

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

CECILIA NEVES CATRINCK

**ANÁLISE DE MODELOS DE REGRESSÃO POLINOMIAL
APLICADOS À PRECIPITAÇÃO DO ESTADO DO ESPÍRITO
SANTO**

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2016

CECILIA NEVES CATRINCK

**ANÁLISE DE MODELOS DE REGRESSÃO POLINOMIAL
APLICADOS À PRECIPITAÇÃO DO ESTADO DO ESPÍRITO
SANTO**

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado ao
Departamento de Ciências
Florestais e da Madeira da
Universidade Federal do Espírito
Santo, como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheira
Florestal. Orientador: Prof Dr.
Roberto Avelino Cecílio

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2016

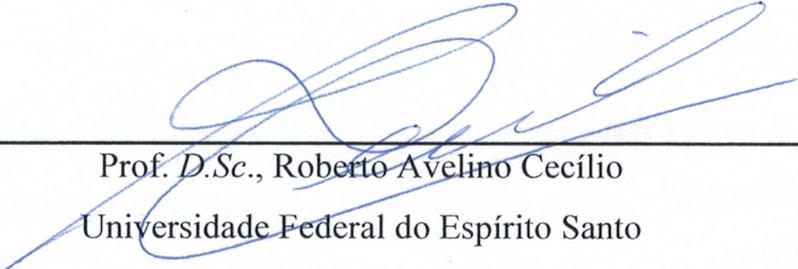
CECILIA NEVES CATRINCK

ANÁLISE DE MODELOS DE REGRESSÃO POLINOMIAL
APLICADOS À PRECIPITAÇÃO DO ESTADO DO ESPÍRITO
SANTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Aprovada em 01 de julho de 2015

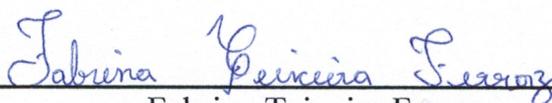
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. D.Sc., Roberto Avelino Cecílio

Universidade Federal do Espírito Santo

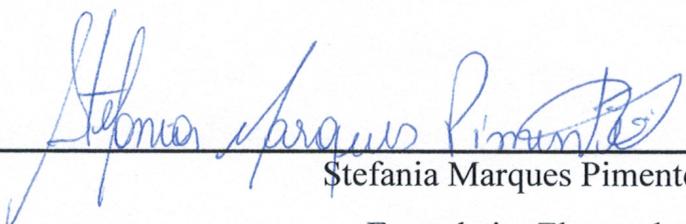
Orientador



Fabrina Teixeira Ferraz

Engenheira Florestal

Examinadora



Stefania Marques Pimentel

Engenheira Florestal

Examinadora

"A mente que se abre a uma nova ideia, jamais voltará ao seu tamanho original."

(Albert Einstein)

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela força e coragem.

À Nossa Senhora das Graças, pela proteção e amparo.

Aos meus pais, Celeste Neves Catrinck e Rogério Catrinck Coelho, pelo amor incondicional, por estarem sempre incentivando e lutando para que meus sonhos sejam realizados, pela educação inigualável e por docemente aceitarem minhas loucuras.

Aos meus irmãos, Mariana e Leonardo, que estiveram presentes em toda a minha trajetória, me dando o maior amor do mundo e me incentivando a não desistir. Aos meus tios Margarida e José Antônio, por todas as orações e amor a mim dedicados. Ao meu avôhai Alonso Neves, por toda dedicação e amor durante minha formação.

À todos da minha família que de alguma forma me apoiaram.

Aos bons mestres do Centro de Ciências Agrárias e do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, que não somente ensinaram o conteúdo disciplinar, mas que se preocuparam fortemente com a formação do caráter profissional de cada aluno.

Ao professor Roberto Avelino Cecílio, que acreditou em minha capacidade repassando seus nobres ensinamentos que levarei para a vida. Agradeço pelas oportunidades e a orientação durante esses anos.

À Milena Scaramussa pelo conhecimento repassado durante a iniciação científica.

Aos meus grades amigos e irmãos, Maria Julia Paganini, Bárbara Favalessa, Rômulo Lirio e Luan Mendes, que estiveram presentes em todos os momentos durante a graduação. Agradeço por cada conhecimento compartilhado e por me tornarem uma pessoa melhor.

Ao Carlos Eduardo, às repúblicas do Guerreiro, Westeros e agregados, por todo companheirismo e por proporcionarem os melhores momentos de Alegre.

À Fabrina Ferraz e Stefania Pimentel, por aceitarem fazer parte da minha banca mesmo com toda correria.

À todos os amigos que conquistei em Alegre, que tornaram meus dias ainda mais especiais.

Muito obrigada a todos!

RESUMO

A carência de dados e a má distribuição espacial de postos e estações meteorológicas tem sido um grande desafio para os pesquisadores na tentativa de descrever modelos estatísticos que possam explicar de forma consolidada o comportamento de certos parâmetros meteorológicos como a precipitação, por exemplo, bem como suprir essa insuficiência de dados para locais ainda não amostrados. O uso da regressão polinomial na tentativa de obter estimativas de precipitação pode ser uma alternativa para um melhor entendimento da variabilidade espaço-temporal desse parâmetro meteorológico. Assim, o objetivo principal desse trabalho foi ajustar modelos de regressão polinomial para estimar médias de precipitação mensais e média de precipitação anual para locais conhecidos e compará-las com valores medidos, com o intuito de verificar sua precisão dentro da região de estudo. Foram utilizados dados médios mensais e anuais da precipitação pluviométrica provenientes de 110 estações meteorológicas distribuídas espacialmente no estado da Espírito Santo, no período de 1971 a 2011. Segundo o coeficiente de variação, os dados apresentaram alta variabilidade espacial em todo o estado. A regressão que melhor se ajustou aos dados observados foi a de 4ª ordem, e a comparação entre os valores de precipitação observados e estimados apontaram que os meses entre maio e agosto apresentaram as menores diferenças de precipitação. Sendo assim, o modelo de regressão polinomial de 4ª ordem se apresenta como uma boa ferramenta para a estimativa das precipitações mensais e anual no estado do Espírito Santo.

Palavras-chave: precipitação pluviométrica; superfície de tendência; interpolação.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
1. INTRODUÇÃO	9
1.1. Objetivos	10
1.1.1. Objetivo Geral	10
1.1.2. Objetivos Específicos	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. Precipitação	11
2.2. Interpolação	12
2.3. Superfície de Tendência por regressão polinomial	13
3. METODOLOGIA	15
3.1. Base de dados	15
3.2. Análise estatística	16
3.2.1. Estatística descritiva	16
3.2.2. Regressão polinomial	18
3.3. Relação entre precipitação observada e estimada	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1. Análise estatística	21
4.1.1. Estatística descritiva	21
4.1.2. Regressão polinomial	23
4.2. Relação entre precipitação observada e estimada	33
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatística descritiva das médias mensais e anual da precipitação do Espírito Santo para o período de 1971-2011.....	21
Tabela 2 - Coeficientes de determinação obtidos pelas regressões polinomiais ajustadas para as precipitações mensais e anual do estado do Espírito Santo.	23
Tabela 3 - Modelos desenvolvidos para as precipitações correspondentes aos meses de janeiro a dezembro e precipitação anual.	26
Tabela 4 - Análise de variância para verificação do modelo de regressão polinomial de 1ª ordem ajustado às médias mensais e anual das precipitações pluviométricas do estado do Espírito Santo.	29
Tabela 5 - Análise de variância para verificação do modelo de regressão polinomial de 2ª ordem ajustado às médias mensais e anual das precipitações pluviométricas do estado do Espírito Santo.	30
Tabela 6 - Análise de variância para verificação do modelo de regressão polinomial de 3ª ordem ajustado às médias mensais e anual das precipitações pluviométricas do estado do Espírito Santo.	31
Tabela 7 - Análise de variância para verificação do modelo de regressão polinomial de 4ª ordem ajustado às médias mensais e anual das precipitações pluviométricas do estado do Espírito Santo.	32
Tabela 8 - Desvios quadráticos médios (RMS) dos resíduos entre os valores observados e estimados para as precipitações mensais e anual do estado do Espírito Santo.	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização das estações pluviométricas no estado do Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia e Rio de Janeiro.	16
Figura 2 - Gráficos de comparação entre os valores de precipitações mensais observados e estimados para o estado do Espírito Santo, pela regressão polinomial de 4 ^a ordem. .	34
Figura 3 - Gráficos de dispersão dos resíduos gerados pela regressão polinomial de 4 ^a ordem.	35

1. INTRODUÇÃO

Precipitação é um dos principais elementos da ciência hidrológica (TUCCI, 2007), e dentro do ciclo hidrológico esta representa uma variável de entrada imprescindível para a compreensão da dinâmica do meio físico. Seu comportamento e entendimento são de grande relevância para estudos estratégicos associados ao planejamento do meio ambiente, geração de energia e manejo da agricultura, especialmente em condições tropicais (MELLO e SILVA, 2009). Além de apresentar suma importância na caracterização do clima de uma região, seu estudo permite previsões com melhores aproximações e decisões mais confiáveis (ARAI et al., 2010).

Muitos estudos têm sido realizados visando o mapeamento da precipitação com a utilização de várias técnicas, devido à baixa disponibilidade de dados climáticos e hidrológicos comparada a grandes extensões territoriais, em especial em países em desenvolvimento (MELLO et al., 2007). É sabido que a precipitação possui alta variabilidade espaço-temporal, motivo pelo qual é considerada probabilística e aleatória pela hidrologia estocástica, passível de ajuste de modelos estocásticos multivariados (MARQUÍNEZ, 2003). Os modelos estatísticos procuram utilizar o menor número de parâmetros necessários para descrever adequadamente as características dos dados (TUCCI, 2007).

O estado do Espírito Santo apresenta alta variabilidade espaço-temporal na distribuição das chuvas e possui poucas informações meteorológicas, principalmente da precipitação pluvial, assim como na maior parte do território brasileiro, mostrando-se deficiente devido a quantidade insuficiente e à má distribuição dos postos pluviométricos e/ou pluviográficos (SILVA et al., 2011).

Com base no fato de que a altitude, a latitude e a longitude influenciam nas condições climáticas de uma região, conclui-se ser possível, aplicando-se técnicas estatísticas, ajustar equações lineares de regressão múltipla para estimativa dos totais médios precipitados em função destas variáveis (MELLO e SILVA, 2009). Sendo assim, procurando suprir a necessidade de informação sobre os índices de precipitação no estado do Espírito Santo, afim de possibilitar estudos mais precisos e melhores tomadas de decisão em projetos, a regressão polinomial (superfície de tendência) pode ser

plicada para se obter estimativas de precipitação em locais específicos dentro da região de estudo.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Ajustar modelos de regressão polinomial aplicados às precipitações médias mensais e anual para o estado do Espírito Santo.

1.1.2. Objetivos Específicos

- a) Verificar qual dos tipos de regressão polinomial melhor se ajustou aos dados observados, de acordo com a análise de variância (ANOVA), coeficiente de determinação, desvio quadrático médio dos resíduos e erro padrão da média;
- a) Gerar gráficos de comparação entre valores observados e estimados pela regressão que melhor se ajustou aos dados;
- b) Gerar gráficos de dispersão dos resíduos obtidos pela melhor regressão.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Precipitação

Em hidrologia, a precipitação é definida como toda água oriunda da atmosfera que atinge a superfície terrestre. As diferentes formas de precipitação são: neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve, sendo que a maneira de distinguir suas formas é o estado em que a água se encontra. Em razão da sua capacidade de produzir escoamento, a chuva é o tipo de precipitação mais importante para a hidrologia (TUCCI, 2007).

A precipitação pluviométrica se origina de nuvens formadas pelo resfriamento de uma massa de ar que se expande na atmosfera. Existem, basicamente, três tipos de elevação de massa de ar: convectivo, frontal e orográfico, que dão origem às chuvas convectivas, frontais e orográficas, respectivamente (PINTO et al, 1996).

Em virtude da vasta extensão territorial e condições topográficas encontradas no Brasil, diferentes regimes de precipitação podem ser observados. A região Sudeste sofre influências de sistemas tropicais e de latitudes médias, com estação seca bem definida no inverno e estação chuvosa de verão, caracterizada pela alta frequência de chuvas convectivas (MARENGO, 2006).

No estado do Espírito Santo, a precipitação é especialmente influenciada pela maritimidade/continentalidade, pelo relevo (picos elevados, depressões intermontanhas, regiões montanhosas e baixadas litorâneas) e pelas linhas de instabilidade, principalmente no verão. No inverno, há predominância de atuação dos sistemas frontais. Na região, ainda atuam sistemas atmosféricos de grande escala, como Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), Baixa de Chaco, Alta da Bolívia, Alta Polar e Corrente de Jato (VIANELLO e ALVES, 2000).

A precipitação é caracterizada pelas seguintes grandezas: altura pluviométrica, duração, intensidade e frequência (TUCCI, 2007). A quantidade de chuva é medida em termos de altura precipitada, com unidade em milímetros. Teoricamente, a altura de chuva está associada ao volume acumulado sobre uma superfície, sendo assim um milímetro de chuva corresponde à relação entre o volume acumulado em litros e a área de captação da chuva, em m². Os registros de precipitação são realizados através de

equipamentos específicos denominados pluviômetro e pluviógrafo, eles medem a altura precipitada em função do tempo.

Ter uma correta avaliação da precipitação pluvial é imprescindível em diversos situações, tais como: produção da cultura, manejo dos recursos hídricos, avaliação ambiental, erosão hídrica, dentre outros. A aquisição da correta distribuição espacial da precipitação é muito importante no planejamento agrícola, no que diz respeito à instalação de culturas. Além de intervir na agricultura, períodos muito longos de estiagens afetam o nível de água dos lençóis freáticos e dos reservatórios das usinas hidrelétricas, ocasionando problemas no abastecimento urbano e na geração de energia elétrica. Saber a quantidade das chuvas com intensidades superiores ao suporte do ambiente é valioso no planejamento agrícola e ambiental, resultando num correto dimensionamento das obras, tanto na construção civil quanto na conservação dos solos (VIEIRA e CARVALHO, 2001).

2.2. Interpolação

Denomina-se interpolação o procedimento matemático que permite construir um novo conjunto de dados a partir de um conjunto discreto de dados pontuais previamente conhecidos (LAMDIM et al., 2002), sendo esta uma técnica necessária sempre que for preciso estimar uma variável numérica qualquer, em uma determinada posição geográfica, na qual não exista esta informação (XAVIER et al., 2015).

Os interpoladores de dados espaciais são empregados nas mais diversas áreas da ciência e os métodos mais comuns de interpolação são: Vizinho mais Próximo, Vizinho Natural, Triangulação Linear, Triangulação de Delaunay, Polígonos de Voronoi, Inverso da Potência da Distância (sendo o IQD o mais utilizado), Mínima Curvatura (Spline), Regressão Polinomial, Krigagem (com mais de 30 técnicas diferentes) e Máxima Entropia Bayesiana (LANDIM, 2002). Na escolha do método a ser utilizado, o parâmetro de tomada de decisão, normalmente, consiste na maior afinidade do usuário com o método (XAVIER et al., 2015).

A qualidade do estimador pode ser avaliada por meio da análise dos dados de tabulação cruzada, isto é, comparação entre os valores dos dados reais e suas respectivas estimativas. Uma vez escolhido o interpolador, é retirado amostras dos dados originais

e, para a sua posição no espaço, é realizada a sua estimativa pelo interpolador escolhido. Existem diversas estatísticas que podem ser utilizadas para avaliar a qualidade do interpolador, por exemplo, o coeficiente de determinação (R^2) entre os dados medidos e estimados, quanto mais próximo de 1 for o coeficiente melhor será o ajuste do interpolador (XAVIER, 2015).

Diversos programas computacionais na área de geoprocessamento têm ferramentas destinada à realização de interpolação espacial, por exemplo: o ARCGIS (ESRI, 2008) e o SURFER (GOLDEN SOFTWARE, 2009).

2.3. Superfície de Tendência por regressão polinomial

As superfícies de tendência são interpoladores determinísticos globais que buscam modelar a variação em larga escala através de uma regressão múltipla, aproximando a superfície por um ajuste polinomial aos dados, entre os valores de atributo, as localizações geográficas e a altitude. A saída é uma função polinomial na qual o valor do atributo é expresso em função das coordenadas da superfície e sua altitude (CAMARGO et al., 2002).

Trata-se de uma técnica relativamente simples e muito útil quando os mapas de tendência e os respectivos resíduos podem ser interpretados a partir de um ponto de vista espacial ou então quando o número de observações é limitado de modo que a interpolação possa ser baseada nesses poucos dados (LAMDIM e CORSI, 2001).

Em comparação com outros algoritmos, tais como: triangulação, inverso da distância, mínima curvatura e krigagem, a superfície de tendência se apresenta em geral como o segundo melhor algoritmo para interpolação, sendo inferior apenas que a krigagem (LANDIM, 2000). Apesar disso, são realizados poucos estudos utilizando o algoritmo de superfície de tendência, mesmo este sendo o método de uso mais fácil e ajuste com precisão geral superior aos demais.

A equação matemática empregada para o ajuste de superfície de tendência se baseia nos polinômios não-ortogonais, tendo em vista que as estações meteorológicas encontram-se numa grid irregular, adicionando termos à equação polinomial, observando-se, por meio de critérios estatísticos, a superfície que melhor se ajusta aos dados. A regressão polinomial é um método pelo qual uma superfície contínua é

ajustada, mediante critérios de regressão por mínimos quadrados, aos valores de Z_i (variável independente) com uma função linear das coordenadas X-Y e a altitude (variáveis independentes: Norte - Sul (Y), Leste - Oeste (X) e altitude) dos pontos amostrados e irregularmente distribuídos (LNADIM e CORSI, 2001).

Em razão de o método estabelecer o melhor ajuste entre os pontos medidos, é improvável que a linha ajustada seja executada fora do valor medido mínimo ou máximo (EPA, 2004).

3. METODOLOGIA

O Espírito Santo possui uma área de aproximadamente 46.096,925 km² e está situado na região sudeste, entre as latitudes 17°52' e 21°19' S e as longitudes 39°38' e 41°50' O, totalmente incluído na região tropical. Possui quatro mesorregiões, 13 microrregiões e 78 municípios. Seus limites territoriais se dão ao norte com o estado da Bahia, a oeste com o estado de Minas Gerais, ao sul com o estado do Rio de Janeiro e limita-se a leste com o Oceano Atlântico, que totaliza 411 km de costa (IJSN, 2011).

3.1. Base de dados

A base de dados utilizada no presente trabalho foi obtida junto à Agência Nacional de Águas - ANA, através do Hidroweb, e Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – INCAPER, consistindo de dados médios dos totais precipitados mensais e anuais para o período de 1971 a 2011 (41 anos) de 110 estações pluviométricas (Figura 1). Os dados pluviométricos são consistidos e os preenchimentos de falhas foram realizados por Pirovani (2014).

Das estações utilizadas, 11 são pertencentes à rede de postos do INCAPER, e 99 da ANA. Destes últimos, 12 são localizados no estado de Minas Gerais, 3 no estado do Rio de Janeiro, 1 no estado da Bahia e 94 no Espírito Santo. A utilização dos postos pluviométricos dos estados vizinhos se deu com o objetivo de minimizar o efeito de borda no processo de interpolação. Os dados foram tabulados em planilha eletrônica para posterior análise.

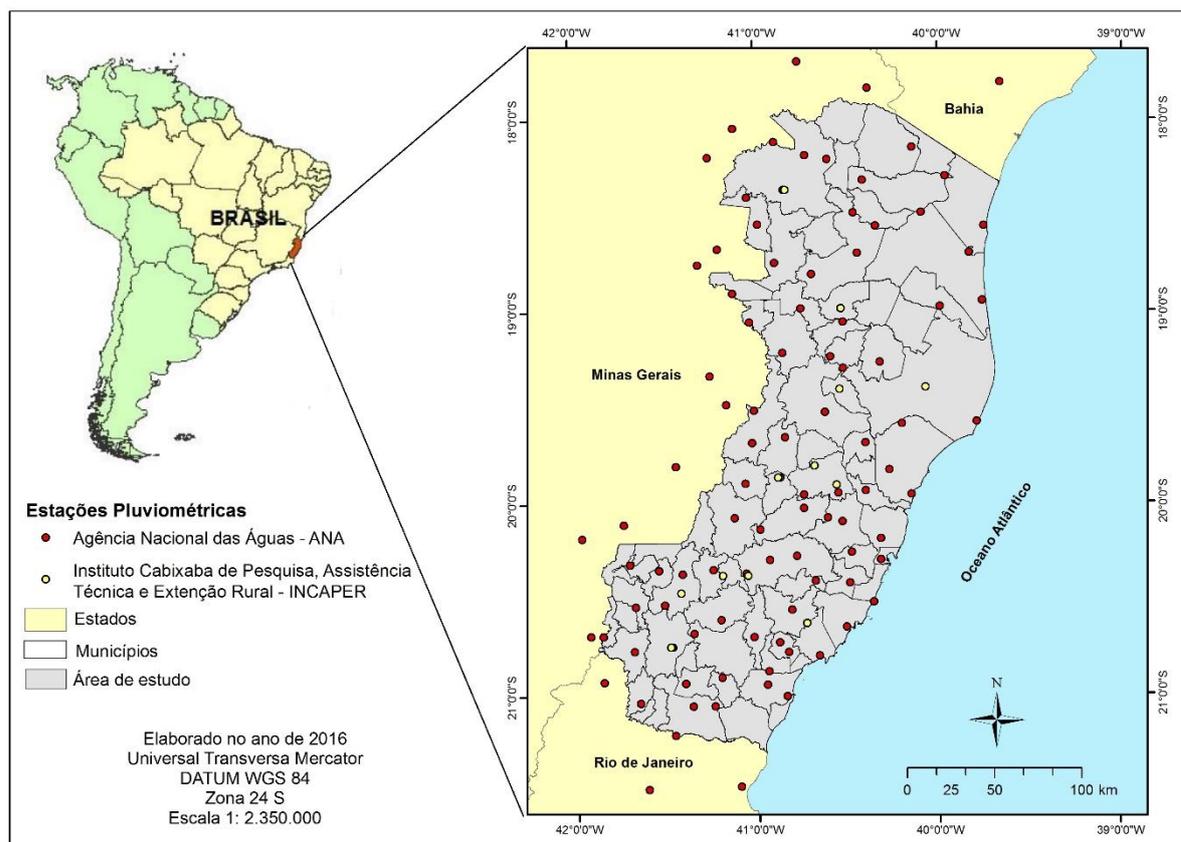


Figura 1 - Localização das estações pluviométricas no estado do Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia e Rio de Janeiro.

3.2. Análise estatística

3.2.1. Estatística descritiva

Com o objetivo de resumir as informações dos dados e descrevê-los em termos numéricos, foi realizada a análise descritiva das precipitações mensais e anual através do software Excel[®]. Foram calculadas as medidas de tendência central: média e mediana e as medidas de dispersão: desvio padrão e coeficiente de variação. As medidas de dispersão avaliam a homogeneidade dos dados e a dispersão dos mesmos em relação à media, sendo calculados pelo desvio padrão e coeficiente de variação, respectivamente.

O coeficiente de variação foi calculado pela Equação 1, conforme mostrado a seguir.

$$C_v (\%) = \frac{S}{\bar{X}} \times 100 \quad (1)$$

Em que S e \bar{X} representam, respectivamente, o desvio padrão da média e a média aritmética dos valores observados, $Cv(\%)$ indica o Coeficiente de Variação dado em percentagem.

Os resultados foram interpretados a partir das condições regulamentadas por Gomes (1985), as quais estabelecem que: Cv menores que 10% indicam baixa dispersão entre os dados, ou seja, os dados são tidos como homogêneos; Cv entre 10 e 20% indicam média dispersão entre os dados; e Cv maiores que 20% os dados são tidos como heterogêneos, indicando alta dispersão entre os dados.

Com a obtenção das medidas de tendência central e das medidas de dispersão, foram calculados os coeficientes de curtose (C_k) com o objetivo de mensurar o tipo e grau de assimetria dos dados. O C_k mede o grau de achatamento da amostra em relação à distribuição normal e foi calculado conforme a Equação 2.

$$C_k = \frac{n \times (n + 1)}{(n - 1) \times (n - 2) \times (n - 3)} \times \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \bar{X}}{S_x} \right)^3 - \frac{3 \times (n - 1)^2}{(n - 2) \times (n - 3)} \quad (2)$$

Onde n , X_i , \bar{X} , S_x e C_k representam, respectivamente, o tamanho da amostra, os valores observados, a média aritmética dos valores observados, o desvio padrão da amostra e o Coeficiente de Curtose.

Para a interpretação dos dados foram utilizadas às seguintes condições propostas por Ferreira (2005), em que: C_k igual a 0, a distribuição é mesocúrtica, ou seja, tem o mesmo achatamento que a distribuição normal; C_k menor que 0, indica uma distribuição do tipo platicúrtica, ou seja, é mais achatada que a distribuição normal; e C_k maior que 0, a distribuição é leptocúrtica, isto é, mais afilada e mais concentrada que a distribuição normal.

Afim de indicar o grau de distorção da distribuição em relação a uma distribuição simétrica, onde os dados mais frequentes se concentram mais ao centro em relação aos extremos, foi calculado o coeficiente de assimetria (C_s) de acordo com a Equação 3, a seguir:

$$C_s = \frac{n}{(n-1) \times (n-2)} \times \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \bar{X}}{S_x} \right)^3 \quad (3)$$

Em que n , X_i , \bar{X} e S_x representam o tamanho da amostra, os valores observados, a média aritmética dos valores observados e o desvio padrão da amostra, respectivamente.

A partir das condições propostas por Ferreira (2005), os dados foram classificados da seguinte forma: C_s iguais a zero, têm-se uma distribuição simétrica; C_s menores que zero, a distribuição é assimétrica negativa; e se C_s forem maiores que zero, a distribuição é tida como assimétrica positiva.

3.2.2. Regressão polinomial

O processo de ajuste estatístico desenvolvido consiste no ajuste de modelos lineares, por meio de regressões polinomiais do primeiro ao quarto grau; para isto foram elaboradas variáveis provenientes da combinação das coordenadas geográficas e altitude, as quais foram, posteriormente, selecionadas pelo procedimento Backward de regressão múltipla.

O procedimento Backward avalia todas as variáveis dentro de uma regressão, excluindo automaticamente aquelas que, para o modelo estabelecido, foram não significativas pelo teste t de Student e não proporcionaram melhorias no coeficiente de determinação, significando que após o procedimento irão permanecer no modelo as variáveis não significativas, contudo que tenham colaborado com a qualidade final dos ajustes (FERREIRA, 2005).

O software Statistica[®] foi aplicado para ajuste dos modelos, cuja estrutura matemática pode ser observada na Equação 4:

$$Z_i(x_i, y_i, h_i) = [a_0 + a_1x_i + a_2y_i + a_3x_i^3 + a_4x_iy_i + a_5y_i^2 + a_n \dots] + e_i(x_i, y_i, h_i) \quad (4)$$

Onde $Z_i(x_i, y_i, h_i)$ representa a variável mapeada (precipitação) em função das coordenadas geográficas (x_i e y_i) e a altitude (h); $e_i(x_i, y_i, h_i)$ representa os resíduos e a_0 à a_n representam os coeficientes que proporcionam o melhor ajuste aos dados amostrados.

Os tipos de regressões polinomiais que foram utilizadas neste trabalho são apresentados nas Equações 5, 6, 7 e 8 a seguir:

$$Z(x, y, h) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3h \quad (5)$$

$$Z(x, y, h) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3h + a_4x^2 + a_5y^2 + a_6h^2 + a_7xy + a_8xh + a_9yh \quad (6)$$

$$Z(x, y, h) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3h + a_4x^2 + a_5y^2 + a_6h^2 + a_7x^3 + a_8y^3 + a_9h^3 + a_{10}xy + a_{11}xh + a_{12}yh + a_{13}x^2y + a_{14}xy^2 + a_{15}x^2h + a_{16}xh^2 + a_{17}y^2h + a_{18}yh^2 \quad (7)$$

$$Z(x, y, h) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3h + a_4x^2 + a_5y^2 + a_6h^2 + a_7x^3 + a_8y^3 + a_9h^3 + a_{10}x^4 + a_{11}y^4 + a_{12}h^4 + a_{13}xy + a_{14}xh + a_{15}yh + a_{16}x^2y + a_{17}x^2h + a_{18}y^2h + a_{19}xy^2 + a_{20}xh^2 + a_{21}yh^2 + a_{22}x^2y^2 + a_{23}x^2h^2 + a_{24}y^2h^2 + a_{25}x^3y + a_{26}x^3h + a_{27}y^3h + a_{28}xy^3 + a_{29}xh^3 + a_{30}yh^3 \quad (8)$$

A análise de variância (ANOVA) foi calculada com a finalidade de verificar qual dos tipos de regressão polinomial foram significativas no ajuste aos dados observados a partir das Soma de Quadrado Total (Equação 9), Soma de Quadrados devido à Regressão Polinomial (Equação 10) e Soma de Quadrados dos Resíduos (Equação 11):

$$SQT = \sum z_i^2 - \left[\frac{(\sum z_i)^2}{n} \right] \quad (9)$$

$$SQRP = \sum z_i^{*2} - \left[\frac{(\sum z_i^*)^2}{n} \right] \quad (10)$$

$$SQR = SQT - SQRP \quad (11)$$

Em que n é igual ao número de observações.

A verificação do ajuste das regressões polinomiais aos dados observados foi realizada testando as seguintes hipóteses:

H_0 : não ocorre ajuste significativo da regressão aos dados, isto é, a variância dos dados estimados pela regressão é igual ao dos dados originais;

H_1 : ocorre ajuste significativo da regressão aos dados, isto é, a variância dos dados estimados pela regressão é menor do que a dos dados originais.

O coeficiente de determinação foi utilizado para medir o ajuste da superfície, sendo este obtido pela Equação 12.

$$R^2 = \left(\frac{SQP}{SQT} \right) \quad (12)$$

O R^2 varia entre 0 e 1, e indica, em percentagem, o quanto o modelo consegue explicar as variações ocorrida nos valores observados.

Foi calculado o desvio quadrático médio (RMS) afim de verificar a flutuação estatística dos resíduos gerados pela regressão que melhor se ajustou aos dados, calculado pela Equação 13.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (Z_o - Z_p)^2} \quad (13)$$

Onde Z_o , Z_p e n representam a precipitação observada, a precipitação estimada pela regressão e o número de postos pluviométricos amostrados, respectivamente.

3.3. Relação entre precipitação observada e estimada

Para a avaliação dos valores observados e preditos pela regressão que melhor se ajustou aos dados, foram gerados gráficos de comparação entre estes valores e gráficos de dispersão dos resíduos através do software Excel®.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise estatística

4.1.1. Estatística descritiva

Os resultados da análise descritiva dos dados de precipitações mensais e anual do Espírito Santo são apresentados na Tabela 1. As maiores precipitações se dão de outubro a março, com valores variando de 101 a aproximadamente 216 mm, e as menores precipitações ocorrem entre abril e setembro, com valores variando de 30 a 91 mm, evidenciando a classificação de Köppen para a região, em que apresenta inverno seco e verão chuvoso (Cwa).

Tabela 1 - Estatística descritiva das médias mensais e anual da precipitação do Espírito Santo para o período de 1971-2011.

Meses	Média	Mediana	S	C _s	C _k	C _v (%)
Janeiro	172.68	149.00	127.34	1.11	1.27	73.74
Fevereiro	101.44	83.65	76.40	1.17	1.40	75.32
Março	146.77	129.40	101.50	0.97	1.00	69.15
Abril	91.13	78.00	62.83	1.50	4.92	68.95
Mai	48.30	38.55	41.85	2.13	9.91	86.64
Junho	30.53	20.60	33.23	2.59	10.64	108.85
Julho	38.35	25.30	42.32	2.38	8.10	110.34
Agosto	35.03	24.70	35.11	1.98	6.59	100.23
Setembro	57.59	43.50	51.66	1.74	5.03	89.70
Outubro	111.83	101.70	74.26	1.22	3.09	66.40
Novembro	200.70	187.60	108.27	0.92	1.46	53.95
Dezembro	215.56	202.95	98.06	0.70	0.63	45.49
Anual	1249.93	1219.08	343.42	0.46	0.28	27.48

S – desvio padrão; C_s – coeficiente de assimetria; C_k – coeficiente de curtose; C_v – coeficiente de variação.

Analisando a variabilidade dos dados com base nos coeficientes de variação (C_v) observa-se que todas as precipitações apresentaram alta variação (>20%), isto é, há grande variabilidade de precipitação no estado do Espírito Santo, corroborando com os resultados encontrados por Mello et al (2012), Silva et al (2011) e Uliana et al (2013) onde foram identificadas regiões pluviométricas distintas no estado.

Vale salientar que os valores de C_v encontrados neste trabalho se diferem dos valores encontrados por Silva et al (2011), sendo menores para a mesma área de estudo (entre 17 e 54%), este fato pode ser explicado pela maior banco de dados usado no presente trabalho em que apresenta meses em que não houve precipitação.

O mês de setembro e o período seco (maio a agosto) se destacam por apresentarem as maiores variabilidades, de acordo com os seus respectivos coeficientes de variação: 86,64; 108,85; 110,34; 100,23 e 89,70.

Para setembro, o comportamento é explicado por se tratar de um mês caracterizado pela mudança entre o período seco e período chuvoso, onde foi verificado, na série histórica, situações não esperadas nas quais o período chuvoso se iniciou com atraso, gerando precipitação mensal quase nulas e nulas em alguns anos.

Considerando que a média de precipitação deste mês é de 57,59 mm, típico das características climáticas do sudeste do Brasil, o qual apresenta influência importante de fenômenos globais de circulação, principalmente do El Niño e La Niña, que favorecem, respectivamente, menores volumes de chuvas e menores temperaturas, o que promove alterações relevantes do regime hidrológico regional (MOREIRA, 1999).

No período seco verifica-se situação semelhante, onde ocorre variabilidade tanto temporal quanto espacial, principalmente esta última, provocada por diferentes características climáticas dentro do estado do Espírito Santo, segundo Uliana et al (2013), Mello et al (2012) e Silva et al (2011).

Segundo Uliana et al. (2013), a precipitação é maior em regiões onde a altitude é mais elevada quando comparada com as de regiões de menor altitude, por exemplo, a precipitação da região sul do Caparaó e serrana, demonstrando que independentemente das características tropicais presentes no estado a altitude torna-se um importante controle climático, impondo-se ao aspecto latitudinal.

A amplitude das precipitações nesses períodos também merecem destaque, uma vez que apresentam valores baixos de precipitação (em média 42mm) e uma alteração nos mesmos, por menor que seja, pode reproduzir variabilidade significativa, refletindo em maiores coeficientes de variação.

Todos os valores médios se mostraram maiores que as medianas, determinando a tendência de agrupamento dos dados à direita em associação a curva de distribuição normal, confirmada pelos coeficientes de assimetria (C_s), que foram todos positivos. Os coeficientes de curtose (C_k) também se apresentaram positivos, sendo assim a distribuição dos dados é do tipo leptocúrtica, ou seja, é mais afilada que a distribuição normal sendo, relativamente, mais fácil se obter valores que se aproximem da média e vários múltiplos do desvio padrão.

4.1.2. Regressão polinomial

De acordo com os coeficientes de determinação (R^2) apresentados na Tabela 2, a regressão que melhor se ajustou aos dados foi a de quarta ordem, explicando até 84% das variabilidades ocorridas nos índices de precipitação. O mês de novembro apresentou o menor R^2 para todas as regressões ajustadas.

Gomes et al (2015), ao ajustarem modelos de regressão polinomial aplicados à precipitação do estado da Paraíba em função das coordenadas geográficas, obtiveram resultados semelhantes em que os modelos de maior ordem se ajustaram melhor aos dados observados do que aqueles de menor ordem, com coeficiente de determinação máximo de 0,88 versus 0,84 deste trabalho.

Tabela 2 - Coeficientes de determinação obtidos pelas regressões polinomiais ajustadas para as precipitações mensais e anual do estado do Espírito Santo.

Período	R²1	R²2	R²3	R²4
Janeiro	0,51	0,66	0,70	0,73
Fevereiro	0,34	0,50	0,58	0,62
Março	0,36	0,52	0,61	0,62

R²1; R²2; R²3; R²4 - coeficientes de determinação das regressões polinomiais de 1^a, 2^a, 3^a e 4^a ordem, respectivamente.

Continua...

Tabela 3 - Coeficientes de determinação obtidos pelas regressões polinomiais ajustadas para as precipitações mensais e anual do estado do Espírito Santo.

Período	R²1	R²2	R²3	R²4
Abril	0,35	0,55	0,63	0,66
Mai	0,50	0,68	0,72	0,78
Junho	0,62	0,80	0,81	0,84
Julho	0,57	0,77	0,78	0,80
Agosto	0,53	0,68	0,69	0,73
Setembro	0,50	0,67	0,69	0,72
Outubro	0,42	0,52	0,57	0,59
Novembro	0,24	0,32	0,40	0,42
Dezembro	0,52	0,62	0,71	0,72
Anual	0,37	0,49	0,56	0,58

R²1; R²2; R²3; R²4 - coeficientes de determinação das regressões polinomiais de 1^a, 2^a, 3^a e 4^a ordem, respectivamente.

Os modelos ajustados para as precipitações médias mensais e a precipitação média anual, estão apresentados na Tabela 3, que consiste dos coeficientes ajustados para cada variável selecionada pelo procedimento “Backward”, com as respectivas significâncias estatísticas pelo teste de t de Student.

É possível verificar na Tabela que vários modelos apresentam coeficientes de ajuste não significativos; entretanto, eles foram mantidos no modelo final visto que sua retirada ocasionou redução do coeficiente de determinação, método este que, segundo Ferreira (2005), deve ser empregado sem prejuízo significativo para a qualidade final dos modelos, visto que os graus de liberdade do resíduo são consideravelmente altos.

Os meses de março, dezembro, e o período anual não apresentaram nenhum ajuste significativo dos coeficientes, entretanto estes foram mantidos na equação por proporcionarem qualidade no modelo. Os meses de outubro e novembro apresentaram apenas um coeficiente de ajuste significativo o restante foram não significativos, porém estes foram mantidos no modelo por colaborarem com a qualidade final do mesmo.

Para estes meses, os métodos utilizados podem não terem sido adequados, por isso não ocorreram ajustes significativos ou estes foram quase nulos. Uma alternativa para melhorar a probabilidade de aumento da qualidade dos modelos, seria dividir o estado em regiões com características homogêneas e utilizá-las para ajustar modelos para essas regiões específicas.

Mello e Silva (2009), ao modelarem a precipitação em função das coordenadas geográficas e altitude para o estado de Minas Gerais, também obtiveram modelos com características estatísticas de precisão semelhantes, com R^2 máximo de 0,802, concluindo que os modelos estatísticos podem ser aplicados e apresentam um erro relativamente baixo, em se tratando da modelagem de variável física ambiental a qual apresenta variabilidade naturalmente alta em virtude do grande número de atributos envolvidos na sua dinâmica, cuja inclusão destes em um modelo estatístico tornaria sua aplicação prática bastante complexa.

Tabela 4 - Modelos desenvolvidos para as precipitações correspondentes aos meses de janeiro a dezembro e precipitação anual.

Variável	Meses						
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho
Intercepto (a ₀)	-176777**	-176901**	-107111 ^{ns}	180952,3**	173651,7**	101026,7**	118370,2**
X (a ₁)	-9311**	-9459**	-6190 ^{ns}	8568,9**	8436,5**	4976,6**	5896,5**
H (a ₂)	75 ^{ns}	22 ^{ns}	26 ^{ns}	-13,6 ^{ns}	19,5 ^{ns}	36,8**	59,6**
X ² (a ₃)	-69**	-67**	-45 ^{ns}	68,3**	64,9**	41,1**	51,2**
Y ² (a ₄)	894**	916**	458 ^{ns}	-936,6**	-927,6**	-477,2**	-509,3**
Y ³ (a ₅)	33 ^{ns}	32 ^{ns}	12 ^{ns}	-41,8**	-39,8**	-20,3**	-21,5**
Y ⁴ (a ₆)				-0,6**	-0,5**	-0,3**	-0,3**
x*y (a ₇)	-402**	-431**	-276 ^{ns}	314,6**	334,6**	176,8**	192,9**
x*h (a ₈)	3 ^{ns}	1 ^{ns}		-1,4 ^{ns}	0,3 ^{ns}	1,2**	1,8**
y*h (a ₉)			1 ^{ns}	2,5**	1,0**	0,5**	0,9**
Y ² *h (a ₁₀)				0,1**			
X ² *y ² (a ₁₁)				-0,1**	-0,1**	-0,1**	-0,1**

** - significativo a 5% pelo teste t de Student; ns – não significativo.

Continua...

Tabela 3 - Modelos desenvolvidos para as precipitações correspondentes aos meses de janeiro a dezembro e precipitação anual.

Variável	Meses					Anual
	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
Intercepto	95829,21**	165773,2**	90493,88 ^{ns}	-14031,5 ^{ns}	-107839 ^{ns}	343436,5 ^{ns}
X	4845,93**	8293,5**	4175,33 ^{ns}	-1148,2 ^{ns}	-6243 ^{ns}	12843,0 ^{ns}
H	68,93**	70,6**	47,14 ^{ns}	98,0**	64 ^{ns}	573,2 ^{ns}
x^2	37,69**	62,3**	33,05 ^{ns}	1,3 ^{ns}	-39 ^{ns}	140,4 ^{ns}
y^2	-482,04**	-870,3**	-521,01 ^{ns}	170,7 ^{ns}	582 ^{ns}	-1703,6 ^{ns}
y^3	-19,52**	-35,3**	-24,46 ^{ns}	2,2 ^{ns}	16 ^{ns}	-107,5 ^{ns}
y^4	-0,24**	-0,4**	-0,36**	-0,1 ^{ns}		-2,0 ^{ns}
x*y	192,84**	342,9**	160,12 ^{ns}	-126,8 ^{ns}	-330 ^{ns}	149,3 ^{ns}
x*h	2,19**	2,3**	1,55 ^{ns}	3,0 ^{ns}	2 ^{ns}	17,0 ^{ns}
y*h	0,88**	0,8**	0,49 ^{ns}	1,7 ^{ns}		10,7 ^{ns}
y^2*h	0,02**		0,01 ^{ns}			0,3 ^{ns}
x^2*y^2	-0,06**	-0,1**	-0,05 ^{ns}			-0,1 ^{ns}

** - significativo a 5% pelo teste t de Student; ns – não significativo.

De acordo com as análises de variância realizadas (Tabelas 4, 5, 6 e 7), todas as regressões polinomiais ajustadas foram estatisticamente significativas ao nível de 5%, com isso os valores calculados de f foram maiores do que os valores críticos, rejeitando a hipótese nula (H_0) e comprovando a hipótese alternativa (H_1) de que a variância dos dados estimados pelas regressões ajustadas é menor do que a dos dados originais.

Como não foi realizado o teste de Tukey para verificar se existia diferença significativa entre as regressões analisadas, adotou-se apenas o maior coeficiente de determinação como forma de escolha da melhor regressão. Neste caso, a regressão polinomial de quarta ordem foi a escolhida para todos os meses, apresentando maior R^2 para todos os períodos analisados.

Dessa forma fica evidenciado que o modelo de regressão polinomial de quarta ordem é uma importante ferramenta para estimar dados de precipitações mensais e precipitação anual para estado do Espírito Santo, podendo ser utilizado para fazer estimativas de precipitação para locais desconhecidos dentro da região estudada, e para locais circunvizinhos das estações, onde os resultados serão mais acurados.

De acordo com Mello e Silva (2009) os modelos matemáticos apresentam melhor aplicabilidade quando comparado ao uso de mapas temáticos, uma vez que estes, muitas vezes, regionalizam a variável mapeada na forma de intervalos de classe, não permitindo precisão de uma localidade específica.

Tabela 4 - Análise de variância para verificação do modelo de regressão polinomial de 1ª ordem ajustado às médias mensais e anual das precipitações pluviométricas do estado do Espírito Santo.

1ª Ordem								
Período	SQRP	GLRP	QMRP	SQR	GLR	QMR	f	f tab
Janeiro	62531,28	3	20843,76	60534,38	106	571,08	36,50**	2,70
Fevereiro	14410,55	3	4803,52	28353,43	106	267,49	17,96**	2,70
Março	29516,70	3	9838,90	53480,60	106	504,53	19,50**	2,70
Abril	23656,14	3	7885,38	43235,77	106	407,88	19,33**	2,70
Mai	13958,67	3	4652,89	13977,49	106	131,86	35,29**	2,70
Junho	11241,01	3	3747,00	7028,88	106	66,31	56,51**	2,70
Julho	23862,65	3	7954,22	17701,29	106	166,99	47,63**	2,70
Agosto	12464,14	3	4154,71	11059,36	106	104,33	39,82**	2,70
Setembro	28972,18	3	9657,39	28646,14	106	270,25	35,74**	2,70
Outubro	17690,60	3	5896,87	24435,17	106	230,52	25,58**	2,70
Novembro	17348,59	3	5782,86	56286,46	106	531,00	10,89**	2,70
Dezembro	80008,04	3	26669,35	75284,37	106	710,23	37,55**	2,70
Anual	1630422,67	3	543474,22	2826519,22	106	26665,28	20,38**	2,70

SQRP – soma de quadrados da regressão polinomial; GLRP – graus de liberdade referentes a regressão polinomial; QMRP – quadrado médio da regressão polinomial; SQR – soma de quadrados dos resíduos; GRL – graus de liberdade dos resíduos; QMR – quadrado médio dos resíduos; f – teste de Fisher calculado; f tab – teste de Fisher tabelado.

** significativo a 5%.

Tabela 5 - Análise de variância para verificação do modelo de regressão polinomial de 2ª ordem ajustado às médias mensais e anual das precipitações pluviométricas do estado do Espírito Santo.

2ª Ordem								
Período	SQRL	GLRL	QMRL	SQR	GLR	QMR	f	f tab
Janeiro	81359,17	8	10169,90	41706,48	101	412,94	24,63**	1,98
Fevereiro	21425,69	8	2678,21	21338,29	101	211,27	12,68**	1,98
Março	42829,50	8	5353,69	40167,81	101	397,70	13,46**	1,98
Abril	36700,28	8	4587,54	30191,63	101	298,93	15,35**	1,98
Mai	19082,45	8	2385,31	8853,72	101	87,66	27,21**	1,98
Junho	14563,35	8	1820,42	3706,54	101	36,70	49,60**	1,98
Julho	31876,40	8	3984,55	9687,54	101	95,92	41,54**	1,98
Agosto	15991,86	8	1998,98	7531,63	101	74,57	26,81**	1,98
Setembro	38807,18	8	4850,90	18811,13	101	186,25	26,05**	1,98
Outubro	22017,80	8	2752,22	20107,98	101	199,09	13,82**	1,98
Novembro	23406,05	8	2925,76	50229,00	101	497,32	5,88**	1,98
Dezembro	96990,85	8	12123,86	58301,55	101	577,24	21,00**	1,98
Anual	2178034,41	8	272254,30	2278907,48	101	22563,44	12,07**	1,98

SQRP – soma de quadrados da regressão polinomial; GLRP – graus de liberdade referentes a regressão polinomial; QMRP – quadrado médio da regressão polinomial; SQR – soma de quadrados dos resíduos; GRL – graus de liberdade dos resíduos; QMR – quadrado médio dos resíduos; f – teste de Fisher calculado; f tab – teste de Fisher tabelado.

** significativo a 5%.

Tabela 6 - Análise de variância para verificação do modelo de regressão polinomial de 3ª ordem ajustado às médias mensais e anual das precipitações pluviométricas do estado do Espírito Santo.

3ª Ordem								
Período	SQRL	GLRL	QMRL	SQR	GLR	QMR	F	f tab
Janeiro	86472,97	13	6651,77	36592,69	96	381,17	17,45**	1,79
Fevereiro	24948,62	13	1919,12	17815,36	96	185,58	10,34**	1,79
Março	50396,48	13	3876,65	32600,83	96	339,59	11,42**	1,79
Abril	42073,24	13	3236,40	24818,67	96	258,53	12,52**	1,79
Mai	19994,16	13	1538,01	7942,00	96	82,73	18,59**	1,79
Junho	14802,94	13	1138,69	3466,95	96	36,11	31,53**	1,79
Julho	32273,01	13	2482,54	9290,93	96	96,78	25,65**	1,79
Agosto	16215,38	13	1247,34	7308,11	96	76,13	16,39**	1,79
Setembro	39565,11	13	3043,47	18053,21	96	188,05	16,18**	1,79
Outubro	24041,29	13	1849,33	18084,48	96	188,38	9,82**	1,79
Novembro	29276,79	13	2252,06	44358,26	96	462,07	4,87**	1,79
Dezembro	109756,49	13	8442,81	45535,91	96	474,33	17,80**	1,79
Anual	2501276,14	13	192405,86	1955665,75	96	20371,52	9,44**	1,79

SQRP – soma de quadrados da regressão polinomial; GLRP – graus de liberdade referentes a regressão polinomial; QMRP – quadrado médio da regressão polinomial; SQR – soma de quadrados dos resíduos; GRL – graus de liberdade dos resíduos; QMR – quadrado médio dos resíduos; f – teste de Fisher calculado; f tab – teste de Fisher tabelado.

** significativo a 5%.

Tabela 7 - Análise de variância para verificação do modelo de regressão polinomial de 4ª ordem ajustado às médias mensais e anual das precipitações pluviométricas do estado do Espírito Santo.

4ª Ordem								
Período	SQRL	GLRL	QMRL	SQR	GLR	QMR	F	f tab
Janeiro	89796,46	14	6414,03	33269,20	95	350,20	18,32**	1,67
Fevereiro	26600,22	14	1900,02	16163,76	95	170,14	11,17**	1,67
Março	51225,96	14	3659,00	31771,34	95	334,44	10,94**	1,67
Abril	44316,90	14	3165,49	22575,01	95	237,63	13,32**	1,67
Mai	21687,18	14	1549,08	6248,99	95	65,78	23,55**	1,67
Junho	15356,21	14	1096,87	2913,68	95	30,67	35,76**	1,67
Julho	33118,04	14	2365,57	8445,90	95	88,90	26,61**	1,67
Agosto	17259,30	14	1232,81	6264,19	95	65,94	18,70**	1,67
Setembro	41331,64	14	2952,26	16286,68	95	171,44	17,22**	1,67
Outubro	24894,68	14	1778,19	17231,09	95	181,38	9,80**	1,67
Novembro	30919,51	14	2208,54	42715,54	95	449,64	4,91**	1,67
Dezembro	111433,27	14	7959,52	43859,14	95	461,68	17,24**	1,67
Anual	2563838,88	14	183131,35	1893103,01	95	19927,40	9,19**	1,67

SQRP – soma de quadrados da regressão polinomial; GLRP – graus de liberdade referentes a regressão polinomial; QMRP – quadrado médio da regressão polinomial; SQR – soma de quadrados dos resíduos; GRL – graus de liberdade dos resíduos; QMR – quadrado médio dos resíduos; f – teste de Fisher calculado; f tab – teste de Fisher tabelado.

** significativo a 5%.

O desvio quadrático médio do resíduo (RMS) foi empregado afim de medir o quanto o modelo errou ao ajustar a precipitação. Os RMSs que apresentaram os menores valores dos erros foram os das regressões de quarta ordem, como mostrado na Tabela 8. Isto comprova que ocorreu menor variação entre os dados observados e estimados pela regressão polinomial de quarta ordem quando comparado as demais.

Conforme os resultados, os meses de maio a agosto foram os que apresentaram as menores diferenças de precipitação entre os valores observados e estimados, isto é, as regressões de quarta ordem foram mais precisas nestes meses.

Tabela 8 - Desvios quadráticos médios (RMS) dos resíduos entre os valores observados e estimados para as precipitações mensais e anual do estado do Espírito Santo.

Período	RMS 1	RMS 2	RMS 3	RMS 4
Janeiro	23,46	19,47	18,24	17,39
Fevereiro	16,05	13,93	12,73	12,12
Março	22,05	19,11	17,22	17,00
Abril	19,83	16,57	15,02	14,33
Maió	11,27	8,97	8,50	7,54
Junho	7,99	5,80	5,61	5,15
Julho	12,69	9,38	9,19	8,76
Agosto	10,03	8,27	8,15	7,55
Setembro	16,14	13,08	12,81	12,17
Outubro	14,90	13,52	12,82	12,52
Novembro	22,62	21,37	20,08	19,71
Dezembro	26,16	23,02	20,35	19,97
Anual	160,30	143,894	133,34	131,19

RMS 1; RMS 2; RMS 3; RMS 4: Desvios quadráticos médios para as regressões de 1ª, 2ª, 3ª e 4ª ordem, respectivamente.

4.2. Relação entre precipitação observada e estimada

Foram gerados gráficos de comparação entre os valores observados e estimados apenas para a regressão de 4ª ordem, visto que esta foi a que melhor se ajustou aos

dados, com maior R^2 e menor RMS. Em geral, a relação entre os valores observados e estimados pela regressão foram satisfatórios, os valores estimados se aproximaram significativamente aos dados observados.

Na Figura 2, estão expostos os gráficos dos meses de junho e novembro, sendo que o mês de junho apresentou o melhor ajuste com R^2 máximo de 0,84 e o mês de novembro foi o que apresentou o menor ajuste dos dados, com R^2 de 0,42.

Com isso, a regressão de 4ª ordem se apresentou precisa para se obter estimativas das precipitações mensais e precipitação anual para o estado do Espírito Santo, sendo que para o mês de novembro a regressão é menos precisa. Para este mês, deve-se realizar um novo estudo onde possam ser inseridas variáveis que influenciam diretamente na precipitação ou mesmo realizar a divisão do estado em regiões de altitude homogêneas e efetuar o ajuste dos modelos estatísticos para estas regiões.

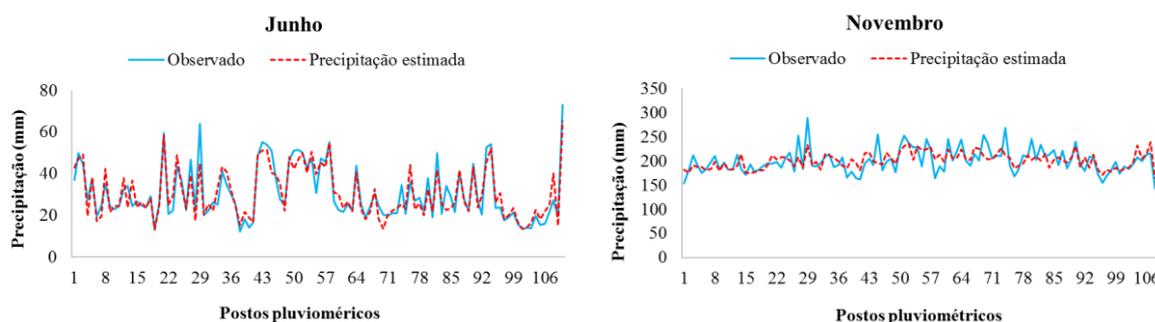


Figura 2 - Gráficos de comparação entre os valores de precipitações mensais observados e estimados para o estado do Espírito Santo, pela regressão polinomial de 4ª ordem.

As dispersões quadráticas residuais (RMS) representam o quanto a regressão polinomial de 4ª ordem superestimou ou subestimou a precipitação. Na Figura 3 estão apresentados os gráficos dos meses que apresentaram a menor e maior dispersão dos resíduos.

O mês de junho apresentou o menor RMS, ou seja a regressão foi mais precisa neste mês, errando para mais ou para menos apenas 5,42mm de precipitação. Os meses de novembro, dezembro e a precipitação anual apresentaram os maiores erros de estimação das precipitações, nestes meses a regressão polinomial de 4ª ordem é menos

precisas podendo ter um erro de até 19,71; 19,97 e 131,19mm de precipitação para os meses respectivamente.

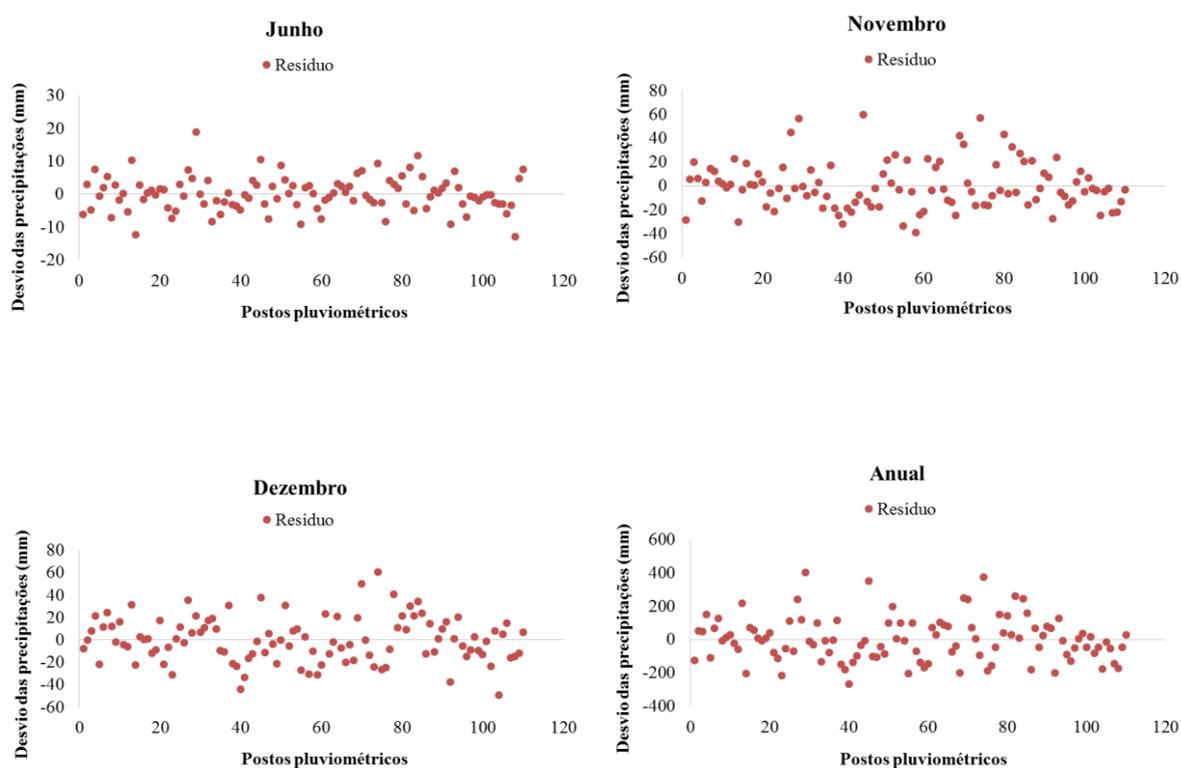


Figura 3 - Gráficos de dispersão dos resíduos gerados pela regressão polinomial de 4ª ordem.

É possível observar nitidamente boas qualidades estatísticas dos modelos, estes apresentam baixa dispersão dos valores e sem acúmulo significativo de pontos, acima ou abaixo da reta.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para as condições específicas em que o estudo foi conduzido, pode-se concluir que:

De acordo com a análise descritiva dos dados pluviométricos, o Espírito Santo apresenta grande variabilidade espacial da precipitação, sendo que as maiores variações encontram-se nos meses de menor precipitação, entre junho e agosto.

A regressão que melhor se ajustou aos dados observados de precipitações médias mensais e precipitação média anual foi a de 4ª ordem, apresentando os maiores coeficientes de determinação e menores dispersões residuais dos valores estimados.

A comparação entre os valores observados e estimados pela regressão polinomial de 4ª ordem, revelaram um ajuste eficiente dos dados pluviométricos na região estudada. Sendo que para os meses entre maio e agosto, a regressão que apresentou menores dispersões dos dados estimados e uma melhor precisão dos mesmos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAI, F.K.; GONÇALVES, G. G. G.; PEREIRA, S. B.; COMUNELLO, E.; ITORINO, A. C. T.; DANIEL, O. Espacialização da precipitação e erosividade na Bacia Hidrográfica do Rio Dourados - MS. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.5, p. 922-931, 2010.

CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. A Análise Espacial de Superfícies. Análise Espacial de Dados Geográficos. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE- 11443-PRE/6865**. São José dos Campos, SP, 2002.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). **ArcGis Desktop**. Versão 9.3. Redlands: ESRI Inc., 2008.

EPA (U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). Developing Spatially Interpolated Surfaces and Estimating Uncertainty. **Report. EPA-454/R-04-004**, 169 p. 2004.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. Lavras: UFLA, 760p. 2005.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer – Surface Mapping System**. Versão 9.1.352. Golden: Golden Software, Inc. 2009.

GOMES, O. M.; SANTOS, C. A. C.; SOUZA, F. A. S. S.; PAIVA, W.; OLINDA, R. A. Análise Comparativa da Precipitação no Estado da Paraíba Utilizando Modelos de Regressão Polinomial. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 1, p. 47 - 58, 2015.

GOMES, P. Curso de Estatística Experimental. Piracicaba-SP. **ESALQ/USP**, 1985.

INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES (IJSN). **ATLAS histórico-geográfico do Espírito Santo**. Vitória, ES: SEDU/IJSN, 148p. 2011. Disponível em <http://www.ijsn.es.gov.br/Sitio/images/files/Atlas_Visualizacao8_8.pdf> Acesso em 07 de junho de 2016.

LAMDIM, P. M. B. Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 02. **Rio Claro: UNESP**, 18 p. 2000. Disponível em <<http://www.sorocaba.unesp.br/Home/Graduacao/EngenhariaAmbiental/robertowlourenco/dicas-surfer-01.pdf>> Acesso em 14 de junho de 2016.

LAMDIM, P. M. B.; MOTEIRO, R. C.; CORSI, A. C. Introdução à confecção de mapas pelo software SURFER. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 08. **Rio Claro: UNESP**, 21 p. 2002. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em 14 de junho de 2016.

LANDIM, P. M. B.; CORSI, A. C. Cálculo de superfície de tendência, por regressão polinomial, pelo SURFER 6. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab, Geomatemática, Texto Didático 05. **Rio Claro**: UNESP, 15p. 2001. Disponível em<<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/DIDATICOS/LANDIM/trendsurfer.pdf>> Acesso em 10 de junho 2016.

MARENGO, J., A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: **MMA**, 2006.

MARQUÍNEZ, J.; LASTRA, J.; GARCIA, P. Estimation models for precipitation in mountainous regions: the use of GIS and multivariate analysis. **Journal of Hydrology**, v.270, n.1, p.1-11, 2003.

MELLO, C. R.; SÁ, M. A. C.; CURI, N.; MELLO, J. M.; VIOLA, M. R.; SILVA, A. M. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.4, p.537-545, 2007.

MELLO, C., R.; SILVA, A., M. Modelagem estatística da precipitação mensal e anual e no período seco para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.13, n.1, p.68–74, 2009.

MELLO, C., R.; VIOLA, N., C.; CURI, N., SILVA, A., M. Distribuição Espacial a Precipitação e da Erosividade da Chuva Mensal e Anual no Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 36:1878-1891. 2012.

MOREIRA, A. A. M. A influência da circulação de macroescala sobre o clima de Belo Horizonte: Estudo sobre as possíveis influências do fenômeno El Niño sobre o clima local. **Dissertação Mestrado**. Belo Horizonte: UFMG, 186p, 1999.

PINTO, F. A.; FERREIRA, P. A.; PRUSKI, F. F.; ALVES, A. R.; CECON, P. R. Equações de chuvas intensas para algumas localidades do estado de Minas Gerais. , v. 16, n. 1, p. 91-104, 1996.

PIROVANI, D. B. Cenários de mudanças climáticas e impacto no zoneamento agroclimático de espécies florestais no estado do Espírito Santo. 2014. Dissertação (**Doutorado em Ciências Florestais**) – Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro. 2014.

SILVA, K. R; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; GARCIA, G. O. Interpolação Espacial da Precipitação no Estado do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente** 18(4): p.417-427, 2011.

TUCCI, C. E. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: editora UFRGS, 2007.

ULIANA, E. M.; REIS, E., F.; SILVA, J., G., F.; XAVIER, A., C. Precipitação Mensal e Anual Provável para o Espírito Santo. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 1, p. 139-147, 2013.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV; 448p. 2000.

VIEIRA, S.R.; CARVALHO, J.R.P. Estudo da periodicidade temporal de chuvas em bacia hidrográfica dos Rios Turvo/Grande - uma proposta. Campinas: **Embrapa Informática Agropecuária** 17p., 2001.

XAVIER, A. C.; CECÍLIO, R. A.; LIMA, J. S. S. Módulos em MATLAB para interpolação espacial pelo de krigagem ordinária e do inverso da distância. **Revista Brasileira de Cartografia**; 62:67-76, 2015.