer & Hendrickson (1931, 1949), o conceito de capacidade de campo refere-se à “quantidade de água retida pelo solo depois que o excesso tenha drenado e a taxa de movimento descendente tenha decrescido acentuadamente, o que geralmente ocorre dois a três dias depois de uma chuva ou irrigação em solos permeáveis de estrutura e textura uniforme”. Dessa forma, essa definição demonstra que a capacidade de campo está relacionada a um comportamento dinâmico no solo no tocante a distribuição de água, não sendo uma característica particular. Essa água retida no solo pode ser expressa em massa de água retida por unidade de massa de matriz (kg/kg), volume de água retido por unidade de volume de solo (m^3/m^3) ou uma altura de água (cm,mm). Para o presente trabalho, a capacidade de campo foi expressa em altura de água, em milímetros.

De acordo com o site da EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, o tipo de solo predominante da região de estudo, município de Petrolina/PE, é o Latossolo Vermelho-Amarelo, sendo este um solo profundo de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da EMBRAPA, possuindo uma espessura de 100 a 200 cm, como mostrado na Tabela 3. Dessa forma, foram adotados espessura para as camadas superficial e subsuperficial do solo, respectivamente, para fins de obtenção de dados de capacidade de campo, os valores de 0 a 100 cm e de 100 a 200 cm.

Tabela 3 - Classificação de Profundidade dos Solos

Classe de Profundidade dos Solo	
Classe	Profundidade
Raso	≤ 50 cm
Pouco Profundo	> 50 cm e ≤ 100 cm
Profundo	> 100 cm e ≤ 200 cm
Muito Profundo	> 200 cm

Fonte: EMBRAPA (2020).

Para obtenção dos valores de capacidade de campo, foi analisado os tipos de solo existentes em Petrolina/PE, de acordo com a EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, e suas respectivas áreas, e, para isto, foi utilizado o software QGIS. Em seguida, os dados de capacidade de campo foram obtidos, por tipo de solo, através de estudos realizados e disponíveis em artigos.

Como citado anteriormente, a unidade utilizada para representar os valores de capacidade de campo, no presente trabalho, foi milímetros, sendo necessária então, uma conversão dos valores obtidos em outras unidades (GONÇALVES, 2010).

A Tabela 4 mostra os tipos de solo existentes na região de estudo, de acordo com a EMBRAPA, suas respectivas áreas e seus respectivos valores de capacidade de campo nas camadas superficial e subsuperficial.

Tabela 4 - Tipos de Solo no município de Petrolina/PE, Áreas (m²) e Capacidade de Campo (mm)

Tipo de Solo	Área Total (m ²)	Capacidade de Campo (mm)	
		Cam.Superficial (0-100cm)	Cam.Sub-superficial(100-200cm)
Argissolo Vermelho-Amarelo	233.153.847,24	56,4	217,9
Latossolo Vermelho-Amarelo	2.941.754.764,98	198,0	690,0
Neossolo Quatzarênico	541.360.766,02	96,6	300,0
Luvissolo	676.135.365,40	57,9	269,5
Neossolo Flúvico	3.676.778,82	99,6	300,0
Neossolo Regolítico	112.678.548,91	220,9	508,2
Neossolo Litólico	34.291.300,57	40,1	508,2

Fonte: A Autora (2020).

Para o presente trabalho, foi considerado que o cálculo do balanço hídrico seria realizado por posto pluviométrico. Dessa forma, é necessário obter os valores de capacidade de campo, das camadas superficial e subsuperficial, por área de influência de cada posto pluviométrico. Com isso, foi obtido a porcentagem de cada tipo de solo em cada área de influência e, então, foi realizado a média ponderada entre essas porcentagens e os valores de capacidade de campo por tipo de solo para se obter os valores finais.

A Tabela 5 mostra os valores finais de capacidade de campo em relação a porcentagem de cada tipo de solo presente nas áreas de influência de cada posto pluviométrico.

Tabela 5 - Valores finais de Capacidade de Campo (mm) em relação a porcentagem de cada tipo de solo existente em cada posto pluviométrico

Posto	Área (m ²) por tipo de solo		% por tipo de solo em rel. a área total do solo	Capacidade de Campo (mm)	
				Cam.Superficial (0-100cm)	Cam.Sub-superficial (100-200cm)
4	Neossolo Quartzarênico	138.643.734,88	25,61%	99,34	301,39
	Latossolo Vermelho-Amarelo	13.253.793,01	0,45%		
	Neossolo Flúvico	3.676.778,82	100,00%		
160	Luvissole	390.830.526,76	57,80%	108,80	409,63
	Argissolo Vermelho-Amarelo	36.475.357,38	15,64%		
	Latossolo Vermelho-Amarelo	1.214.617.905,68	41,29%		
	Neossolo Quartzarênico	29.795.303,68	5,50%		
	Neossolo Regolítico	1.461.002,84	1,30%		
161	Luvissole	200.620.688,76	29,67%	120,50	457,37
	Latossolo Vermelho-Amarelo	705.015.910,15	23,97%		
229	Neossolo Quartzarênico	66.766.376,88	12,33%	99,93	312,79
	Latossolo Vermelho-Amarelo	12.305.537,69	0,42%		
239	Neossolo Quartzarênico	39.208.546,54	7,24%	90,52	519,61
	Latossolo Vermelho-Amarelo	322.373.031,19	10,96%		
	Neossolo Litólico	8.310.087,38	24,23%		
240	Luvissole	84.684.149,86	12,52%	145,05	531,06
	Latossolo Vermelho-Amarelo	606.399.257,11	20,61%		
82893	Argissolo Vermelho-Amarelo	196.678.489,86	84,36%	112,17	397,60
	Neossolo Quartzarênico	266.946.804,04	49,31%		
	Neossolo Litólico	25.981.213,19	75,77%		
	Neossolo Regolítico	111.217.546,07	98,70%		
	Latossolo Vermelho-Amarelo	67.789.330,18	2,30%		

Fonte: A Autora (2020).

3.2. MÉTODO DE PALMER

O Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) consiste em realizar o cálculo do balanço hídrico, utilizando os períodos de maior seca para em cada um dos postos pluviométricos utilizados para esta pesquisa, na região de Petrolina/PE, e arbitrando valores representativos de uma seca extrema, severa, moderada e suave, através do parâmetro X.

3.2.1. Balanço Hídrico

Para o cálculo do balanço hídrico, é necessário obter a evapotranspiração potencial, que corresponde ao volume de água de saída de contorno, sendo o fator que determina as condições de umidade da região, juntamente com a chuva.

A evapotranspiração é o termo que se refere quando o solo perde água por evaporação ao mesmo tempo que a planta perde água por transpiração, enquanto que a evapotranspiração potencial representa a quantidade de água transpirada, em um determinado tempo, por uma vegetação verde e rasteira.

O método de Palmer utiliza o método de Thornthwaite para a obtenção da evapotranspiração potencial, entretanto, neste trabalho, foi utilizado o método de Hargreaves e Christiansen (1973).

A evapotranspiração potencial proposta por Hargreaves e Christiansen (1973) requer dados de temperatura, umidade e latitude, como apresenta a Equação 2.

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

Onde,

T – Temperatura média em graus celsius;

U – Umidade relativa média em porcentagem;

F – Fator mensal dependente da latitude tabelado (mm/mês)

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

Segundo Blain (2005), uma das principais etapas para a aplicação do método de Palmer é o cálculo dos elementos “Climatologicamente Apropriados às Condições Existentes” (CAFEC), e, para isso, é necessário obter os coeficientes de evapotranspiração (α), recarga (β), runoff (γ) e perda (δ), sendo calculados, respectivamente, de acordo com as Equações 3, 4, 5 e 6.

$$\alpha = \frac{ETR}{ETP} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{R}{PR} \quad (4)$$

$$\gamma = \frac{RO}{PRO} \quad (5)$$

$$\delta = \frac{L}{PL} \quad (6)$$

Onde,

ETR – Média mensal da evapotranspiração real (mm);

ETP – Média mensal da evapotranspiração potencial (mm);

R – Média mensal da recarga de água do solo (mm);

PR – Média mensal da recarga potencial (mm);

RO – Média mensal do runoff (mm);

PRO – Média mensal do runoff potencial (mm);

L – Média mensal da perda de água do solo (mm);

PL – Média mensal da perda de água potencial do solo (mm)

3.2.1.2. Elementos Climaticamente Apropriados para às Condições Existentes (CAFEC)

Como citado no tópico anterior, esta é uma das principais etapas do método de Palmer, em que os elementos climaticamente apropriados às condições existentes, necessários para o cálculo do balanço hídrico, são obtidos, respectivamente, através das Equações 7, 8, 9 e 10.

$$ETi = \alpha * ETPi \quad (7)$$

$$Ri = \beta * PRi \quad (8)$$

$$ROi = \gamma * PROi \quad (9)$$

$$Li = \delta * PLi \quad (10)$$

Onde,

ETi – Evapotranspiração Potencial Climatologicamente Apropriados para as Condições Existentes (mm);

ETPi – Evapotranspiração Potencial (mm);

Ri – Recarga Climatologicamente Apropriados para as Condições Existentes (mm);

PRi – Recarga Potencial (mm);

ROi – Recarga Potencial Climatologicamente Apropriados para as Condições Existentes (mm);

PROi – Escoamento superficial (Runnoff) (mm);

Li – Perda de água Potencial Climatologicamente Apropriados para as Condições Existentes (mm);

PLi – Perda Potencial de água do solo (mm);

i – i-ésimo mês.

Sabendo que, para o cálculo da Perda de água Potencial Climatologicamente Apropriados para as Condições Existentes (Li), Palmer (1965) considerou que o solo consistia em duas camadas, uma superficial (Ss) e outra sub-superficial (Su). Dessa forma, a camada sub-superficial só começaria a perder água quando a camada superficial perdesse totalmente a quantidade de água existente, concluindo que o valor de Li pode ser obtido pela Equação 11.

$$Li = Lsi + Lui \quad (mm) \quad (11)$$

Após a obtenção de todos os parâmetros citados anteriormente, deve-se obter, ainda, o valor da precipitação Climatologicamente Apropriados para as Condições Existentes, através da Equação 12.

$$Pi = ETi + Ri + ROi + Li \quad (mm) \quad (12)$$

3.2.1.3. Capacidade de Armazenamento de Água do solo

De acordo com Mello *et al.* (2002), a capacidade de campo corresponde a quantidade máxima de água retida pelo solo após a drenagem do excesso. Ainda de acordo com Mello *et al.* (2002), tal conceito sofreu várias interpretações distintas, o que causou grandes dificuldades para o entendimento e conseqüentemente a obtenção desse parâmetro.

Vários trabalhos e estudos foram realizados para obtenção da capacidade de campo, entre estes, o trabalho realizado por Ferreira & Marcos (1983) e Andrade *et al.* (1991), que sugeriram a tensão de 6 kPa como um possível valor estimativo do parâmetro de capacidade de campo. Entretanto os mesmos autores tinham o entendimento que esse valor de tensão levava em consideração uma subestimação da umidade, gerando imprecisão.

Muitos estudos foram realizados para o cálculo do valor da capacidade de campo. Entretanto no presente trabalho, esse parâmetro foi obtido através de uma média ponderada entre os valores de capacidade de armazenamento, para cada tipo de solo, multiplicados pela área correspondente ao perfil de sondagem e pela profundidade correspondente. Foi feito esse processo para as duas camadas de solo consideradas por Palmer (1965), a camada superficial e a sub-superficial. O valor encontrado, em m³, foi convertido para mm.

3.2.1.4. Deficiência, Excesso Hídrico ou Anomalia Hídrica “d”

O termo “déficit hídrico” corresponde a ocorrência quando as precipitações apresentam valores inferiores aos valores de evaporação e transpiração das plantas, sendo um valor negativo e que indica a quantidade de água necessária para repor a umidade do solo na capacidade de campo. Entretanto no que se refere a “excesso hídrico”, as precipitações são superiores aos valores de evaporação e transpiração das plantas, sendo um valor positivo e que indica a quantidade de água que deve ser drenada para que a umidade do solo atinja a capacidade de campo.

Dessa forma, a deficiência ou excesso hídrico é obtida (o) através da Equação 13.

$$d = P - P_i \text{ (mm)} \quad (13)$$

Onde,

P – Precipitação observada no mês em questão (mm);

P_i – Precipitação Climatologicamente Apropriados para as Condições Existentes no mês em questão (mm).

3.2.1.5. Fator de Ponderação “K”

De acordo com Palmer (1965), não era possível obter valores encontrados em um determinado mês e compará-los com valores obtidos em outro mês, também não sendo possível compará-los em localidades distintas. Segundo Blain (2005), o objetivo de Palmer (1965) era obter um índice padronizado que pudesse ser comparado em diferentes regiões e em qualquer época do ano. Dessa forma, era necessário padronizar o fator “d” em base regional (KARL, 1986). Assim, segundo Blain (2005), Palmer (1965) desenvolveu um fator “k”, em que se baseou em dados das regiões Central de Iowa e ocidental de Kansas nos Estados Unidos. Entretanto ao avaliar o fator “k” obtido, Palmer (1965) obteve um novo fator de caracterização

climática baseando-se em nove localidades dos Estados Unidos e nos respectivos climas, conhecido como fator de ponderação “K”, sendo dado pela Equação 14.

$$K = \frac{17,67 * K'}{\sum DK'} \quad (14)$$

Onde,

$$K' = 1,5 \log_{10} \left[\left(\frac{T + 2,8}{D} \right) \right] + 0,5 \quad (15)$$

Em que, D corresponde à média mensal dos valores absolutos de “d” e T é uma relação entre a demanda e o suprimento hídrico de uma área, sendo obtido pela Equação 16.

$$T = \frac{(ETP + R + RO)}{(P + L) +} \quad (16)$$

3.2.1.6. Índice de Anomalia de Umidade “Z”

De acordo com Blain (2005), o fator “Z” indica as condições hídricas de um determinado mês em questão, sem a interferência de meses precedentes, podendo indicar, ainda, um mês úmido dentro de uma prolongada seca. Valores de “Z” podem ser negativos, indicando períodos secos, ou valores positivos, indicando períodos úmidos. O fator “Z” é então a anomalia hídrica “d” ponderada/padronizada a partir do seu produto pelo fator regional “K”. O índice de anomalia de umidade “Z” pode ser obtido pela Equação 17.

$$Z = d * K \quad (17)$$

3.2.1.7. Equação Final do Índice de Palmer

Após a obtenção do fator “Z”, baseado no fator de ponderação “K”, Palmer (1965) obteve a sua equação final para seu índice, através de uma regressão linear simples entre o fator “Z” acumulado e o número de meses de ocorrência dos períodos de seca. A expressão final do índice de Palmer (1965) corresponde a Equação 18.

$$X_i = X_{i-1} + \frac{Z_i}{3} - 0,103 * X_{i-1} \quad (18)$$

Em que,

X_i – Valor do índice de Palmer do mês em questão;

X_{i-1} – Valor do índice de Palmer do mês precedente;

Z_i – Índice de anomalia de umidade no mês desejado.

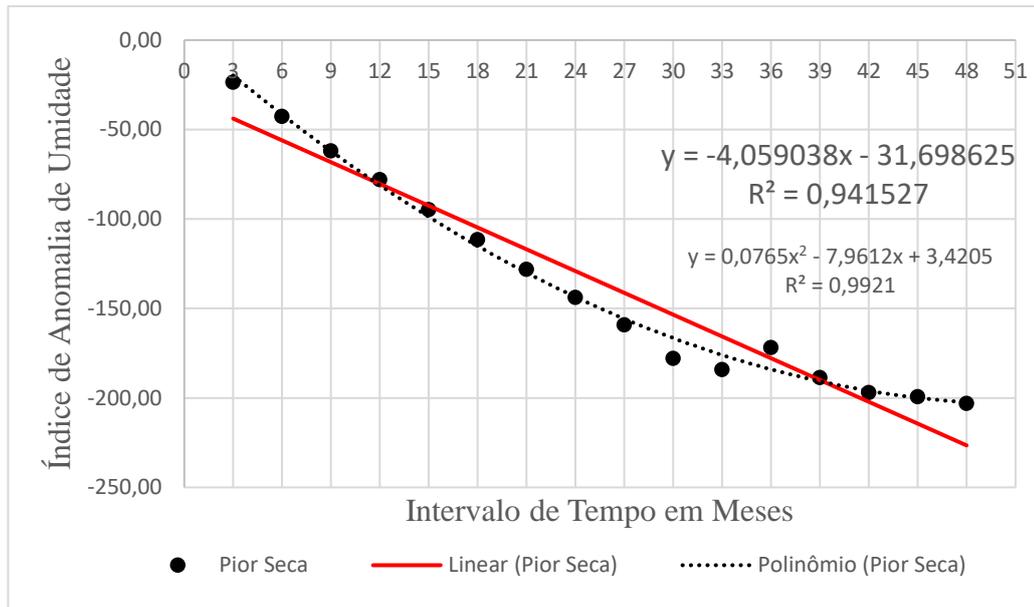
3.2.1.8. Adaptação do método de Palmer para o município de Petrolina/PE

O Índice de Severidade de Seca de Palmer foi desenvolvido nos Estados Unidos e a partir de dados obtidos em regiões do país, obtendo assim, particularidades climáticas que não correspondem com o clima da região de estudo do presente trabalho, município de Petrolina localizado no estado de Pernambuco, sendo necessário uma adaptação do método. A metodologia aplicada será descrita a seguir.

3.2.1.8.1. Definição dos piores valores de z

Para a obtenção da equação final do método, primeiramente, para obtenção da equação do somatório de z, Palmer utilizou os piores períodos de secas. O valor de “z” faz referência a primeira aproximação do índice de anomalia de umidade, transformando-se em “Z” (Índice de Anomalia de Umidade final) a medida que o valor de “K” é melhor estimado. Da mesma forma, para a presente pesquisa, foi obtido os piores valores de “z” em cada posto pluviométrico. Além disso, os intervalos estabelecidos foram de 3, 6, 9, 12, ..., até 48 meses. Com os valores, foi analisado e escolhido o pior somatório de “z” para cada um dos intervalos de tempo entre os 7 postos pluviométricos. A Figura 4 mostra os somatórios dos piores valores de “z” relacionados aos intervalos de tempo escolhidos. A partir dos pontos, foi feito um ajuste linear e obteve-se, em seguida, a Equação 19 da reta.

$$\sum z = -4,059038 * t - 31,698625 \quad (19)$$

Figura 4: Gráfico piores secas (Σz) para diversos períodos de tempo

Fonte: A Autora (2020).

3.2.1.8.2. Adaptação do fator X

Para a presente pesquisa, foram estimados novos intervalos de intensidade das secas, constituindo uma nova classificação, utilizando os valores dos somatórios de “z”. Originalmente, de acordo com os 9 postos utilizados na pesquisa, Palmer (1965) definiu o valor de X igual a -4 como referência a uma seca extrema, entretanto, para adaptação do município de Petrolina, o valor de -7 foi o proposto para referenciar uma seca extrema, pois definiria melhor e de maneira mais coerente, usando, como o critério de escolha, a divisão dos intervalos de forma que a porcentagem da frequência de cada tipo de seca ficasse aproximadamente similar, conforme a Tabela 6.

Tabela 6 - Distribuição dos valores por intervalo do PDSI

Intervalo	Classificação	Frequência	%
0,00 a -3,49	Próximo ao normal	624	20,207
-3,50 a -4,99	Pouco seco	593	19,203
-5,0 a -5,99	Moderadamente seco	606	19,624
-6,00 a -6,99	Muito seco	742	24,028
$\leq -7,00$	Extremamente seco	523	16,937
		3088	100

Fonte: A Autora (2020).

3.2.1.8.3. Determinação da nova equação do PDSI

Considerando o valor de -7 como o limite para classificar uma seca extrema, foi obtido uma primeira aproximação para a equação da severidade de seca. Analisando o gráfico das piores secas e utilizando pontos que eram melhor representados pelo ajuste linear, foi criado um sistema que resultasse nos coeficientes a e b da Equação 20.

$$Xi = \sum_{t=1}^i zi / (0,5590 * t + 5,1220) \quad (20)$$

Como citado anteriormente, a Equação 20 é a primeira aproximação para quantificar a seca. Segundo Palmer, a equação ainda necessita de uma constante “c” para evitar que, por exemplo, um mês anormalmente úmido reflita nos valores de $\sum z$ por longos períodos, disfarçando a seriedade de uma seca futura.

Para encontrar o valor de “c” relativo a equação 20, inicialmente considerou-se a contribuição individual de cada mês, considerando $i = 1$ e $t = 1$, chegando a Equação 21.

$$Xi = \frac{z1}{5,6809} \quad (21)$$

Para Palmer (1965), a equação deve incluir a constante “c” de acordo com a Equação 22.

$$\Delta Xi = \frac{z1}{5,6809} + c * Xi - 1 \quad (22)$$

Considerando Xi como a 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 de interesse é a que mantém uma dada seca com a mesma severidade, ou seja, considerando $\Delta X = 0$, da mesma forma que as outras variáveis da Equação 22 se comporta.

Assim como Palmer, foi criada a Tabela 7 como auxílio para obtenção da constante “c”.

Tabela 7 - Ajuste do valor de “c” na equação do PDSI

t_{i-1}	X_{i-1}	$\sum z_{i-1}$	ΔX_i	t_i	X_i	$\sum z_i$	Δz_i
1	-1	-5,68093	0	2	-1	-6,23988	-0,55896
9	-1	-10,1526	0	10	-1	-10,7115	-0,55896
1	-3	-17,0428	0	2	-3	-18,7196	-1,67687
9	-3	-30,4577	0	10	-3	-32,1346	-1,67687

Fonte: A Autora (2020).

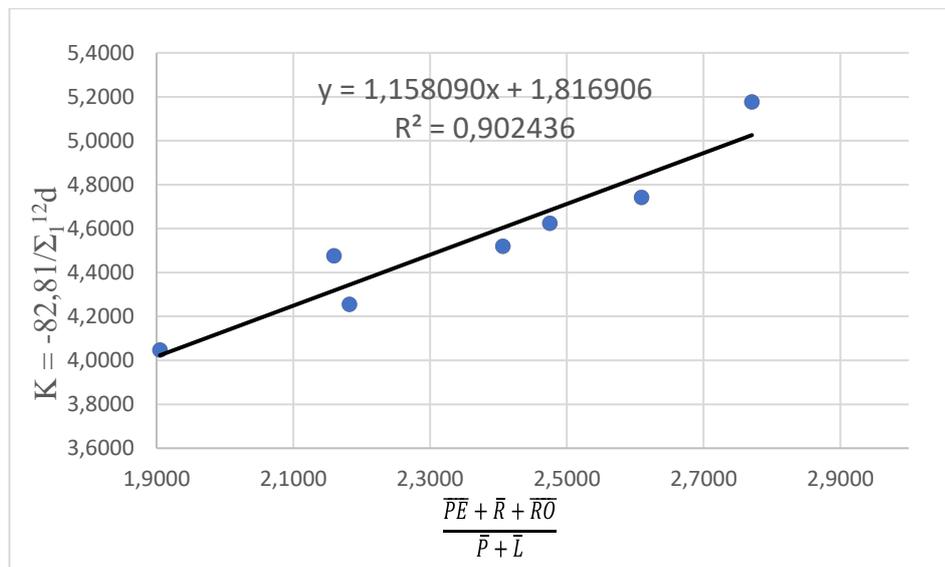
Inicialmente, foi possível obter o valor de z para os dois meses subsequentes arbitrados, considerando que não haveria nenhuma alteração na severidade da seca ($\Delta X = 0$). Em seguida, foi possível encontrar $\Delta z = \sum z_i - \sum z_{i-1}$, que é o valor usado na Equação 22 para calcular o c . Após manipulações algébricas, o valor da constante “ c ” encontrado para os dados do município de Petrolina/PE foi de -0,09839, resultando na equação final do PDSI, a Equação 23.

$$\Delta X_i = \frac{z_i}{5,6809} - 0,09839 * X_{i-1} - 1 \quad (23)$$

3.2.1.8.4. Determinação da nova equação do K

Para o primeiro valor suposto de “ k ”, Palmer (1965) percebeu que os resultados não eram coerentes com a realidade de alguns postos pluviométricos analisados, sendo necessário, então, desenvolver outra metodologia para definir valores coerentes para o fator de ponderação regional. Da mesma forma que Palmer, para o presente trabalho, utilizou-se a mesma metodologia do artigo original, no qual foi obtida a equação a partir dos pontos plotados em um gráfico, em que, nas abscissas encontra-se a relação entre as variáveis do balanço hídrico $[(PE + R + RO)/(P + L)]$, sem considerar o valor somado de 2,80 como feito por Palmer, e nas ordenadas encontra-se uma relação entre o valor do pior somatório de “ z ” para o período de 12 meses ($\sum z_{12} = -82,81$) e os piores somatórios de “ d ” também para o período de 12 meses para cada posto pluviométrico analisado. A Figura 5 representa o gráfico elaborado.

Figura 5: Gráfico do ajuste linear para K



Fonte: A Autora (2020).

A partir da Figura 5, utilizou-se o ajuste linear para os pontos plotados, o que gerou a Equação 24 a seguir.

$$K' = 1,158090 \left(\frac{\overline{PE} + \overline{R} + \overline{RO}}{\frac{\overline{P} + \overline{L}}{\overline{D}}} \right) + 1,816906 \quad (24)$$

A Equação 24 foi a segunda estimativa de “K” e considerada, então, a nova equação do fator de ponderação regional, e, a partir desta, foi possível obter o valor de DK’ médio dos 7 postos pluviométricos, conforme demonstrado no Apêndice 3, resultando no valor da constante da equação final de “K”. A Equação 25 representa a equação final de “K” com valor obtido de DK’ igual a 89,0230.

$$K = \frac{89,0230}{\sum_1^{12} \overline{DK}'} K' \quad (25)$$

3.3. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Para a pesquisa em questão, a aplicação da metodologia descrita anteriormente foi aplicada através de planilhas eletrônicas automatizadas por macros, que foram desenvolvidas por Faeirstein (2018). Foram aplicadas, para os 7 postos pluviométricos do município de Petrolina/PE, as planilhas eletrônicas e, através das mesmas, foi possível realizar as análises e resultados após todos os procedimentos realizados.

4. ANÁLISES E RESULTADOS

Após a aplicação do método adaptado, foi possível obter as análises e resultados, que serão discutidos e detalhados a seguir.

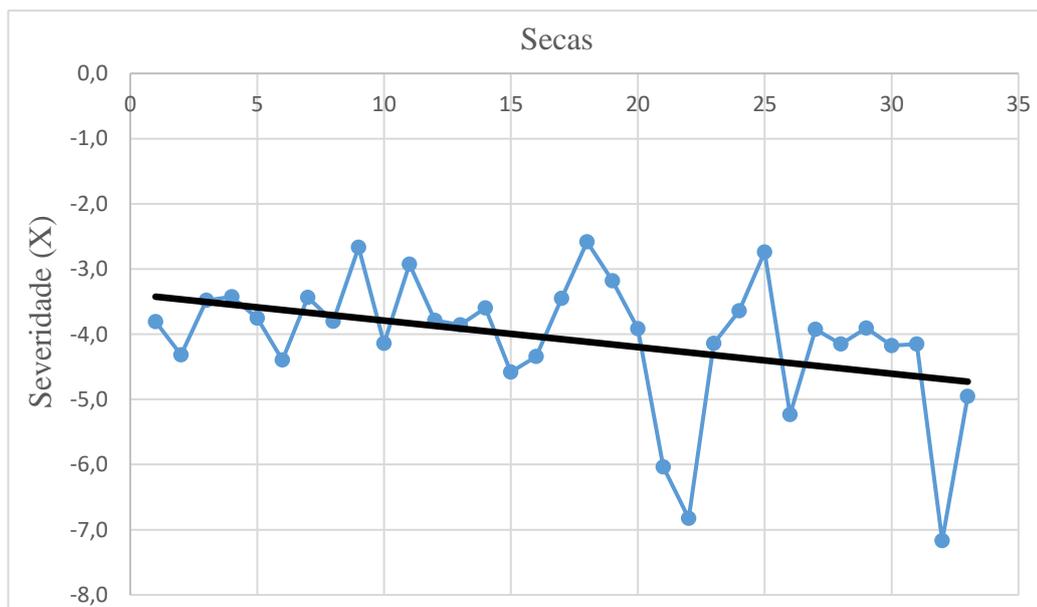
4.1. Análises dos 7 postos pluviométricos

Para uma análise geral da severidade e duração das secas na região de estudo que será melhor discutido em outro tópico, foi realizado, a princípio, uma análise detalhada de cada posto pluviométrico. Foram realizados gráficos e regressões lineares referentes as severidades das secas e durações das mesmas, e então foi possível analisar a tendência de cada posto. Dessa forma, as análises serão discutidas a seguir e os resultados referentes à todas as secas, suas severidades e durações em cada posto encontram-se no Apêndice 1.

4.1.1. Posto 4

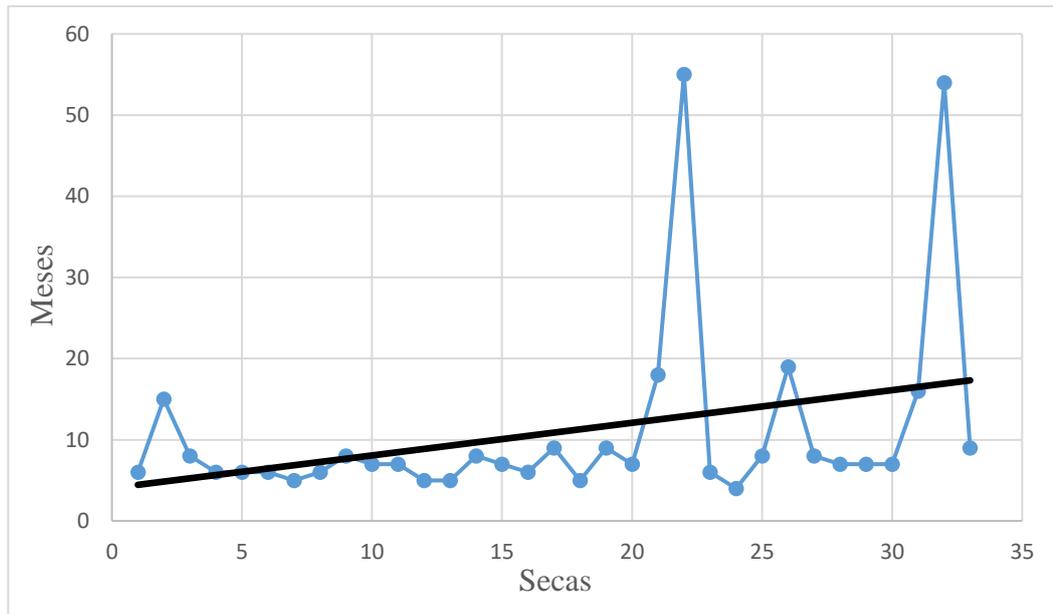
O Posto 4, localizado nas coordenadas geográficas $9^{\circ}23'57.14''S$, $40^{\circ}31'3.03''O$, para o período de 1961 a 2015, possui uma tendência de diminuição na severidade (**Figura 6**) e aumento nas durações das secas (**Figura 7**), obtendo secas cada vez mais extremas.

Figura 6: Severidade das Secas do Posto Pluviométrico 4



Fonte: A Autora (2020).

Figura 7: Duração das Secas do Posto Pluviométrico 4



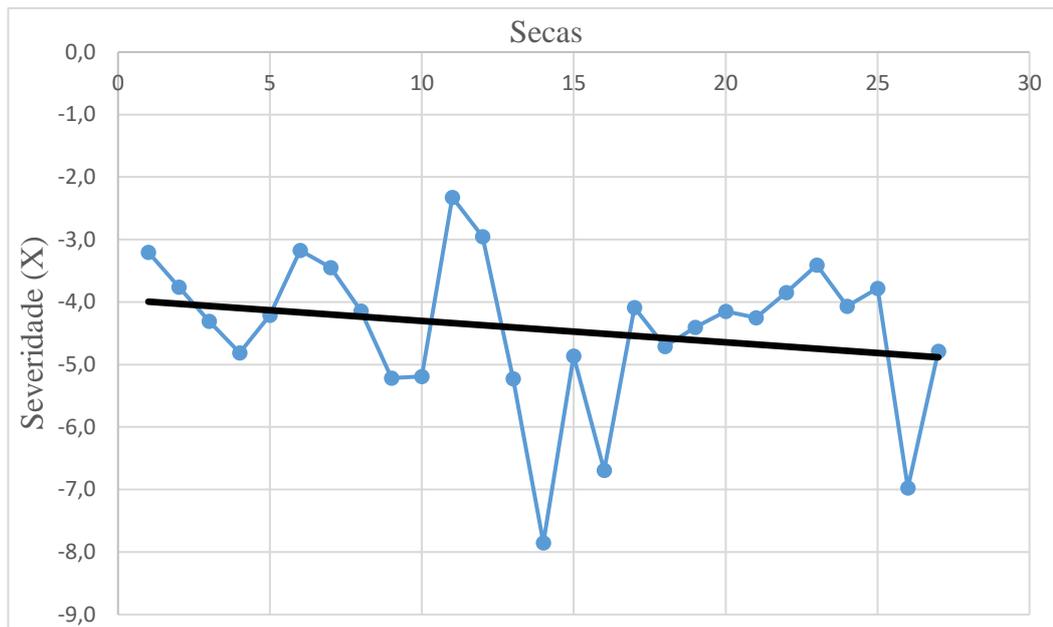
Fonte: A Autora (2020).

Ao analisar os gráficos da **Figura 6** e da **Figura 7**, em cada um, pode-se notar dois pontos bastante distantes da linha principal, o que faz perceber que em dois momentos do período histórico analisado as secas são absolutamente extremas e possuem um longo período de duração. Tais pontos fazem referência às secas 22 e 32, com valores de X iguais a -6,8 e -7,2, e duração de 55 e 54 meses, respectivamente.

4.1.2. Posto 160

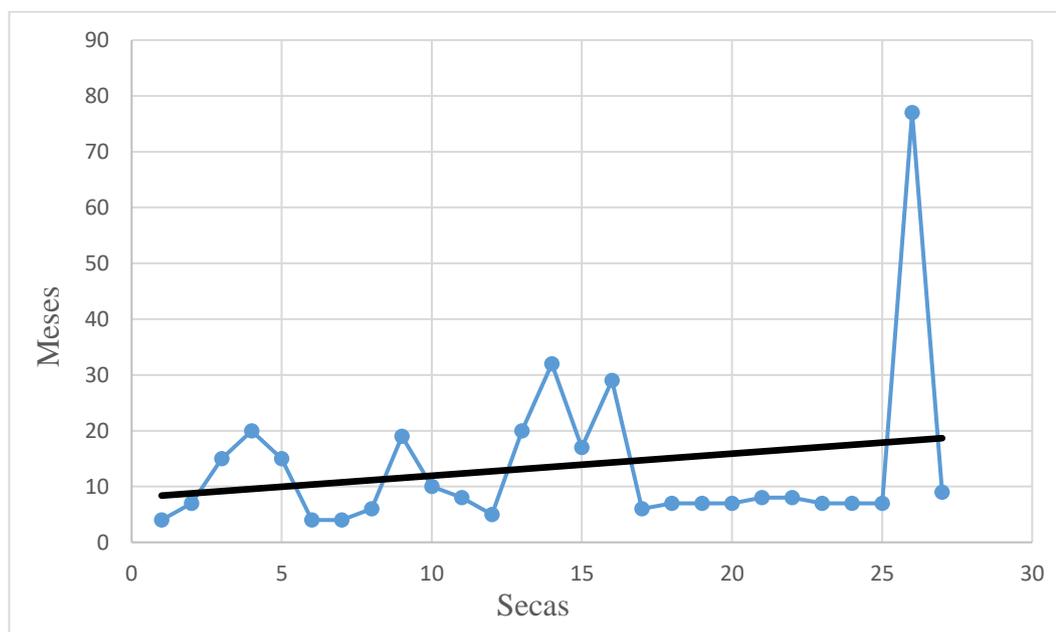
O Posto 160, localizado nas coordenadas geográficas 8°56'25.08"S, 40°34'24.96"O, para o período de 1961 a 2015, apresenta uma tendência de diminuição na severidade das secas e um aumento das respectivas durações, encaminhando-se para uma classificação de seca cada vez mais extrema. A **Figura 8** e a **Figura 9** representam a severidade das secas e a duração das mesmas, respectivamente.

Figura 8: Severidade das Secas do Posto Pluviométrico 160



Fonte: A Autora (2020).

Figura 9: Duração das Secas do Posto Pluviométrico 160



Fonte: A Autora (2020).

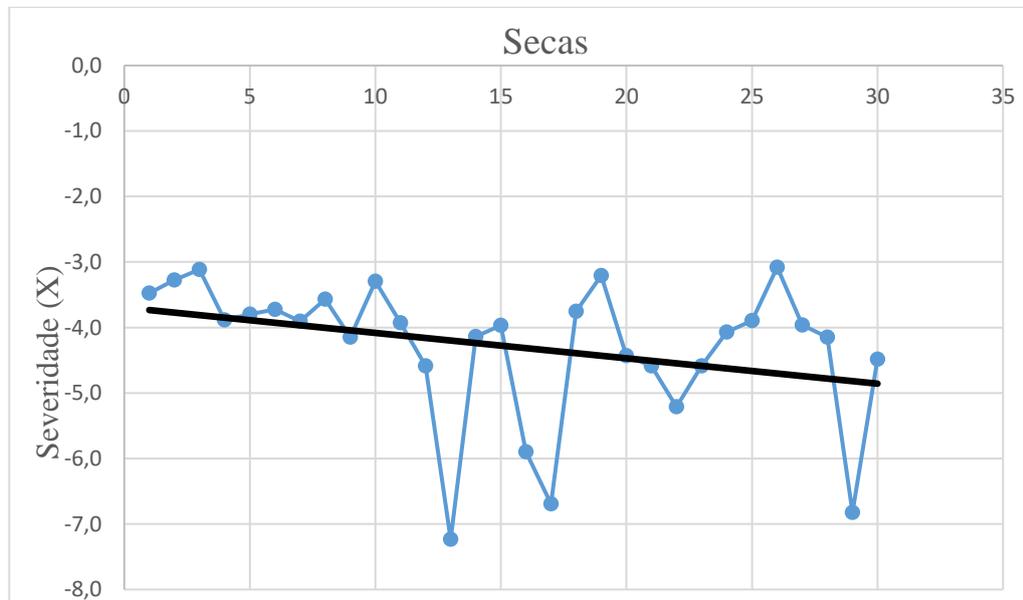
Diferentemente do posto 4, o posto 160 possui apenas um pico bastante distante da linha, de acordo com o gráfico da Figura 9, sendo uma situação pouco pior ao comparada com a situação do posto anteriormente analisado. O ponto refere-se à seca 26, com valor de X igual a -7,0 e duração de 77 meses, classificado, também, como uma seca extrema.

Apesar da seca 14 ser a mais extrema de todas as outras, com X igual a -7,9, a mesma não apresenta uma duração tão elevada como apresenta a seca 26.

4.1.3. Posto 161

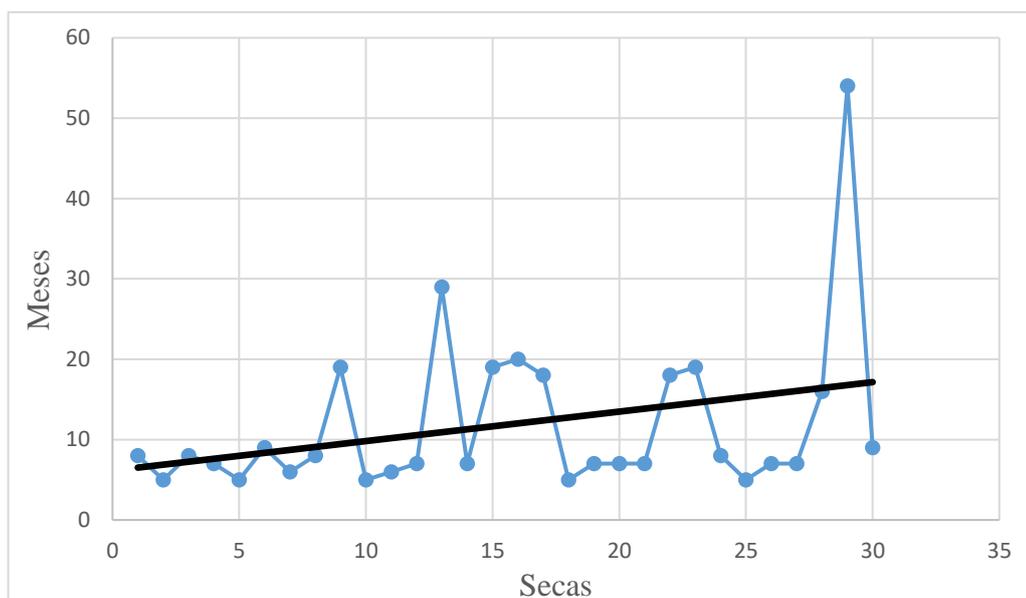
O Posto 161, localizado nas coordenadas geográficas 8°48'42.84"S, 40°49'46.92"O, para o período de 1961 a 2015, apresenta uma tendência de diminuição na severidade das secas e um aumento das respectivas durações, encaminhando-se para uma classificação de seca cada vez mais extrema. A Figura 10 e a Figura 11 representam a severidade das secas e a duração das mesmas.

Figura 10: Severidade das Secas do Posto Pluviométrico 161



Fonte: A Autora (2020).

Figura 11: Duração das Secas do Posto Pluviométrico 161



Fonte: A Autora (2020).

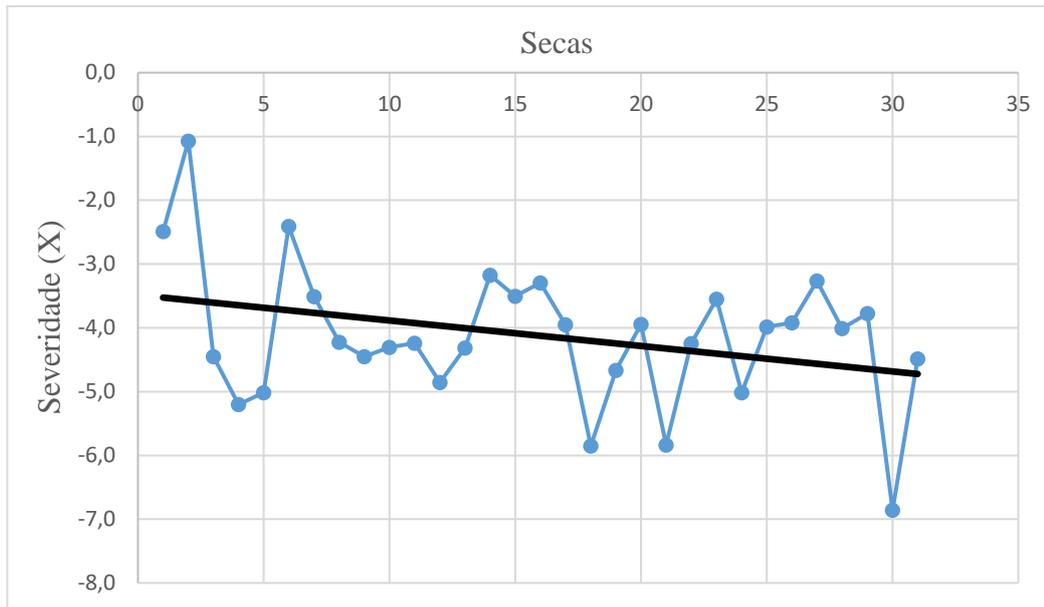
Através do gráfico da Figura 11 pode-se perceber que existe apenas um único momento de longa duração, referente à seca 29, classificada como extrema (X igual a -6,8 pelo gráfico da Figura 10) com duração de 54 meses.

Vale salientar que, analisando o gráfico da Figura 10, a pior seca, referente à seca 13, considerada como extrema, com valor de X igual a -7,2, possui uma duração menor, correspondente a 29 meses, ao comparada com a seca 29.

4.1.4. Posto 229

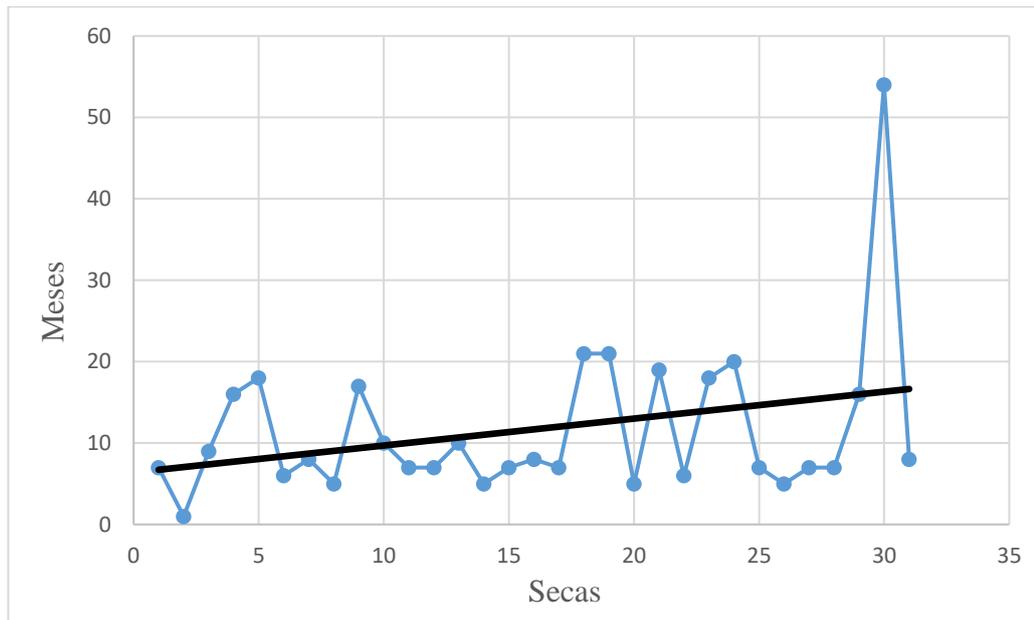
O Posto 229, localizado nas coordenadas geográficas 9°23'49.92"S, 40°43'32.16"O, para o período de 1961 a 2015, apresenta uma tendência de diminuição na severidade das secas e um aumento das respectivas durações, encaminhando-se para uma classificação de seca cada vez mais extrema. A Figura 12 e a Figura 13 representam a severidade das secas e a duração das mesmas.

Figura 12: Severidade das Secas do Posto Pluviométrico 229



Fonte: A Autora (2020).

Figura 13: Duração das Secas do Posto Pluviométrico 229



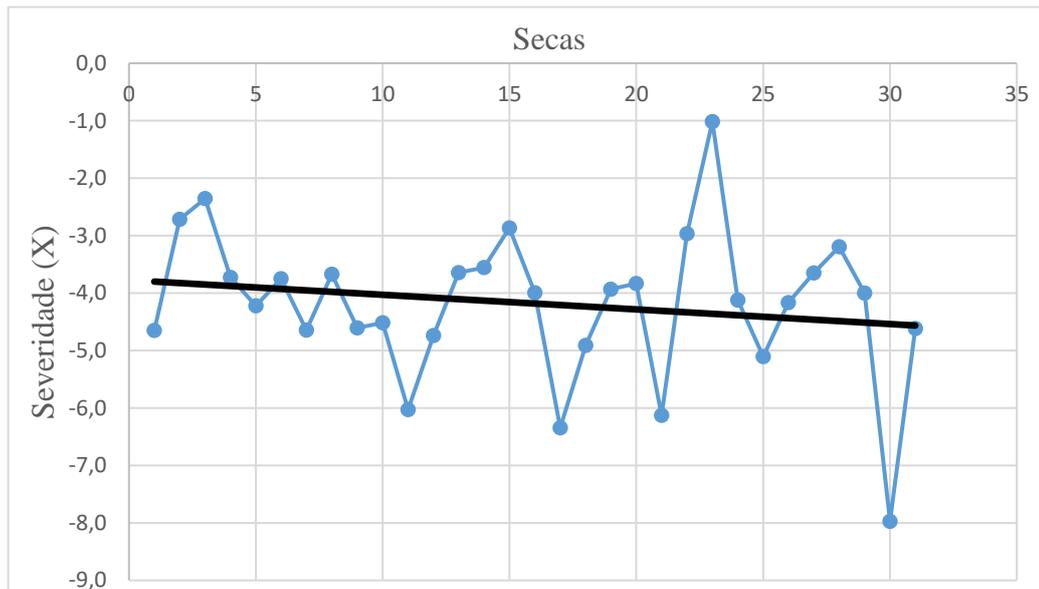
Fonte: A Autora (2020).

Analisando os gráficos da Figura 13, percebe-se que existe um único pico, referente à seca 30, classificada como extrema, com valor de X igual a -6,9, e apresentando uma longa duração, correspondente a 54 meses.

4.1.5. Posto 239

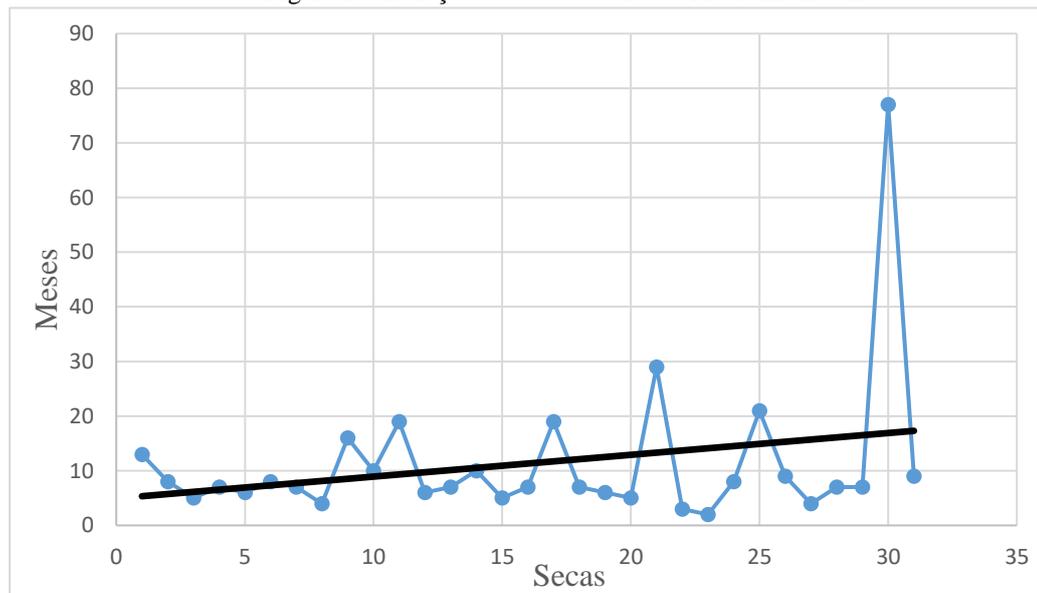
O Posto 239, localizado nas coordenadas geográficas $9^{\circ}20'18.96''S$, $40^{\circ}41'18.96''O$, para o período de 1961 a 2015, apresenta uma tendência de diminuição na severidade das secas e um aumento das respectivas durações, encaminhando-se para uma classificação de seca cada vez mais extrema. A Figura 14 e a Figura 15 representam a severidade das secas e a duração das mesmas.

Figura 14: Severidade das Secas do Posto Pluviométrico 239



Fonte: A Autora (2020).

Figura 15: Duração das Secas do Posto Pluviométrico 239



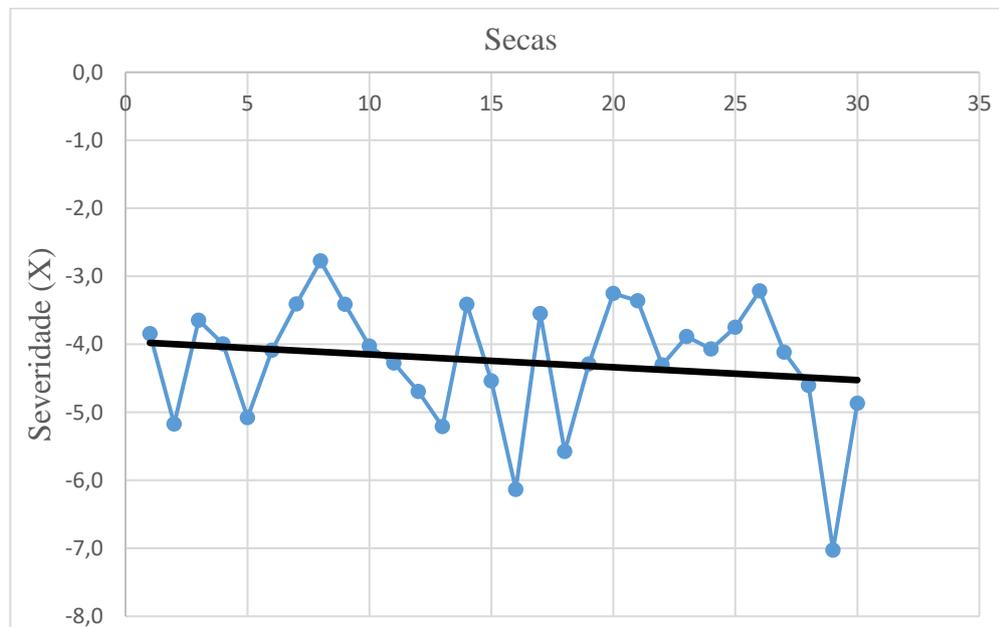
Fonte: A Autora (2020).

Ao analisar o gráfico da Figura 15, nota-se apenas um momento de longa duração, com 77 meses. Refere-se à seca 30, que é a pior seca do período histórico em análise, classificada como extrema e com valor de X igual a -8,0.

4.1.6. Posto 240

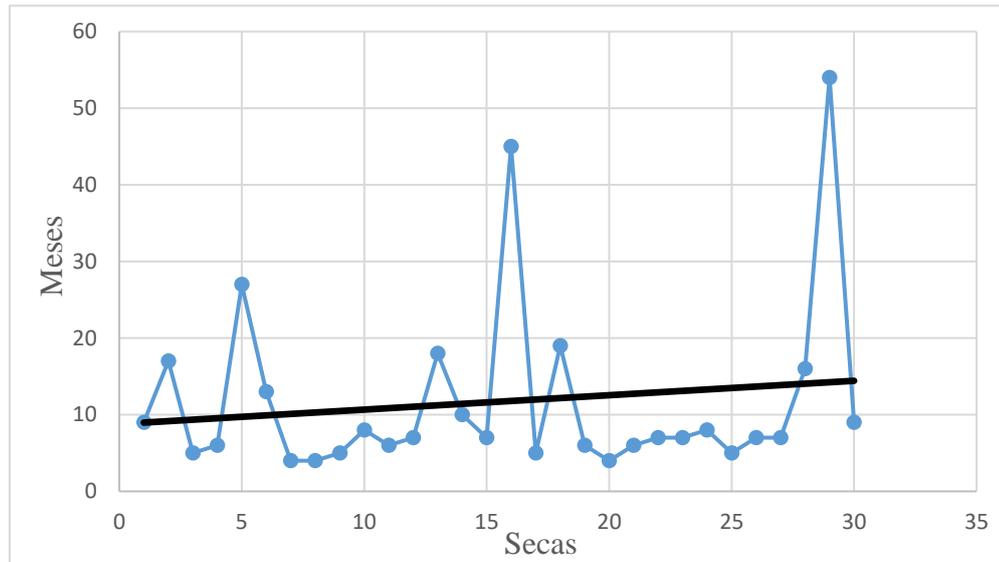
O Posto 240, localizado nas coordenadas geográficas 8°42'23.04"S, 40°24'52.92"O, para o período de 1961 a 2015, apresenta uma tendência de diminuição na severidade das secas e um aumento das respectivas durações, encaminhando-se para uma classificação de seca cada vez mais extrema. A Figura 16 e a Figura 17 representam a severidade das secas e a duração das mesmas.

Figura 16: Severidade das Secas do Posto Pluviométrico 240



Fonte: A Autora (2020).

Figura 17: Duração das Secas do Posto Pluviométrico 240



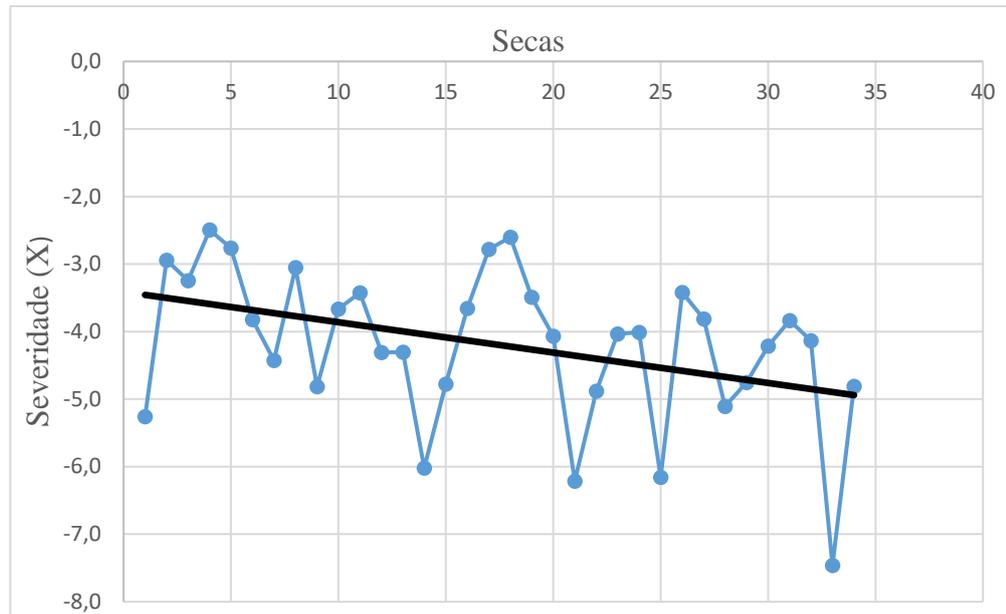
Fonte: A Autora (2020).

Analisando a Figura 17, o posto 240 possui um pico elevado, referente à seca 29, com duração de 54 meses. Refere-se à pior seca do período histórico em análise, classificada como extrema e com valor de X igual a -7,0. Além desse, existe outro pico que se destaca na Figura 17, referente à um período de 45 meses de duração, sendo uma seca extrema com valor de X igual a -6,1.

4.1.7. Posto 82983

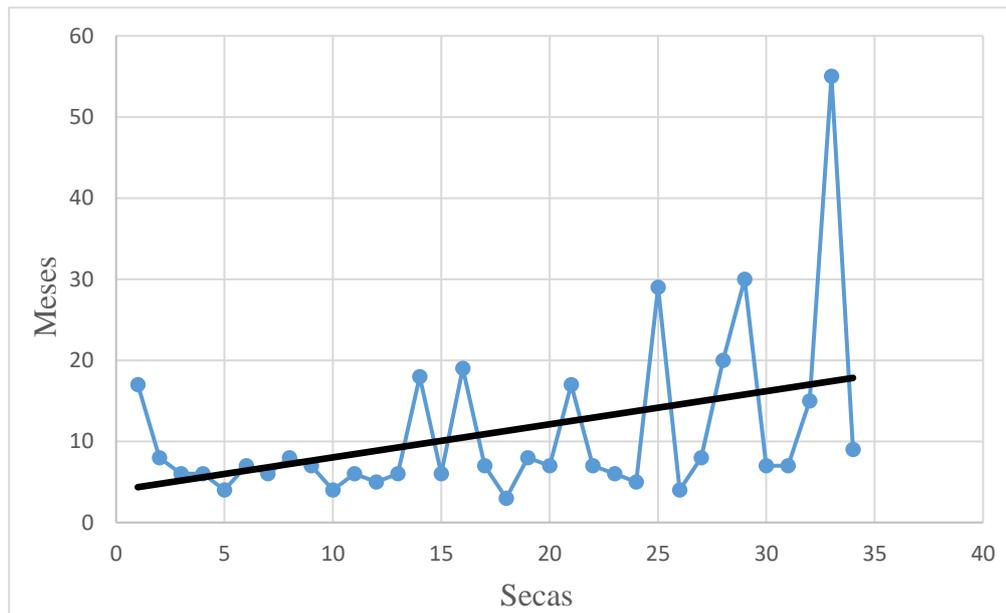
O Posto 82983, localizado nas coordenadas geográficas 9°22'0.12"S, 40°28'0.12"O, para o período de 1961 a 2015, apresenta uma tendência de diminuição na severidade das secas e um aumento das respectivas durações, encaminhando-se para uma classificação de seca cada vez mais extrema. A Figura 18 e a Figura 19 representam a severidade das secas e a duração das mesmas, respectivamente.

Figura 18: Severidade das Secas do Posto Pluviométrico 82983



Fonte: A Autora (2020).

Figura 19: Duração das Secas do Posto Pluviométrico 82983



Fonte: A Autora (2020).

Ao analisar o gráfico da Figura 19, pode-se perceber a existência de um único período de longa duração, correspondente à seca 33 com 55 meses de duração. Tal seca é considerada extrema, com valor de X igual a -7,5 e sendo a pior seca do período histórico de análise, de acordo com o gráfico da Figura 18.

4.2. RESUMO DAS ANÁLISES DOS 7 POSTOS PLUVIOMÉTRICOS

Conforme mostrado e comentado nos tópicos anteriores, foi possível perceber detalhadamente as tendências e características das secas referentes a cada posto pluviométrico estudado, entretanto, é possível obter um resumo geral, como mostrado na Tabela 6 e uma melhor compreensão ao visualizar os gráficos da Figura 20 e da Figura 21 referentes às tendências das severidades e das durações, respectivamente, das secas de cada posto pluviométrico.

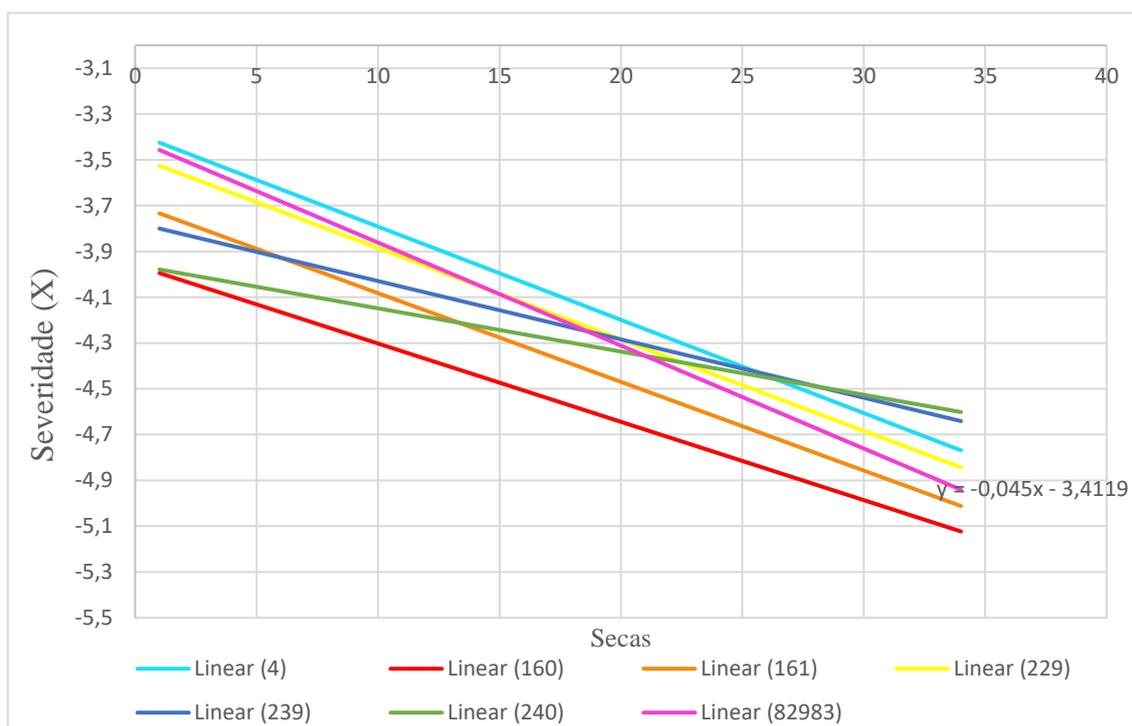
É necessário ressaltar que, quanto menor o valor de X, mais extrema é a seca, e quanto maior for esse valor, mais leve é a mesma. Além disso, as durações obtidas na Tabela 8 estão em meses, assim como nos gráficos anteriores.

Tabela 8 - Resumo Geral das Análises dos 7 Postos Pluviométricos

Posto	Tendência		Quantidade de secas	Seca mais extrema			Seca mais leve			X Médio
	Severidade das Secas	Duração das Secas		Seca	X mínimo	Duração (meses)	Seca	X máximo	Duração (meses)	
4	Diminuir	Aumentar	33	32	-7,2	54	18	-2,6	5	-4,1
160	Diminuir	Aumentar	27	14	-7,9	32	11	-2,3	8	-4,4
161	Diminuir	Aumentar	30	13	7,2	29	26	-3,1	7	-4,3
229	Diminuir	Aumentar	31	36	-6,9	54	2	-1,1	1	-4,1
239	Diminuir	Aumentar	31	30	-8,0	77	23	-1,0	2	-4,2
240	Diminuir	Aumentar	30	29	-7,0	54	8	-2,8	8	-4,3
82983	Diminuir	Aumentar	34	33	-7,5	55	4	-2,5	6	-4,2

Fonte: A Autora (2020).

Figura 20: Tendências da Severidade das Secas dos 7 Postos Pluviométricos

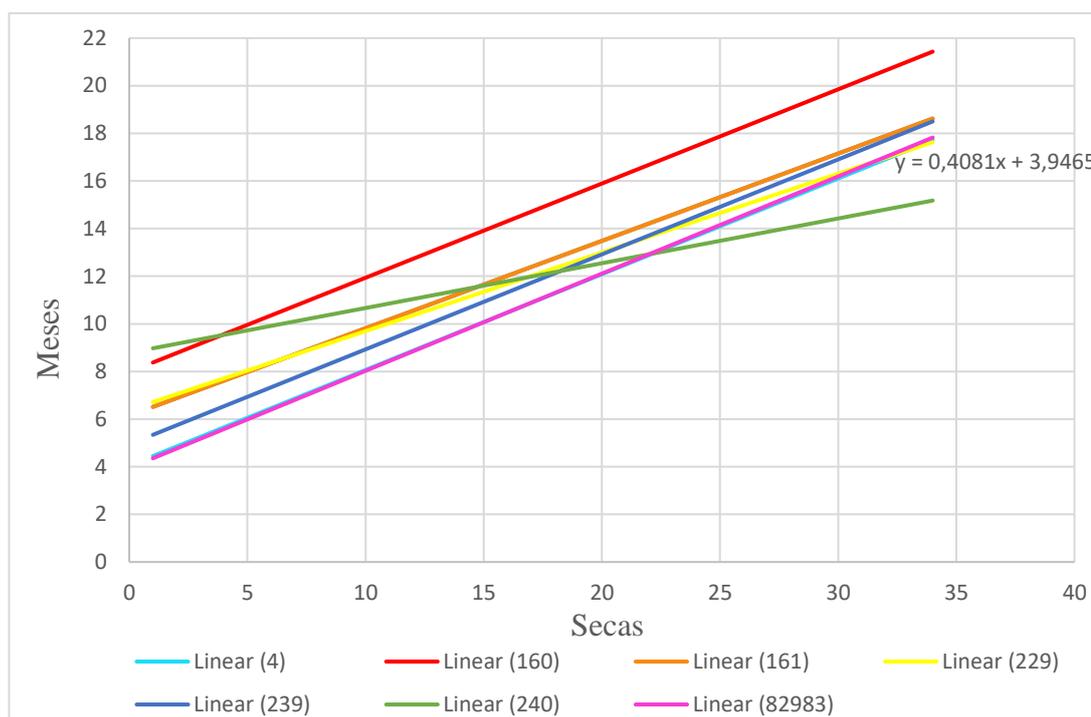


Fonte: A Autora (2020).

Ao analisar o gráfico da Figura 20, nota-se que todos os postos possuem a mesma tendência quanto à severidade das secas, ou seja, para todos os postos, a severidade diminui de acordo com que as secas ocorrem.

Outra análise cabível a este gráfico é o destaque do posto 82983 ao perceber que a inclinação da reta é a mais abrupta, conforme equação indicada no gráfico, concluindo que, ao longo de suas secas, a severidade diminui mais rapidamente ao comparar com os outros postos, tendendo, cada vez mais, a uma seca mais extrema.

Figura 21: Tendência da Duração das Secas dos 7 Postos Pluviométricos



Fonte: A Autora (2020).

Da mesma forma que acontece para a severidade, todos os postos possuem a mesma tendência quanto a duração de suas secas, ao analisar o gráfico da Figura 21, ou seja, de acordo com que as secas ocorrem, cada vez mais suas durações aumentam.

O destaque para este gráfico é a linha de tendência do posto 82983, submetendo a uma análise que, por sua reta possuir uma maior inclinação que as demais, suas secas tendem a aumentar de duração mais rapidamente ao comparar com os outros postos.

Outro fator que chama atenção neste gráfico é a grande similaridade das retas referentes aos postos 4 e 82983, que implica um crescimento quanto as durações das respectivas secas quase que iguais, apesar de suas tendências quanto as severidades serem distintas de acordo com a Figura 20.

4.3. ANÁLISE DO MUNICÍPIO DE PETROLINA/PE

Assim como foram feitas as análises para os postos pluviométricos utilizados na presente pesquisa, foi realizada a análise para o município de Petrolina para melhor analisarmos a situação geral da cidade, assim como as características e tendência quanto às secas. Os resultados referentes à todas as secas, suas severidades e durações no município de Petrolina/PE encontram-se no Apêndice 2.

Para esta análise, o método de aplicação foi o mesmo, através de planilhas eletrônicas, mas a obtenção de dados para alimentar as planilhas foi diferente. Para a obtenção dos dados de precipitação médios para cada mês de cada ano da região, foi utilizado o Método do Polígono de Thiessen e a Equação 26, por este relacionado.

$$P_m = \frac{\sum A_i * P_i}{A} \quad (26)$$

Em que,

P_m - Precipitação média na região (mm);

P_i – Precipitação no posto i (mm);

A_i – Área de influência do posto i (m²);

A – Área total da região (m²)

No tocante aos dados de latitude, capacidade de campo inferior e capacidade de campo superior, foi utilizada a mesma metodologia para o cálculo da precipitação média para cada mês de cada ano, como mostrado nas Equações 27, 28 e 29.

$$L_m = \frac{\sum A_i * L_i}{A} \quad (27)$$

Em que,

L_i – Latitude do posto i

$$CCI = \frac{\sum A_i * CCI_i}{A} \quad (28)$$

Em que,

CCI_i – Capacidade de campo inferior do posto i

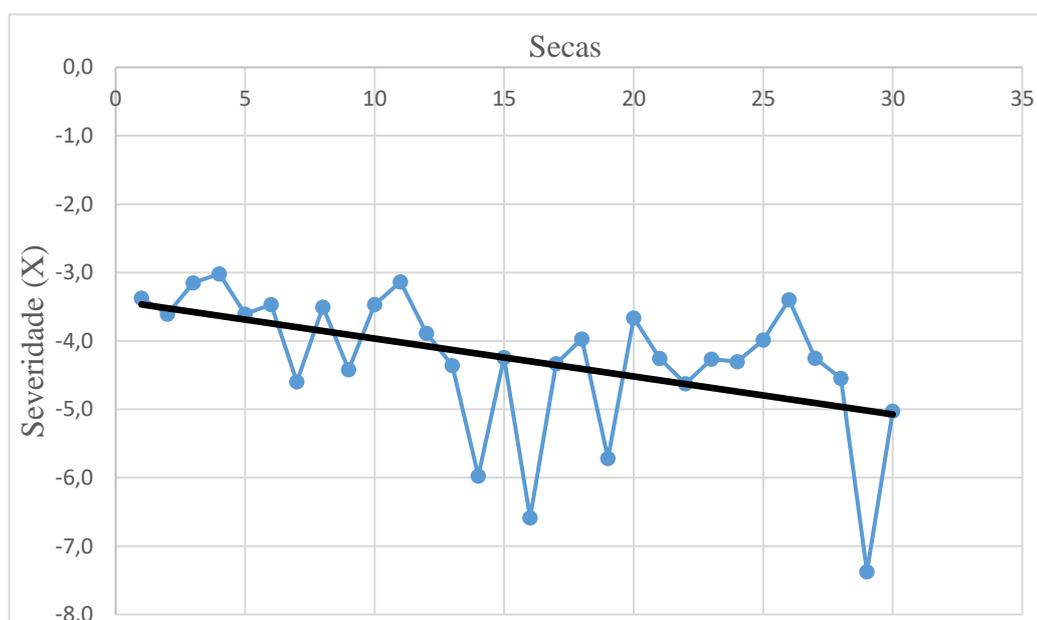
$$CCS = \frac{\sum A_i * CCS_i}{A} \quad (29)$$

Em que,

CCSi – Capacidade de campo superior do posto i

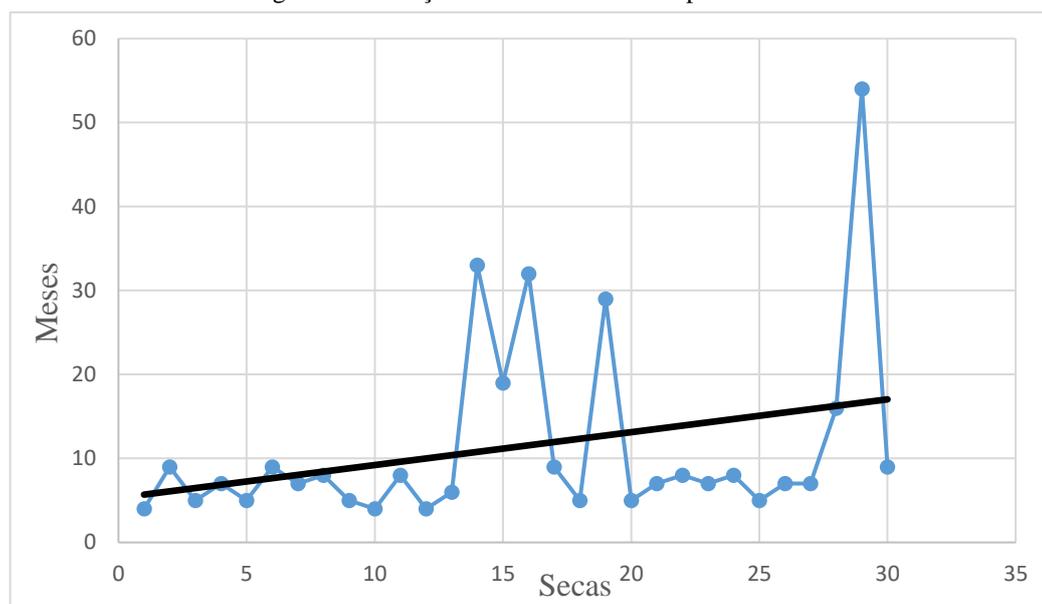
Após a aplicação da metodologia, o município de Petrolina/PE, localizado nas coordenadas geográficas $9^{\circ} 23' 34''$ S, $40^{\circ} 30' 28''$ O, para o período de 1961 a 2015, apresenta uma tendência de diminuição na severidade das secas e um aumento das respectivas durações, encaminhando-se para uma classificação de seca cada vez mais extrema. A Figura 22 e a Figura 23 representam a severidade das secas e a duração das mesmas, respectivamente.

Figura 22: Severidade das Secas do Município de Petrolina/PE



Fonte: A Autora (2020).

Figura 23: Duração das Secas do Município de Petrolina/PE



Fonte: A Autora (2020).

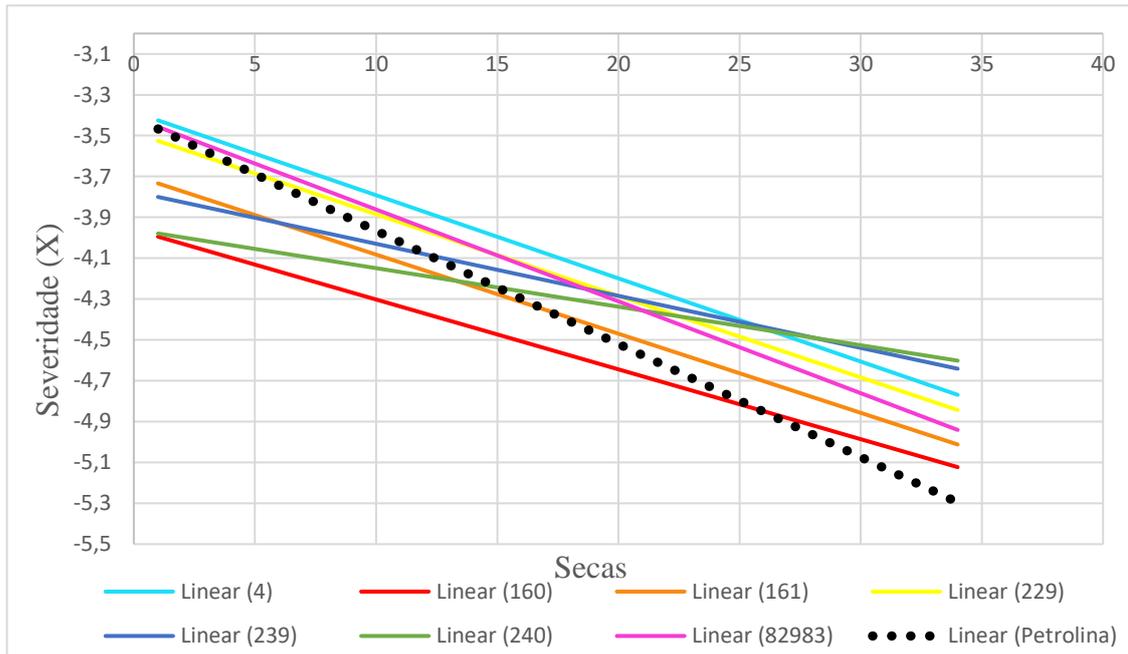
Ao analisar o gráfico da Figura 23, percebe-se a existência de um único pico bastante discrepante da linha principal, referente à seca 29 caracterizada por um longo período de duração, correspondente a 54 meses. A seca 29 é a pior seca do período histórico analisado, possuindo um valor de X igual a $-7,4$ e classificada como extrema.

Como esperado, a tendência e características das secas no município de Petrolina, no período de 1961 a 2015, estão coerentes com as análises observadas nos 7 postos pluviométricos utilizados na pesquisa, caracterizando a boa representatividade dos mesmos e das metodologias adaptadas e utilizadas na obtenção dos dados da análise do município, assim mostradas nas equações 23, 24 e 25.

4.4. ANÁLISE GERAL

Assim como para os 7 postos, é possível analisar a tendência das secas de Petrolina comparada as tendências dos 7 postos pluviométricos de uma maneira visual. A Figura 24 e a Figura 25 mostram, respectivamente, essas análises.

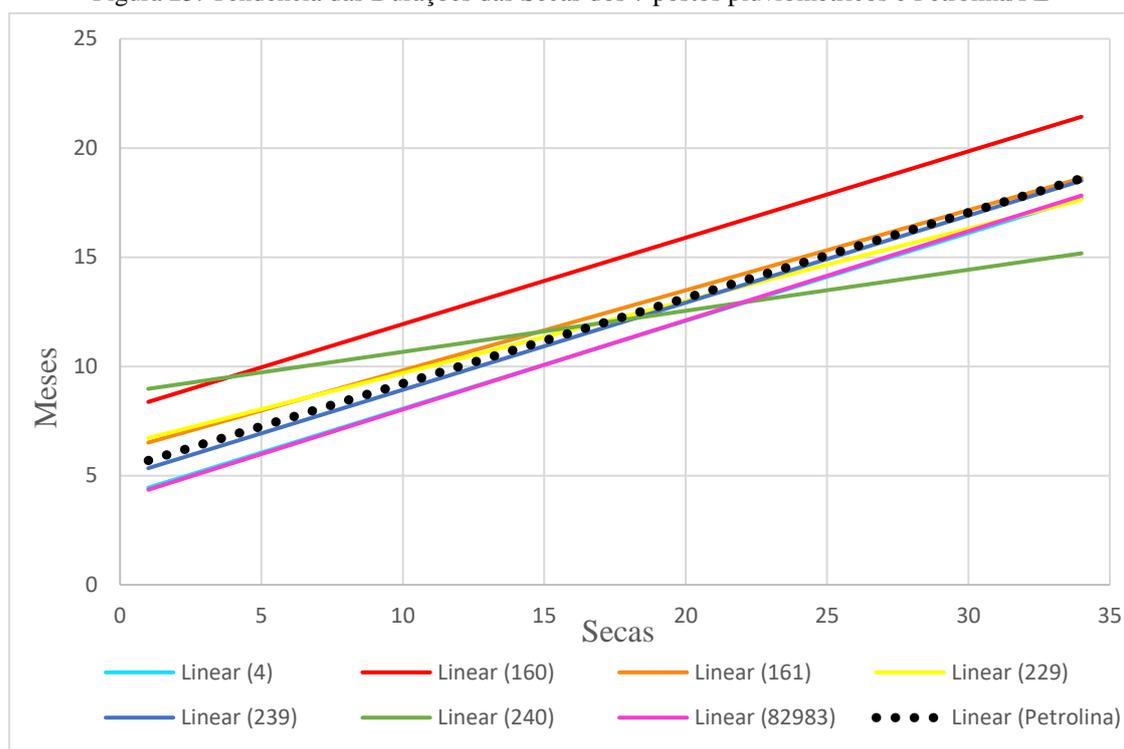
Figura 24: Tendência das Severidades das Secas dos 7 postos pluviométricos e Petrolina/PE



Fonte: A Autora (2020).

É possível perceber no gráfico que a tendência das severidades das secas em Petrolina se assimila ao comportamento geral dos postos, como já esperado. Entretanto é notório que sua tendência se assemelha mais ao comportamento do posto 82983, sendo este, um posto bem representativo quanto a tendência das severidades das secas do município.

Figura 25: Tendência das Durações das Secas dos 7 postos pluviométricos e Petrolina/PE



Fonte: A Autora (2020).

Ao analisar o gráfico da Figura 25, percebe-se o mesmo comportamento de Petrolina com o comportamento dos postos, como já era esperado. Pode-se perceber, também, que as tendências do posto 239 e do município de Petrolina são bastantes similares, sendo um posto altamente representativo quanto a tendência das durações das secas da cidade.

4.5. DETERMINAÇÃO DO FATOR DE PONDERAÇÃO REGIONAL DK'

Palmer (1965) desenvolveu o fator de ponderação "K" baseado em dados de nove localidades dos Estados Unidos, encontrando, assim, um valor de 17,67, sendo um fator regional. Concluído que, por ter sido desenvolvido por apenas dados de nove localidades, o fator "K" deve ser recalculado ao aplicar o método de Palmer em regiões distintas.

Para obter o fator DK', utiliza-se a equação 15, que foi adaptada na presente pesquisa resultando na equação 26. Com isso, foi obtido um valor de Σz de -82,81 para o município de Petrolina/PE, para um período de 12 meses, enquanto que Palmer (1965) obteve um valor de -25,6. Além disso, Blain (2005) encontrou um valor de Σz de -27,85.

Baseado nas críticas ao PDSI, o fator X, que designa a classificação da seca, foi um dos fatores adaptados. Palmer (1965) assume um valor arbitrário para referenciar uma seca extrema,

sendo este valor correspondente a -4, porém para a região de estudo desta pesquisa se torna inviável a aplicação desse valor, pois a maior parte das secas seriam classificadas como extremas. Da mesma forma, Blain (2005) analisou que também era inviável aplicar o valor de -4 para a sua região de estudo já que em suas séries históricas analisadas somente uma seca tinha valor abaixo de -4; reduzindo, então, o valor para -3.

As adaptações feitas nesse trabalho resultaram no fator DK' igual a 89,02 e nas Equações 23, 24 e 25, como já descrito anteriormente. A Tabela 9 resume os valores de DK' obtidos no Brasil em diferentes regiões de estudo.

Tabela 9: Valores de DK' obtidos em adaptações do PDSI no Brasil

	Palmer (1965)	Blain (2005)	Limeira <i>et al</i> (2007)	Alves <i>et al</i> (2019)	Atual
DK'	17,67	22,8	21,87	61,11	89,02

Fonte: A Autora (2020).

O valor de DK'=89,02, obtido para a região de Petrolina/PE, é bem discrepante do valor obtido em Alves *et al* (2019), para a região da Bacia do Brígida, assim como os valores do $\sum z$, conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Comparação de percentuais entre os valores de Alves *et al* (2019) e a atual adaptação

	$\sum z$	DK'	Diferença em % do $\sum z$	Diferença em % do DK'
Palmer (1965)	25,60	17,67	33,13	28,91
Alves <i>et al</i> (2019)	77,28	61,11	93,32	68,65
Atual	82,81	89,02		

Fonte: A Autora (2020).

Analisando a Tabela Y, nota-se a discrepância, em percentual, dos valores de DK' e do $\sum z$ entre Alves *et al*, obtidos para a Bacia do Brígida, e o atual, obtidos para Petrolina/PE. Tal discrepância se deve ao fato de que o solo de Petrolina é um solo profundo, de acordo com a Classificação de Solos da EMBRAPA, como já citado anteriormente, enquanto que o solo pertencente a Bacia do Brígida é um solo raso. Como o solo de Petrolina é profundo, significa que a infiltração no solo é maior que o escoamento superficial na bacia, ou seja, matematicamente, os valores de "d" são grandes, correspondendo a um excesso hídrico, e, conseqüentemente, os valores de Dbarra também são (ou seja, maiores que 1), já que este corresponde à média mensal dos valores de "d". A análise aqui cabível é que valores de Dbarra

> 1 geram valores de DK' maiores que o $\sum z$ e isso causa a discrepância do percentual dos valores de DK' e do $\sum z$ entre Alves *et al* (2019), obtidos para a Bacia do Brígida, e o atual, obtidos para Petrolina/PE.

Outro fator provável para gerar essa discrepância foi o uso limitado de apenas 7 postos para realizar a presente pesquisa, podendo ter gerado resultados menos precisos comparado com os resultados de Alves *et al* (2019), na Bacia do Brígida, que fez uso de 38 postos.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A adaptação do índice de severidade de seca de Palmer para a região do município de Petrolina/PE permitiu a avaliação dos resultados quanto a tendência geral do fenômeno da seca para o período de análise do trabalho. De acordo com os resultados, as secas na região caracterizam-se por uma diminuição na severidade ao longo dos anos e um aumento na duração média das mesmas.

Como esperado, as análises das severidades e durações das secas para Petrolina são coerentes e similares às análises dos postos pluviométricos utilizados nessa pesquisa, concluindo que esses postos são altamente representativos para a região de estudo quanto a esses aspectos.

As análises comparativas entre a região de Petrolina/PE e a região da Bacia do Brígida permitem concluir que, em Petrolina, as severidades das secas diminuem enquanto que as durações das mesmas aumentam, o que difere dos resultados obtidos para a Bacia do Brígida, ainda que sejam regiões próximas. A diferença de resultados, além da análise matemática citada anteriormente, se deve, principalmente, ao tipo de solo característico de cada região, destacando o fato de que Petrolina/PE, assim como a cidade de Juazeiro/PE, é um grande polo de prática de irrigação, possuindo, dessa forma, um solo profundo, diferentemente da região da Bacia do Brígida, que possui solo com menor espessura (solo raso).

No que tange a série de dados, é recomendado o uso de mais postos pluviométricos para obtenção de resultados mais precisos, quanto a análise comparativa entre as regiões. Para este trabalho, a quantidade de postos pluviométricos foi limitada devido à falta de mais dados disponíveis. Além disso, os valores de capacidade de campo foram obtidos através de estudos disponíveis em artigos publicados devido à falta de dados obtidos em campo, ou seja, a realização de ensaios para capacidade de campo na região de estudo proporcionaria dados mais precisos e, conseqüentemente, resultados.

Além disso, é recomendado uma adaptação na Equação 19, equação das piores secas, pois a mesma se ajusta aos dados do gráfico com um erro, comparando com o ajuste linear, correspondendo a um erro 86,5% menor, como apresentado no Apêndice 4. Para a presente pesquisa, não foi possível a obtenção de uma equação polinomial que permitisse aplicar o método de Palmer, dessa forma, caso se adote outra maneira de abordagem para o cálculo do PDSI em que se faça uso da equação polinomial, deve ser possível obter resultados mais precisos.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Monitoramento Pluviométrico**. Recife: APAC, 2020. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>. Acesso em: 8 mar. 2020.
- AGUIAR, J. V. **Parâmetros físico-hídricos de um solo sem cobertura vegetal e avaliação do modelo de umidade do solo para atividades agrícolas (MUSAG)**. 1997. 93f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.
- ALLEY, W. M. The Palmer drought severity index: limitations and assumptions. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, Boston, v.23, p. 1100-1366, 1984.
- ALMEIDA, A. V. L.; CORRÊA, M. M.; LIMA, J. R. S.; SOUZA, E. S.; SANTORO, K. R.; ANTONINO, A. C. D. Atributos físicos, macro e micromorfológicos de neossolos regolíticos no Agreste Meridional de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 5, p. 1-12, 2015.
- ALVES, G. B.; PINTO, A. A. P. **Determinação do fator de ponderação regional (K) para a Bacia do Rio Brígida em Pernambuco**. 2019. 56f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.
- AZEVEDO, J. R. G. (Org.). **Hidrometria aplicada à gestão dos recursos hídricos**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2010. 484p.
- AZEVEDO, J. R. G. **Software para Preenchimento de falhas**. Recife: UFPE, 2017.
- BLAIN, G. C.; BRUNINI, O. 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. **Journal Bragantia**, Campinas (SP): v.64, n.4, 2005.
- 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. Dissertação (Mestrado) - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas-SP, 2005.
- COSTA, A. **Retenção e disponibilidade de água em solos de Santa Catarina: avaliação e geração de funções de pedotransferência**. 2012. 424f. Tese (Doutorado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.
- DARDENGO, M. C. J. D.; EFFGEN, T. A. M.; TATAGIBA, S. D.; REIS, E. F.; PASSOS, R. R. **Avaliação da capacidade de campo em dois solos da região sul do Estado do Espírito Santo por diferentes métodos de determinação**. Universidade do Vale do Paraíba, 4p, 2005.
- EMBRAPA. **Informações agrometeorológicas do polo Petrolina, PE/Juazeiro, BA - 1963 a 2009**. Petrolina: Editora Formato Digital, 2010.
- EMBRAPA. **Mapa exploratório: reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco**. 1973. Disponível em: http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Amapa_exploratorio_solos_pernambuco_wgs84#more. Acesso em: 14 abr. 2020.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 2006. p. 277-279,

- FAEIRSTEIN, G. V. M. **Avaliação do índice de severidade de seca de Palmer (PDSI) através de planilha eletrônica**. Monografia apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção de grau de Engenheiro Civil. 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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 8, p.771-779, ago. 2010.
- GONÇALVES, A. C. A.; TRINTINALHA, M. A.; TORMENA, C. A.; FOLEGATTI, M. V. Influência da Densidade do Solo na Estimativa da Umidade em um Nitossolo Vermelho Distroférico, por Meio da Técnica de TDR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2011.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Petrolina**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv37318.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2020.
- 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**. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.
- MEDEIROS, R.M; PATRÍCIO, M.C.M; RIBEIRO, V.H.A; SILVA, V.M.A. O Desastre seca no nordeste brasileiro. **Revista Eletrônica Polêmica**, Universidade Federal de Campina Grande: v.12, n.2, p.284-286, 2013.
- MELLO, C. R. *et al.* **Estimativa da capacidade de campo baseada no ponto de inflexão da curva característica**. Minas Gerais, p.1-2, 2002.
- MOREIRA, J. A. A.; SILVA, C. J. C. G. Características de retenção de água de um solo podzólico vermelho-amarelo de Goiana, Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 8p, 1987.
- OLIVEIRA, M. B. **Análise do desempenho de equações de infiltração e de métodos de determinação da capacidade de campo para solos em uma bacia hidrográfica de São José de Ubá**. 2005. 220f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- OTTONI, M. V. **Classificação físico-hídrica de solos e determinação da capacidade de campo in situ a partir de testes de infiltração**. 2005. 156f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- PAIXÃO, F. J. R.; ALENCAR, S. B.; COSTA, T. L.; MARQUES, L. F.; TRINDADE, J. L. Capacidade de campo de um neossolo flúvico determinada por métodos diretos e indiretos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.4, n.2, p. 1-6, 2004.
- PALMER, W. C. Meteorological drought. **Research Paper**, n° 45, p.1-65, 1965.
- RUIZ, H. A.; FERREIRA, G. B.; PEREIRA, J. B. M. Estimativa da capacidade de campo de latossolos e neossolos quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 6p, 2003.

SANTOS, J. M.; MORAES, J.C.; PAIÃO, L.B.F. O índice de aridez de Palmer: uma análise crítica. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA*, 1987, Belém. **Anais** [...]. Belém: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1987. p. 296-301.

SILVA, L. M.; FIDALSKI, J.; BERTOL, O. J. Disponibilidade de água do solo em uma catena característica do arenito no noroeste do Paraná. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO*, 33., 2011, Uberlândia/MG. **Anais** [...]. Uberlândia: CBCS, 2011. 4 p.

TEIXEIRA, A. H. C. **Water productivity assessments from field to large scale: a case study in the Brazilian semi-arid region**. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2009. p. 226.

VEIMEHYER, F. J.; HENDRICKSON, A.H. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. **Soil Sci.**, 32:181-193, 1931.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION – WMO. Drought Assessment and Forecasting. **WMO Working Group on Hydrology (WGH)**, n° 6, 2005. 88p.

**APÊNDICE A – SEVERIDADE, DURAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS SECAS
OBTIDAS EM CADA POSTO**

Posto	Severidade da Seca (X)	Duração (meses)	Classificação da Seca
4	-3,8	6	Severa
	-4,3	15	Extrema
	-3,5	8	Severa
	-3,4	6	Severa
	-3,8	6	Severa
	-4,4	6	Extrema
	-3,4	5	Severa
	-3,8	6	Severa
	-2,7	8	Moderada
	-4,1	7	Extrema
	-2,9	7	Moderada
	-3,8	5	Severa
	-3,9	5	Severa
	-3,6	8	Severa
	-4,6	7	Extrema
	-4,3	6	Extrema
	-3,5	9	Severa
	-2,6	5	Moderada
	-3,2	9	Severa
	-3,9	7	Severa
	-6,0	18	Extrema
	-6,8	55	Extrema
	-4,1	6	Extrema
	-3,6	4	Severa
	-2,7	8	Moderada
	-5,2	19	Extrema
	-3,9	8	Severa
	-4,2	7	Extrema
	-3,9	7	Severa
	-4,2	7	Extrema
-4,2	16	Extrema	
-7,2	54	Extrema	
-5,0	9	Extrema	

Posto	Severidade da Seca (X)	Duração (meses)	Classificação da Seca
160	-3,2	4	Severa
	-3,8	7	Severa
	-4,3	15	Extrema
	-4,8	20	Extrema
	-4,2	15	Extrema
	-3,2	4	Severa
	-3,4	4	Severa
	-4,1	6	Extrema
	-5,2	19	Extrema
	-5,2	10	Extrema
	-2,3	8	Moderada
	-3,0	5	Moderada
	-5,2	20	Extrema
	-7,9	32	Extrema
	-4,9	17	Extrema
	-6,7	29	Extrema
	-4,1	6	Extrema
	-4,7	7	Extrema
	-4,4	7	Extrema
	-4,1	7	Extrema
	-4,3	8	Extrema
	-3,8	8	Severa
	-3,4	7	Severa
	-4,1	7	Extrema
	-3,8	7	Severa
	-7,0	77	Extrema
	-4,8	9	Extrema

Posto	Severidade da Seca (X)	Duração (meses)	Classificação da Seca
161	-3,5	8	Severa
	-3,3	5	Severa
	-3,1	8	Severa
	-3,9	7	Severa
	-3,8	5	Severa
	-3,7	9	Severa
	-3,9	6	Severa
	-3,6	8	Severa
	-4,1	19	Extrema
	-3,3	5	Severa
	-3,9	6	Severa
	-4,6	7	Extrema
	-7,2	29	Extrema
	-4,1	7	Extrema
	-4,0	19	Severa
	-5,9	20	Extrema
	-6,7	18	Extrema
	-3,8	5	Severa
	-3,2	7	Severa
	-4,4	7	Extrema
	-4,6	7	Extrema
	-5,2	18	Extrema
	-4,6	19	Extrema
	-4,1	8	Extrema
	-3,9	5	Severa
	-3,1	7	Severa
	-4,0	7	Severa
	-4,1	16	Extrema
-6,8	54	Extrema	
-4,5	9	Extrema	

Posto	Severidade da Seca (X)	Duração (meses)	Classificação da Seca
229	-2,5	7	Moderada
	-1,1	1	Leve
	-4,5	9	Extrema
	-5,2	16	Extrema
	-5,0	18	Extrema
	-2,4	6	Moderada
	-3,5	8	Severa
	-4,2	5	Extrema
	-4,4	17	Extrema
	-4,3	10	Extrema
	-4,2	7	Extrema
	-4,9	7	Extrema
	-4,3	10	Extrema
	-3,2	5	Severa
	-3,5	7	Severa
	-3,3	8	Severa
	-4,0	7	Severa
	-5,9	21	Extrema
	-4,7	21	Extrema
	-3,9	5	Severa
	-5,8	19	Extrema
	-4,2	6	Extrema
	-3,6	18	Severa
	-5,0	20	Extrema
	-4,0	7	Severa
	-3,9	5	Severa
	-3,3	7	Severa
	-4,0	7	Extrema
	-3,8	16	Severa
	-6,9	54	Extrema
	-4,5	8	Extrema

Posto	Severidade da Seca (X)	Duração (meses)	Classificação da Seca
239	-4,7	13	Extrema
	-2,7	8	Moderada
	-2,4	5	Moderada
	-3,7	7	Severa
	-4,2	6	Extrema
	-3,7	8	Severa
	-4,6	7	Extrema
	-3,7	4	Severa
	-4,6	16	Extrema
	-4,5	10	Extrema
	-6,0	19	Extrema
	-4,7	6	Extrema
	-3,6	7	Severa
	-3,6	10	Severa
	-2,9	5	Moderada
	-4,0	7	Severa
	-6,3	19	Extrema
	-4,9	7	Extrema
	-3,9	6	Severa
	-3,8	5	Severa
	-6,1	29	Extrema
	-3,0	3	Moderada
	-1,0	2	Leve
	-4,1	8	Extrema
	-5,1	21	Extrema
	-4,2	9	Extrema
	-3,7	4	Severa
	-3,2	7	Severa
-4,0	7	Extrema	
-8,0	77	Extrema	
-4,6	9	Extrema	

Posto	Severidade da Seca (X)	Duração (meses)	Classificação da Seca
240	-3,8	9	Severa
	-5,2	17	Extrema
	-3,6	5	Severa
	-4,0	6	Severa
	-5,1	27	Extrema
	-4,1	13	Extrema
	-3,4	4	Severa
	-2,8	4	Moderada
	-3,4	5	Severa
	-4,0	8	Extrema
	-4,3	6	Extrema
	-4,7	7	Extrema
	-5,2	18	Extrema
	-3,4	10	Severa
	-4,5	7	Extrema
	-6,1	45	Extrema
	-3,5	5	Severa
	-5,6	19	Extrema
	-4,3	6	Extrema
	-3,3	4	Severa
	-3,4	6	Severa
	-4,3	7	Extrema
	-3,9	7	Severa
	-4,1	8	Extrema
	-3,8	5	Severa
	-3,2	7	Severa
	-4,1	7	Extrema
	-4,6	16	Extrema
	-7,0	54	Extrema
	-4,9	9	Extrema

Posto	Severidade da Seca (X)	Duração (meses)	Classificação da Seca
82983	-5,3	17	Extrema
	-2,9	8	Moderada
	-3,2	6	Severa
	-2,5	6	Moderada
	-2,8	4	Moderada
	-3,8	7	Severa
	-4,4	6	Extrema
	-3,0	8	Severa
	-4,8	7	Extrema
	-3,7	4	Severa
	-3,4	6	Severa
	-4,3	5	Extrema
	-4,3	6	Extrema
	-6,0	18	Extrema
	-4,8	6	Extrema
	-3,7	19	Severa
	-2,8	7	Moderada
	-2,6	3	Moderada
	-3,5	8	Severa
	-4,1	7	Extrema
	-6,2	17	Extrema
	-4,9	7	Extrema
	-4,0	6	Extrema
	-4,0	5	Extrema
	-6,2	29	Extrema
	-3,4	4	Severa
	-3,8	8	Severa
	-5,1	20	Extrema
	-4,8	30	Extrema
	-4,2	7	Extrema
-3,8	7	Severa	
-4,1	15	Extrema	
-7,5	55	Extrema	
-4,8	9	Extrema	

**APÊNDICE B – SEVERIDADE, DURAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS SECAS
OBTIDAS NO MUNICÍPIO DE PETROLINA/PE**

Município	Severidade da Seca (X)	Duração (meses)	Classificação da Seca
Petrolina	-3,4	4	Severa
	-3,6	9	Severa
	-3,2	5	Severa
	-3,0	7	Severa
	-3,6	5	Severa
	-3,5	9	Severa
	-4,6	7	Extrema
	-3,5	8	Severa
	-4,4	5	Extrema
	-3,5	4	Severa
	-3,1	8	Severa
	-3,9	4	Severa
	-4,4	6	Extrema
	-6,0	33	Extrema
	-4,2	19	Extrema
	-6,6	32	Extrema
	-4,3	9	Extrema
	-4,0	5	Severa
	-5,7	29	Extrema
	-3,7	5	Severa
	-4,3	7	Extrema
	-4,6	8	Extrema
	-4,3	7	Extrema
	-4,3	8	Extrema
	-4,0	5	Severa
	-3,4	7	Severa
	-4,3	7	Extrema
	-4,5	16	Extrema
	-7,4	54	Extrema
	-5,0	9	Extrema

APÊNDICE C – CÁLCULO DO FATOR K

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Posto	D barra	2,6355	1,3398	1,5820	1,9039	1,9219	1,6474	1,4128	1,3679	1,7636	2,1784	1,9181	1,9783	1,8041
4	K'	3,5465	5,2193	4,6983	4,2112	4,1888	4,5840	5,0435	5,1494	4,4017	3,9095	4,1934	4,1212	
	Db * K'	9,3469	6,9928	7,4329	8,0177	8,0504	7,5516	7,1253	7,0438	7,7627	8,5163	8,0435	8,1528	89,8541
	K	3,1230	4,5959	4,1372	3,7082	3,6885	4,0365	4,4412	4,5344	3,8760	3,4426	3,6926	3,6290	
Posto	D barra	2,3682	1,4448	1,7212	1,6978	1,5611	1,4852	1,4334	1,3158	1,7624	2,3615	1,6124	1,7560	1,7100
160	K'	3,8292	5,1153	4,5856	4,6238	4,8695	5,0255	5,1414	5,4387	4,5209	3,8349	4,7725	4,5307	
	Db * K'	9,0682	7,3906	7,8927	7,8502	7,6019	7,4640	7,3699	7,1562	7,9676	9,0561	7,6950	7,9560	90,2079
	K	3,3565	4,4838	4,0195	4,0530	4,2683	4,4051	4,5067	4,7672	3,9628	3,3615	4,1833	3,9714	
Posto	D barra	2,3257	1,4367	1,7756	1,6800	1,8993	1,5992	1,7257	1,3246	1,1565	1,9208	1,7457	1,6336	1,6853
161	K'	3,8938	5,1789	4,5372	4,6921	4,3602	4,8374	4,6160	5,4636	5,9937	4,3316	4,5839	4,7738	
	Db * K'	9,0559	7,4407	8,0565	7,8827	8,2811	7,7358	7,9657	7,2369	6,9315	8,3203	8,0021	7,7983	90,4194
	K	3,4045	4,5281	3,9671	4,1024	3,8123	4,2295	4,0359	4,7770	5,2405	3,7873	4,0078	4,1739	
Posto	D barra	2,5687	1,3843	1,7079	1,8750	1,9232	1,8105	1,2977	1,4060	1,7431	2,1680	1,7802	2,1506	1,8179
229	K'	3,5868	5,1011	4,4788	4,2416	4,1809	4,3280	5,3203	5,0505	4,4251	3,9140	4,3707	3,9309	
	Db * K'	9,2134	7,0615	7,6495	7,9531	8,0406	7,8359	6,9041	7,1009	7,7134	8,4853	7,7809	8,4537	90,0089
	K	3,1532	4,4844	3,9374	3,7289	3,6755	3,8048	4,6772	4,4400	3,8902	3,4408	3,8423	3,4558	
Posto	D barra	2,0273	1,3196	1,4926	2,0252	1,6806	1,5370	1,4370	1,3389	1,3058	1,5563	1,2986	1,4586	1,5398
239	K'	4,1117	5,3425	4,9338	4,1141	4,5850	4,8438	5,0543	5,2915	5,3796	4,8061	5,3993	5,0065	
	Db * K'	8,3355	7,0497	7,3640	8,3318	7,7057	7,4447	7,2631	7,0849	7,0247	7,4799	7,0117	7,3023	85,3212
	K	3,8085	4,9485	4,5700	3,8107	4,2470	4,4866	4,6816	4,9013	4,9829	4,4517	5,0012	4,6373	
Posto	D barra	1,9519	1,2987	1,4541	1,5461	1,4566	1,2374	1,4394	1,4653	1,8775	2,0577	1,7569	1,5531	1,5912
240	K'	4,4327	5,7482	5,3281	5,1191	5,3220	5,9430	5,3640	5,3014	4,5363	4,2982	4,7231	5,1043	
	Db * K'	8,6520	7,4654	7,7477	7,9149	7,7523	7,3540	7,7210	7,7680	8,5169	8,8443	8,2978	7,9276	91,5506
	K	3,8250	4,9601	4,5977	4,4173	4,5924	5,1282	4,6286	4,5746	3,9144	3,7089	4,0756	4,4045	
Posto	D barra	2,5873	1,4955	1,7555	1,9954	1,9914	1,6360	1,7742	1,5167	1,8127	1,9463	1,7429	2,0460	1,8583
82983	K'	3,4014	4,5581	4,1522	3,8714	3,8755	4,3227	4,1275	4,5198	4,0784	3,9233	4,1691	3,8206	
	Db * K'	8,8003	6,8167	7,2890	7,7250	7,7177	7,0720	7,3231	6,8552	7,3931	7,6357	7,2661	7,8169	85,7990
	K	3,1396	4,2073	3,8326	3,5734	3,5772	3,9900	3,8098	4,1720	3,7645	3,6213	3,8482	3,5265	
														89,0230

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

Num Meses	Hist	Valor	Valor	Erro ²	Erro ²
		Linear	Polinomial	Linear	Polinomial
3	-23,3721	-43,8757	-19,7746	420,3997	12,94191495
6	-42,5284	-56,0529	-41,5927	182,9102	0,87558135
9	-61,7852	-68,23	-62,0338	41,53528	0,061812034
12	-77,8671	-80,4071	-81,0979	6,451319	10,43783421
15	-94,5442	-92,5842	-98,785	3,841716	17,98417684
18	-111,436	-104,761	-115,0951	44,55075	13,38942336
21	-128,03	-116,938	-130,0282	123,025	3,99245596
24	-143,611	-129,116	-143,5843	210,1108	0,000698947
27	-158,965	-141,293	-155,7634	312,3038	10,24876539
30	-177,816	-153,47	-166,5655	592,7416	126,5748933
33	-184,111	-165,647	-175,9906	340,9085	65,93416127
36	-171,649	-177,824	-184,0387	38,13345	153,5105116
39	-188,449	-190,001	-190,7098	2,409282	5,111574757
42	-196,881	-202,178	-196,0039	28,06311	0,768881004
45	-199,273	-214,355	-199,921	227,4861	0,420304041
48	-202,949	-226,532	-202,4611	556,1635	0,238367849
			SOMA=	3131,034	422,4913569
				Δerro=	86,5%