



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MONTES CLAROS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
MODELAGEM COMPUTACIONAL E SISTEMAS

## **APLICATIVO PARA ESTIMATIVA DE TEMPERATURA MENSAL DO AR NO NORTE DE MINAS GERAIS**

Dissertação submetida à banca avaliadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional e Sistemas da Universidade Estadual de Montes Claros, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Modelagem Computacional e Sistemas.

Por:

**Pablo Henrique Ataíde Oliveira**

**Orientador:** Prof. Dr. Romulo Veloso Barbosa

Universidade Estadual de Montes Claros

Pablo Henrique Ataíde Oliveira

## **APLICATIVO PARA ESTIMATIVA DE TEMPERATURA MENSAL DO AR NO NORTE DE MINAS GERAIS**

Dissertação submetida à banca avaliadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional e Sistemas da Universidade Estadual de Montes Claros, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Modelagem Computacional e Sistemas.

Banca Examinadora:

Romulo Barbosa Veloso - Orientador  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas  
Universidade Estadual de Montes Claros

Nilson Luiz Castelucio Brito  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas  
Universidade Estadual de Montes Claros

Edinei Canuto Paiva  
Instituto Federal do Norte de Minas Gerais

Fernando Ribeiro Cassiano  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas  
Universidade Estadual de Montes Claros

Montes Claros  
2018.

O48a

Oliveira, Pablo Henrique Ataíde.

Aplicativo para estimativa de temperatura mensal do ar no Norte de Minas Gerais [manuscrito] / Pablo Henrique Ataíde Oliveira. – Montes Claros, 2018.  
53 f. : il.

Bibliografia: f. 50-53.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Montes Claros - Unimontes, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional e Sistemas/PPGMCS, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Romulo Veloso Barbosa.

1. Normas climatológicas. 2. Modelagem matemática. 3. Aplicativos Android. 4. Regressão linear múltipla. I. Barbosa, Romulo Veloso. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

**RELATÓRIO DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**  
**MESTRADO**

 Universidade Estadual de Montes Claros - Unimontes  
 Pró-Reitoria de Ensino/Coordenadoria de Pós-Graduação  
 Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional e Sistemas  
 - PPGMCS

**1 - Identificação do Aluno**

Nome: Pablo Henrique Ataíde Oliveira

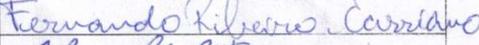
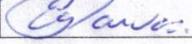
Matrícula: 0183815

Linha de Pesquisa: Computação Científica e Modelagem de Sistemas

**2 - Sessão de Qualificação**

Título: "Aplicativo para Estimativa de Temperatura Mensal do Ar no Norte de Minas Gerais."

**3 - Comissão Examinadora**

Nome	Função	Assinatura
Prof. Dr. Romulo Barbosa Veloso	Orientador (a)	
Prof. Dr. Fernando Ribeiro Cassiano	Examinador(a)	
Prof. Dr. Nilson Luiz Castelucio Brito	Examinador(a)	
Prof. Dr. Edinei Canuto Paiva	Examinador(a)	

**4 - Resultado**

 A comissão Examinadora, em 26/10/2018 após Defesa de Dissertação e arguição do(a) candidato(a), decidiu:

- pela aprovação da Dissertação  
 pela reprovação da Dissertação  
 pela revisão de forma, indicando o prazo de 30 dias para apresentação definitiva.  
 pela reformulação da Dissertação, indicando o prazo de \_\_\_\_\_ dias para nova versão.

**Preencher somente em caso de revisão de forma:**

- O(a) aluno(a) apresentou a revisão de forma e a Dissertação foi aprovada.  
 O(a) aluno(a) apresentou a revisão de forma e a Dissertação foi reprovada.  
 O(a) aluno(a) não apresentou a revisão da forma.

**Preencher somente em caso de revisão de reformulação:**

- O(a) aluno(a) apresentou a reformulação e a Dissertação foi aprovada.  
 O(a) aluno(a) apresentou a reformulação e a Dissertação foi reprovada.  
 O(a) aluno(a) não apresentou a reformulação.

**Autenticação**

Orientador(a) Comissão Examinadora

 26/11/2018   
 Data Assinatura

**Autenticação**

Coordenador

  
 Prof. René Rodrigues Veloso  
 Coordenador do PPGMCS  
 Unimontes - Masp 1135131-9  
 Data Assinatura

## Resumo

A variabilidade climática existente no território brasileiro proporciona grande diversidade na produção agrícola bem como nos cuidados a serem tomados para criação de animais ou outras espécies que dependem em grande parte da temperatura. São inúmeras as possibilidades em que o clima pode ser primordial para se desenvolver alguma técnica de produção vegetal ou de manejo com animais ou até mesmo manejo de recursos hídricos. Diante disso, este trabalho busca desenvolver um aplicativo com um modelo matemático de estimativa da temperatura mínima, média e máxima mensal do ar para o Norte do estado de Minas Gerais, que considera simultaneamente as variações espaciais e temporais. Dois modelos foram desenvolvidos. O primeiro, por meio de uma combinação linear de três variáveis independentes: altitude, latitude e longitude, e o segundo, da combinação linear da altitude, longitude e da análise conjunta da declinação solar com a latitude. Os parâmetros do modelo foram ajustados aos dados das estações meteorológicas do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia – por meio de regressão linear múltipla. Trata-se de uma pesquisa inovadora aplicada na região do Norte de Minas Gerais, com criação de um aplicativo que auxiliará na realização das estimativas da temperatura. O produto subsidiará a demanda dos profissionais que necessitam de dados para aplicação em estimativas de evaporação de corpos hídricos com aplicação em diversas áreas da agricultura, engenharia e saúde pública, evapotranspiração de culturas, balanço hídrico climatológico, bioclimatologia animal e humana, entre outros.

**Palavras-chave:** normais climatológicas, modelagem matemática, aplicativos android, regressão linear múltipla.

## **Abstract**

The climatic variability existing in the Brazilian territory provides great diversity in the agricultural production as well as in the care to be taken for the breeding of animals or other species that depend to a great extent on the temperature. There are many possibilities in which the climate may be of prime importance in order to develop some technique of vegetal production or animal management or even water resources management. Aiming at this, this work seeks to develop an application with a mathematical model of estimation of the minimum, average and maximum monthly air temperature for the North of the state of Minas Gerais, which simultaneously considers the spatial and temporal variations. Two models were developed. The first one, through a linear combination of three independent variables: altitude, latitude and longitude, and the second, the linear combination of altitude, longitude and the joint analysis of solar declination with latitude. The parameters of the model were adjusted to the INMET meteorological stations - National Institute of Meteorology - by means of multiple linear regression. This is an innovative research applied in the Northern region of Minas Gerais, with the creation of an application that will aid in the realization of temperature estimates. The product will subsidize the demand of professionals who need data for application in water evaporation estimations with application in several areas of agriculture, engineering and public health, crop evapotranspiration, climatological water balance, animal and human bioclimatology, among others.

**Key words:** climatological normals, mathematical modeling, android applications, multiple linear regression.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me guiar em mais uma trajetória de minha vida concluindo com êxito.

Aos meus pais por sempre acreditar no meu potencial e sempre incentivar os meus estudos apesar de toda a dificuldade.

À minha irmã, Patrícia por sempre torcer pelas minhas conquistas.

Ao meu sobrinho e afilhado, Arthur Henrique, por sempre sorrir e tentar me alegrar mesmo nos momentos mais inusitados.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Romulo, pelo apoio e pela compreensão nos momentos em que mais necessitei.

Aos meus amigos e colegas de profissão, Antonio Fábio e Edinei Paiva, por sempre me socorrer nas dificuldades encontradas no andamento da pesquisa e pela contribuição fornecida nessa trajetória.

A todos os meus familiares e amigos da minha cidade natal, em especial, aos meus amigos da república EQ pelos dias de convivência, em especial a Alcino, que mesmo longe em busca dos seus objetivos, se tornou presente e inspiração nesta minha etapa.

A minha amiga de infância, Aline, que sempre esteve presente e torcendo pela finalização com sucesso dessa etapa na minha vida.

Aos alunos/amigos que fiz no IFNMG na cidade de Januária, por sempre incentivar e descontraír nas conversas e reuniões, momentos que foram primordiais por não estar em minha cidade natal, em especial a Elisane e Thales.

Aos professores do programa PPGMCS pelos ensinamentos e empenho em transmitir a todos um conhecimento enriquecedor, que foram necessários para o andamento da pesquisa.

Aos professores do IFNMG que sempre estiveram na torcida pela conclusão do mestrado, em especial a professora Adriana Martins pela ajuda dada.

Aos colegas do mestrado Arnon, Jhean, Matheus, Saulo que foram fundamentais nos grupos de estudos e trabalhos para o êxito dos créditos com louvor, deixo claro que valeu cada hora de estudo ao lado de vocês. Um agradecimento especial a minha amiga Nara pelo fundamental apoio prestado na finalização da pesquisa, sou imensamente grato a você.

Enfim, posso dizer que cada esforço, cada cansaço das viagens, cada dificuldade que apareceu foi superada e que tudo valeu a pena.

Obrigado a todos, essa conquista também é de vocês!

# Sumário

<b>Lista de Figuras</b> .....	vi
<b>Lista de Tabelas</b> .....	vii
<b>Acrônimos</b> .....	viii
<b>1</b> <b>Introdução</b> .....	12
<b>2</b> <b>Referencial Teórico</b> .....	14
2.1    Meteorologia e Climatologia .....	14
2.2    Normais Climatológicas .....	16
2.3    Declinação Solar .....	18
2.4    Regressão Linear Múltipla .....	20
2.5    Equações de Validação: r, c e d de Willmott .....	21
2.6    Uso de Aplicativos na Obtenção de Dados Técnicos .....	25
<b>3</b> <b>Objetivos</b> .....	27
3.1    Objetivo Geral .....	27
3.2    Objetivos Específicos .....	27
<b>4</b> <b>Materiais e Métodos</b> .....	29
4.1    Caracterização do Problema .....	29
4.2    Metodologia .....	31
4.3    Análise dos Dados .....	33
<b>5</b> <b>Resultados</b> .....	37
5.1    Regressão Linear Múltipla do Modelo Proposto .....	37
5.2    Validação do Modelo .....	37
5.3    Desenvolvimento do Aplicativo .....	44
<b>6</b> <b>Conclusão</b> .....	48
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	50

## **Lista de Figuras**

Figura 1. Ilustração da declinação solar na terra.

Figura 2. Mapa do Norte do estado de Minas Gerais.

Figura 3. Localização das Estações Climatológicas no Norte, Noroeste e Vale do Jequitinhonha utilizadas na pesquisa para a modelagem matemática da temperatura da região Norte do estado.

Figura 4. Planilha eletrônica utilizada para cálculo da Normal Climatológica da estação de Pirapora.

Figura 5. Planilha do Excel utilizada para o cálculo da regressão linear múltipla com as normais climatológicas da temperatura máxima das estações meteorológicas consideradas na pesquisa.

Figura 6. Fluxograma do cálculo da Regressão Linear Múltipla utilizando o Excel.

Figura 7. Resultado da análise de regressão linear múltipla da temperatura máxima do mês de janeiro utilizando como variável independente a altitude, latitude e longitude.

Figura 8. Interface do aplicativo

Figura 9. Interface de ajuda e citação do trabalho

Figura 10. Simulação da estimativa de temperatura em uma localização no Norte de Minas Gerais.

Figura 11. Interface de resultado da estimação da temperatura local no Norte de Minas.

## Lista de Tabelas

Tabela 1. Períodos de Normais Climatológicas Padrão – NCP.

Tabela 2. Critério de interpretação do desempenho do modelo pelo índice “c”.

Tabela 3. Características das estações do INMET que comporão as variáveis independentes na análise de regressão linear: Altitude, Latitude, Longitude e variável  $\cos(\theta_z)$  determinada com a declinação solar.

Tabela 4. Resultados dos coeficientes obtidos através da modelagem da média da temperatura máxima utilizando a declinação solar em que  $\beta_0$  é o termo independente,  $\beta_1$  o coeficiente da altitude,  $\beta_2$  o coeficiente do cosseno e  $\beta_3$  o coeficiente da longitude.

Tabela 5. Estatística de validação da média da temperatura máxima utilizando a declinação solar.

Tabela 6. Resultados da modelagem da média da temperatura média utilizando a declinação solar em que  $\beta_0$  é o termo independente,  $\beta_1$  o coeficiente da altitude,  $\beta_2$  o coeficiente do cosseno e  $\beta_3$  o coeficiente da longitude.

Tabela 7. Estatística de validação da média da temperatura média utilizando a declinação solar.

Tabela 8. Resultados da modelagem da média da temperatura mínima utilizando a declinação solar em que  $\beta_0$  é o termo independente,  $\beta_1$  o coeficiente da altitude,  $\beta_2$  o coeficiente do cosseno e  $\beta_3$  o coeficiente da longitude.

Tabela 9. Estatística de validação da média da temperatura mínima utilizando a declinação solar.

Tabela 10. Modelagem da média da temperatura máxima utilizando as variáveis preconizadas pela OMM em que  $\beta_0$  é o termo independente,  $\beta_1$  o coeficiente da altitude,  $\beta_2$  o coeficiente da latitude e  $\beta_3$  o coeficiente da longitude.

Tabela 11. Estatística de validação da média da temperatura máxima utilizando a latitude.

Tabela 12. Modelagem da média da temperatura média utilizando as variáveis preconizadas pela OMM em que  $\beta_0$  é o termo independente,  $\beta_1$  o coeficiente da altitude,  $\beta_2$  o coeficiente da latitude e  $\beta_3$  o coeficiente da longitude.

Tabela 13. Estatística de validação da média da temperatura média utilizando a latitude.

Tabela 14. Modelagem da média da temperatura mínima utilizando as variáveis preconizadas pela OMM em que  $\beta_0$  é o termo independente,  $\beta_1$  o coeficiente da altitude,  $\beta_2$  o coeficiente da latitude e  $\beta_3$  o coeficiente da longitude.

Tabela 15. Estatística de validação da média da temperatura mínima utilizando a latitude.

## **Acrônimos**

1. INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
2. OMM / WMO – Organização Meteorológica Mundial
3. OMI – Organização Meteorológica Internacional
4. CGA – Circulação Geral da Atmosfera
5. NC – Normais Climatológicas
6. NCP – Normais Climatológicas Provisórias
7. MBE – Média do Erro do Viés
8. RMSE – Raiz do Quadrado do Erro Médio
9. MAE – Erro Médio Absoluto
10. TI – Tecnologia da informação
11. GPS – Sistema de Posicionamento Global
12. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria

# Capítulo 1

## Introdução

O conhecimento das variáveis meteorológicas é importante nos estudos relacionados ao desempenho das culturas agrícolas e a temperatura do ar é a que mais interfere nos processos fisiológicos que ocorrem nas plantas. A temperatura influencia, principalmente, na velocidade das reações químicas e nos processos internos de translocação de assimilados (Pereira et al.,2002) (Benavides et al., 2007).

O animal doméstico, como todo ser vivo, vive em um ambiente constituído pelo conjunto de condições exteriores naturais e artificiais ou preparadas que sobre ele exerce sobre ele. O clima, como “a sucessão habitual das condições do tempo na região”, é um dos mais importantes fatores que atuam sobre os animais. Sua influência apresenta-se de ordem direta e indireta. A influência direta processa-se através da temperatura do ar, da radiação solar e, em menor grau, da umidade. A influência indireta, através da qualidade e quantidade de vegetais, que são indispensáveis à criação animal, e do possível favorecimento de doenças infectocontagiosas e parasitárias (Medeiros; Vieira, 1997).

Podemos destacar também que o conhecimento das temperaturas mínimas e máximas pode auxiliar no zoneamento agrícola de uma região (Galvani et al., 2000), na estimativa do ciclo das culturas e na definição da época de semeadura.

A variação da temperatura do ar é um dos efeitos mais importantes da radiação solar. Parte da energia radiante que atinge a superfície terrestre é utilizada para aquecer o solo que, por sua vez, aquece o ar em contato com sua superfície por meio de transporte de calor sensível por condução molecular e difusão turbulenta na massa de ar (Ometto, 1981).

Na camada de ar em contato com o solo, as temperaturas máximas do solo e do ar ocorrem quase que simultaneamente. No entanto, à medida que se afasta da superfície, o instante de ocorrência da máxima temperatura do ar vai sendo retardado em relação ao instante de ocorrência da máxima temperatura do solo (Pereira et al.,2002). Em média, essa defasagem é de 2 horas, numa altura de 2 metros do solo.

No período noturno o solo sofre resfriamento contínuo provocado pela interrupção da radiação solar e pelo constante processo da irradiação do solo, chegando à condição de inversão do fluxo de calor, ou seja, a atmosfera mais aquecida passa a transferir calor para o

solo. A temperatura mínima do ar ocorre em função desse resfriamento e atinge seu menor valor antes do nascer do sol (Vianello; Alves, 1991).

O monitoramento oficial da temperatura do ar é feito nas estações meteorológicas convencionais ou automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Entretanto, quando a rede de estações meteorológicas é insuficiente para permitir a caracterização térmica da região, a temperatura do ar pode ser estimada por equação de regressão múltipla com base na altitude, latitude e longitude. (Coelho et al., 1973; Pinto & Alfonsi, 1974; Feitoza et al., 1979; Almeida & Sá, 1984; Camargo & Ghizzi, 1991; Luiz & Silva, 1995; Sediyaama & Melo Júnior, 1998; Cargnelutti Filho et al., 2006).

Diante disso, este trabalho desenvolveu um aplicativo para a Plataforma Android com o intuito de estimar a temperatura da região norte do estado de Minas Gerais (maior região do estado quando leva em consideração o norte, noroeste, vale do Jequitinhonha), com forte predominância do semiárido e com grande incidência solar. Busca-se subsidiar a demanda dos profissionais que necessitam de dados para aplicação em estimativas de evaporação de corpos hídricos com aplicação em diversas áreas da agricultura, engenharia e saúde pública, evapotranspiração de culturas, balanço hídrico climatológico, bioclimatologia animal e humana, entre outros.

## Capítulo 2

### Referencial Teórico

Neste capítulo, referencia-se os principais tópicos que serão trabalhados no desenvolvimento dessa pesquisa com descrição da teoria, validação de modelos, além de uma breve importância do avanço tecnológico e do desenvolvimento de sistemas em pesquisas realizadas.

#### 2.1 Meteorologia e Climatologia

Segundo Silva (2006) a busca pelo conhecimento da atmosfera terrestre sempre foi um desejo desde os tempos mais antigos da humanidade e isso resultou em conhecimentos adquiridos a respeito da interdependência das condições climáticas fazendo com que houvesse o interesse pelos registros climatológicos. Para isso, era necessário desvendar a dinâmica dos fenômenos naturais, fazendo com que as pessoas começassem a compreender não somente o funcionamento de alguns fenômenos como também a condição de utilizadores e de manipuladores desses fenômenos em diferentes escalas. De um modo geral, enfatiza que o conhecimento humano na antiguidade era muito pobre.

No entanto, com o passar dos anos, houve uma evolução e o desvendamento de alguns fenômenos por explicações lógicas que ocasionou o ponto de partida para o estudo científico da atmosfera. (Silva, 2006)

Ainda nessa perspectiva, após a guerra, houve uma revolução no desenvolvimento técnico-científico, o que possibilitou a invenção de inúmeros aparelhos de mensuração dos elementos atmosféricos com maior precisão e confiabilidade. (Silva, 2006)

Em 1950 houve a fundação da Organização Meteorológica Mundial (OMM) dando sequência à Organização Meteorológica Internacional (OMI) de 1873 com o intuito de formar uma rede mundial de informações meteorológicas, desenvolvendo pesquisas sobre o monitoramento atmosférico contínuo da Terra. Com o avanço da tecnologia e da comunicação, tais informações podem ser acessadas em tempo real, permitindo um conhecimento de fácil acesso, facilitando o manuseio em pesquisas, entre outros (Silva, 2006).

A meteorologia e a climatologia permaneceram por um longo período de tempo como um só ramo do conhecimento do estudo da atmosfera terrestre. A partir do século XVIII até o século XIX, ocorreu na Europa a sistematização do conhecimento produzido segundo princípios de lógica e método, o que possibilitou a divisão do conhecimento em ramos específicos. Dessa maneira, o estudo da atmosfera pela Meteorologia passou a pertencer ao campo das Ciências Naturais (ramo da Física), sendo de sua competência o estudo dos fenômenos isolados da atmosfera e do tempo atmosférico. Trata-se, portanto, da dimensão física da atmosfera. Em resumo, abordam fenômenos como raios, trovões, descargas elétricas, entre outros.

A Climatologia surgiu após a sistematização da Meteorologia e é voltada para o estudo da espacialização dos elementos e fenômenos atmosféricos e de sua evolução integrando-se como uma subdivisão da Meteorologia e da Geografia.

Alguns conceitos revelam a preocupação com a compreensão do que seja a característica do clima em termos do comportamento médio dos elementos atmosféricos, tais como a média térmica, pluviométrica e/ou de pressão. Alguns deles internalizam a determinação temporal, onde as médias devem ser estabelecidas a partir de uma série de dados de um período de 30 anos.

Os estudos em Climatologia são estruturados a fim de evidenciar os elementos climáticos e os fatores geográficos do clima. São elementos constitutivos do clima: a temperatura, a umidade e a pressão atmosférica que interagem na formação dos diferentes climas da Terra. Todavia, esses variam espacial e temporalmente pela influência e fatores geográficos do clima, que são a altitude, a latitude, a maritimidade, a continentalidade, a vegetação e as atividades humanas.

Segundo Molion (1987):

O clima de uma região é determinado por fatores, denominados controles climáticos, que atuam tanto na escala global como na regional. Os mais importantes são a circulação geral da atmosfera (CGA), a topografia local, a natureza da cobertura vegetal, o ciclo hidrológico e a influência de correntes oceânicas se a região for costeira. A CGA, que é uma consequência da distribuição latitudinal da energia solar e da distribuição assimétrica de continentes e oceanos, impõem as características gerais do clima regional. O ciclo hidrológico não só é um componente do clima em si, mas também da paisagem biogeofísica. Sua influência no clima não se resume apenas às interações entre a umidade atmosférica, precipitação e escoamento superficial.

## 2.2 Normais Climatológicas

A realização de pesquisas baseada em dados dispostos ao longo do tempo para a modelagem matemática da estimativa da temperatura de um determinado local necessita coletar e manipular dados, o que a Organização Meteorológica Mundial (OMM) define como normal climatológica. Quando se pretende realizar estudos que se baseiam nessa definição, necessita-se de uma quantidade de dados que são obtidos ao longo do tempo, a fim de conseguir uma uniformização e homogeneidade do comportamento dos dados no período estudado. Esse tempo deve ser de, no mínimo, 30 anos, segundo a orientação da OMM.

A necessidade da comparação de dados observados em diferentes partes do globo conduziu à definição de Normais Climatológicas – NC, pela Organização Meteorológica Mundial (WMO-Nº 100, 1983). As normais correspondem às médias das variáveis atmosféricas registradas em períodos de 30 anos. Segundo a Regulamentação Técnica da OMM nº 49 (WMO-Nº 49, 1988), considera-se como Normais Climatológicas Padrão, a média de dados observados seguindo períodos como na tabela 1:

Tabela 1: Períodos de Normais Climatológicas Padrão – NCP

	<b>Início</b>	<b>Fim</b>
<b>1ª NCP</b>	1º de janeiro de 1901	31 de dezembro de 1930
<b>2ª NCP</b>	1º de janeiro de 1931	31 de dezembro de 1960
<b>3ª NCP</b>	1º de janeiro de 1961	31 de dezembro de 1990

Fonte: WMO-Nº 49, 1988

e assim por diante. Como muitas estações meteorológicas não possuem registros longos, a OMM recomenda o cálculo das NCP (que também podem ser denominadas simplesmente de médias). Estas devem ser computadas para períodos com no mínimo dez anos de dados e começando em 1º de janeiro dos anos que terminem com o dígito 1. Por exemplo, 1º de janeiro de 1981 a 31 de dezembro de 1994, 1º de janeiro de 1991 a 31 de dezembro de 2010.

No Brasil, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2009 apud Reboita & Kruche, 2018), como as observações meteorológicas só começaram a ser realizadas de forma sistemática a partir de 1910, as primeiras NC foram obtidas para o período de 1931 a 1960 e foram publicadas pelo Escritório de Meteorologia do Ministério da Agricultura em

1970. Já as NC para o período de 1961 a 1990 foram publicadas pelo Departamento Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, atual INMET, em 1992.

Ao longo dos anos, verificou-se que vários erros e inconsistências foram sendo registrados pelo INMET no cálculo das normais do período de 1961 a 1990. Foram realizados trabalhos que avaliaram e corrigiram esses problemas e, em 2009, o INMET lançou a segunda versão das “Normais Climatológicas do Brasil 1961 a 1990”. Embora o título desse trabalho se remeta a ideia das Normais Climatológicas Padrão (30 anos de dados), o mesmo também inclui NCP de várias estações que não possuem registros longos. Esse fato é mostrado através do parágrafo: “As normais ora publicadas são médias históricas no período de janeiro de 1961 a 31 de dezembro de 1990, correspondentes a 394 estações meteorológicas de superfície do INMET, dentre aquelas em operação naquele período. São, em geral, normais provisórias, segundo conceituação e procedimentos da Organização Meteorológica Mundial (OMM) ...” (INMET, 2009 apud Reboita & Kruche, 2018).

Recentemente, foi publicado pelo site do INMET a NC do período compreendido de 1981 a 2010. Segundo o site do INMET, a (OMM) define Normais como “valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, no mínimo três décadas consecutivas” e padrões climatológicos normais como “médias de dados climatológicos calculadas para períodos consecutivos de 30 anos. No caso de estações para as quais a mais recente Normal Climatológica não esteja disponível, seja porque a estação não esteve em operação durante o período de 30 anos ou por outra razão qualquer, Normais Provisórias podem ser calculadas. Estas são médias de curto período, baseadas em observações que se estendam sobre um período mínimo de 10 anos. Essa norma climatológica é resultado de um projeto concluído em março de 2018, que teve como objetivo analisar e registrar as alterações do clima durante os dois decênios subsequentes à edição anterior, as Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 divulgado pelo INMET em 2009, abrangendo cerca de 440 estações meteorológicas de superfície do INMET em operação, durante anos do período entre 01/01/1981 a 31/12/2010. A NC do Brasil 1981-2010 atualizou o conjunto de 26 parâmetros meteorológicos computadas na versão 1961-1990 e adicionou mais 14 parâmetros, no total de 40 variáveis meteorológicas, uma vez que a nova publicação visa proporcionar orientação, informação e assistência a comunidade da ciência do clima, ao agronegócio, as instituições públicas e privadas nacionais e internacionais. (INMET, 2018)

## 2.3 Declinação Solar

A distribuição solar na terra não é uniforme. A distribuição solar recebida no equador é mais que o dobro do que nos polos terrestre (Sellers, 1965 apud Giacomoni, 2005) e a quantidade de energia solar incidente na Terra depende justamente da incidência dos raios solares sobre a superfície da mesma. Somando-se a isso, há a movimentação de translação da Terra ao redor do Sol em conjunto com a inclinação do eixo em relação ao plano da elíptica que provoca a sucessão das estações do ano. Esse movimento é medido pelo ângulo que forma o vetor posição do Sol, com origem no centro da Terra e o plano equatorial. Tal ângulo é o que denominamos de declinação solar e é representado por  $\delta$ . (Garcia, 1994 apud Giacomoni, 2005)

A declinação solar é definida como o ângulo formado entre uma linha imaginária ligando o centro da Terra ao centro do sol, com o plano do Equador. No decorrer do ano, essa linha imaginária varia entre  $23,45^\circ$  ( $23^\circ 27'$ ) em relação ao plano normal, que é a linha do equador.

Nos solstícios de inverno e verão são os períodos em que a declinação se encontra com o seu maior ângulo, ocorrendo respectivamente em 21 de Dezembro e 21 ou 22 de junho. Por outro lado, a declinação solar é nula nos equinócios, em que a duração do dia é igual a duração da noite. Esse fenômeno ocorre em 20 ou 21 de março e 21 de setembro.

A equação 1 definida abaixo calcula a declinação solar de acordo com (Cooper, 1969; Vianello & Alves, 1991 apud De Andrade, 2002).

$$\delta = 23,45 \cdot \text{sen} \left[ \frac{360}{365} \cdot (284 + n) \right] \quad (1)$$

em que  $n$  representa do dia Juliano, ou seja, o dia do ano, variando de 1 a 365.

O interesse no conhecimento da declinação solar está diretamente ligado com a incidência solar sobre a superfície da terra, uma vez que a medida que os dias passam, essa variação altera com o decorrer dos anos.

De acordo com (Duffie, 1980 apud Beford e Bock, 1939), o ângulo entre a incidência de raios solares e a normal com a superfície que passa pela linha do equador é chamado de ângulo de incidência  $\theta$ . É possível calcular a medida desse ângulo a cada hora do dia.

Com o intuito de relacionar a latitude com a declinação solar e o ângulo de incidência de maneira, não levando em consideração cada hora do dia e sim ao meio dia, chegamos à equação 2 que definimos o ângulo  $\theta_z$  como:

$$\theta_z = latitude - \delta \quad (2)$$

Uma vez encontrado  $\theta_z$ , calcula-se o cosseno do mesmo a fim de encontrar um valor numérico para o cálculo da regressão, como mostra a equação 3.

$$\cos(\theta_z) \quad (3)$$

A figura 1 ilustra o ângulo da declinação solar e o ângulo  $\theta_z$ . Para uma determinada estação meteorológica haverá diferentes valores no decorrer do ano haja vista que a declinação solar varia de valor para todos os dias do ano. Outro ponto interessante é que ao considerarmos o cosseno de  $\theta_z$ , haverá apenas valores positivos variando de 0 a 1 já que a função cosseno é uma função par e o valor da latitude da região considerada na pesquisa quando subtraída a declinação estará com valores positivos para a imagem da função cosseno.

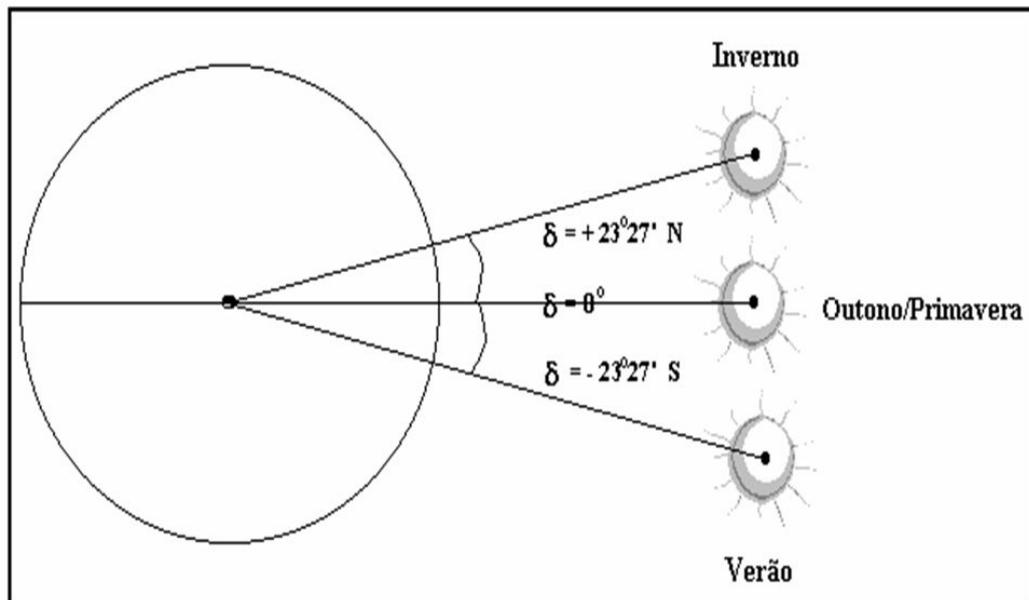


Figura 1: Ilustração da declinação solar na terra

Uma vez encontrados esses valores, é possível fazer o cálculo da regressão linear múltipla colocando como variável dependente a temperatura ou a normal climatológica e as variáveis  $\cos(\theta_z)$ , longitude e altitude como variáveis independentes.

## 2.4 Regressão Linear Múltipla

Uma equação de regressão linear expressa uma relação entre uma variável  $x$  que pode ser denominada como variável explanatória, previsora ou mais comumente de variável independente, e uma variável  $y$  chamada de resposta ou variável dependente. (Triola, 2008).

Um modelo de regressão linear simples para uma amostra de  $n$  dados ou  $n$  valores podem ser escrito como a equação 4.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i \quad (4)$$

com  $i = 1, 2, \dots, n$

O termo simples refere-se que há somente uma variável  $x$  para predizer o valor da variável resposta  $y$  e dizer que é linear significa que são lineares em  $\beta_0$  e em  $\beta_1$ . (Rencher, 2000)

Em modelos de regressão múltiplas, a variável resposta será descrita por meio de uma relação linear com duas ou mais variáveis independentes. Tal modelo é descrito pela equação 5.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon_i \quad (5)$$

A interpretação para o modelo acima é equivalente ao simples. Considera-se múltiplo já que se utiliza duas ou mais variáveis independentes e linear pois a equação é lineares nos *betas*. (Neter, 1990)

Nesses modelos, os *betas* serão os parâmetros de intercepto e de inclinação e  $\varepsilon_i$  será uma variável aleatória assumida como sendo distribuída com  $E(\varepsilon_i) = 0$  e  $Var(\varepsilon_i) = \sigma^2$ . O valor de  $\sigma^2$  é chamado de variância do erro ou variância residual.

A presença desse erro aleatório evita que os modelos se tornem simplesmente equações determinísticas. Por outro lado, considerar o fato de que  $E(\varepsilon_i) = 0$ , implica que os valores de  $y$ , que é nossa variável predita no modelo, sejam distribuídos ao redor de uma reta de regressão real ou populacional. (Walpole, 2009)

Diante disso, o modelo de equação de regressão linear simples ou o de regressão linear múltipla se resumem respectivamente a:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i \quad (6)$$

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (7)$$

em que os parâmetros procurados são somente os valores dos *betas*.

## 2.5 Equações de Validação: *r*, *c* e *d* de Wilmott

Em muitos estudos no qual se trabalha com dados quantitativos e que se usam cálculos estatísticos para chegar a alguma conclusão ou modelo de previsão, utilizamos o coeficiente de correlação para a validação do mesmo, conhecido como *r* ou  $r^2$ .

O Departamento de Meio Ambiente dos Estados Unidos fez uma parceria com cientistas para desenvolver uma maneira de avaliar o desempenho de modelos no ano de 1980, com o intuito de recomendar medidas e métodos de avaliação de desempenho de modelo e propor padrões para o desempenho dos mesmos.

Alguns modelos de dispersão de qualidade do ar foram usados em apoio à legislação do país, a fim de proteger a qualidade do ar do país. Tais modelos fornecem uma maneira dos tribunais interpretarem como mecanismo para estabelecer níveis aceitáveis de controle de emissões de partículas na atmosfera (Fox, 1980). Dentre os participantes estava Douglas Fox, com a proposta quanto à previsão de modelos de qualidade do ar para padronização os mesmos. Esse grupo, que buscou discutir a validação e a calibração dos modelos, recomendou que “os modelos cumpram certos padrões de desempenho se eles forem aprovados na Diretriz para uso geral” (Roberts, 1977 apud Fox, 1981).

O grupo de pesquisadores não recomendou nenhum padrão numérico específico para o desempenho aceitável do modelo, pois não havia informações suficientes. Em vez disso, foram sugeridas considerações para avaliar o desempenho do modelo usando intervalos de confiança estatisticamente construídos em comparação com os modelos existentes na época.

Ainda hoje, o coeficiente de correlação de PEARSON ( $r$ ) é escolhido quase que exclusivamente para a tarefa. Entretanto, algumas vezes, o coeficiente de determinação  $r^2$  é apresentado, mas ele proporciona pouca informação adicional. A proporção de variação explicada por  $P$  e incorporada em  $r^2$ , oferece ligeiramente uma medida mais intuitivamente satisfatória da avaliação do modelo do que mera correlação. Ao mesmo tempo, é comum encontrar a significância estatística de  $r$  ou  $r^2$  apresentada para corroborar interpretações de coeficiente(s) de correlação. Calcular um índice quantitativo de associação, covariação ou correlação entre uma variável observada ( $O$ ) e de um modelo previsto ( $P$ ), podem levar a uma variedade de interpretações, embora seja, levado em consideração a inércia histórica dos dados. (Willmott, 1982)

Fox recomenda, em teoria, que quatro medidas de diferenças deveriam ser calculadas e apresentadas. O viés pode ser descrito pela média do erro do viés ( $MBE$ ) enquanto a variabilidade de  $P - O$  sobre  $MBE$  ( $s_d^2$ ) é meramente a variância de distribuição de diferenças. A diferença média pode ser alternativamente descrita pela raiz do quadrado do erro médio ( $RMSE$ ), e seu quadrado ou o quadrado do erro médio será o erro médio absoluto ( $MAE$ ). De acordo com Fox, esses índices tomam as Equações 8 a 11:

$$MBE = N^{-1} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i) \quad (8)$$

$$s_d^2 = (N - 1)^{-1} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i - MBE)^2 \quad (9)$$

$$RMSE = [N^{-1} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2]^{0,5} \quad (10)$$

$$MAE = N^{-1} \sum_{i=1}^N |P_i - O_i| \quad (11)$$

onde:

$N$  – o número de casos

$MBE$  – média do erro do viés

$s_d^2$  – variância de distribuições de diferenças

$RMSE$  – raiz do quadrado do erro médio

$MAE$  – erro médio absoluto

$P_i$  – valor previsto

$O_i$  – valor observado

Os valores de  $RMSE$  e  $MAE$  estão entre as melhores medidas totais do desempenho de modelo, já que elas resumem a diferença média nas unidades de  $(O)$  e  $(P)$ . Fox menciona que  $MAE$  é menos sensível aos valores extremos que  $RMSE$ , e deveria ser adicionado que  $MAE$  é intuitivamente mais atraente, desde que ele evita a exponenciação fisicamente artificial, que é um artefato da razoabilidade matemática-estatística, da qual  $RMSE$  vem. Por outro lado,  $MSE$  e  $RMSE$  são geralmente receptivos a análises matemáticas estatísticas mais profundas do que o  $MAE$ . No entanto, desde que,  $MAE$  e  $RMSE$  sejam medidas similares, é apropriado em muitos casos apresentar ambos ou nenhum dos índices. Os primeiros dois momentos de distribuição de diferenças  $MBE$  e  $s^2$ , contudo, não proporcionam valor diagnóstico suficiente para satisfazer sua inclusão, além de outras medidas em uma matriz de medidas de avaliação de modelos.

O  $MBE$  é meramente a diferença entre a média da variável do modelo predito ( $\bar{P}$ ) e a variável de dados observados ( $\bar{O}$ ). O senso comum então sugere que pesquisadores podem alternativamente reportar ( $\bar{P}$ ) e ( $\bar{O}$ ), desde que mais pessoas estejam familiarizadas com esses índices e eles contenham um pouco mais de informação que o  $MBE$  por ele mesmo. Quando  $MSE$ , em adição a  $\bar{P}$  e  $\bar{O}$ , sabe-se que  $s_d^2$  também adiciona um pouco de nova informação, como ele é uma simples função dos termos acima, chegamos a Equação 12.

$$s_d^2 \cong MSE - (\bar{P} - \bar{O})^2 \quad (12)$$

Como o trabalho proposto pelos cientistas apresentaram certa restrição, Willmott faz alguns comentários a respeito das considerações apresentadas por Fox e uma crítica, já que “o único defeito sério do artigo é que sua estrutura tópica é restrita aos modelos de qualidade do ar quando muitos dos outros campos dentro das ciências atmosféricas poderiam se beneficiar com tal discurso” (Willmott, 1982)

Willmott difere da opinião de Fox, pois está relacionada à questão de se  $r$  ou  $r^2$  deveria mesmo ser usado. O problema principal é que as magnitudes de  $r$  e  $r^2$  não são consistentemente relacionadas à precisão da previsão, como por exemplo, onde a precisão é definida como grau de observações do modelo predito abordam as magnitudes de suas partes contrárias observadas. Willmott, a princípio, demonstra que correlações entre variáveis do modelo predito muito diferentes e  $(O)$  podem facilmente apontar um ponto zero enquanto um número de comparações recentes de modelos de irradiação solar ilustra que  $r$  e  $r^2$  são

insuficientes para fazer distinções significatórias entre modelos. Em outro estudo Willmott observou que valores altos ou estatisticamente significantes de  $r$  e  $r^2$  podem ser de fato errôneos, como eles geralmente não estão relacionados aos tamanhos de diferenças entre ( $O$ ) e ( $P$ ). Isso também é pouco possível para diferenças pequenas entre ( $O$ ) e ( $P$ ) para ocorrer com baixos ou até mesmo valores negativos de  $r$ . Desde que as relações entre  $r$  e  $r^2$  e a avaliação de modelo não estejam bem determinadas e não consistente,  $r$  ou  $r^2$  não deveriam ser parte de uma matriz de medidas de avaliação de modelos.

Segundo Willmott (1982) é adicionalmente inapropriado dizer que tais medidas são estatisticamente significantes, não somente isso pode ser um problema porque a magnitude de  $r$  e seu nível de significância associado não estão necessariamente relacionados à precisão com o que o modelo prevê o ( $O$ ), mas também para o ( $O$ ) e ( $P$ ), especialmente ( $P$ ) que raramente se conformam com as suposições que são pré-requisitos para a aplicação apropriada de estatísticas inferenciais.

Medidas de diferenças são todas derivadas da quantidade fundamental ( $P_i - O_i$ ), embora cada medida seja escalada de uma forma diferente para descrever características particulares das magnitudes de diferenças. As medidas  $MAE$  e  $RMSE$  dão estimativas do erro médio, mas nenhuma delas proporciona informações sobre o tamanho relativo da diferença média ou a natureza (tipo) da compreensão das diferenças  $MAE$  ou  $RMSE$ . Levando em consideração essas afirmações, trabalhos com  $MSE$ , Willmott alternativamente propôs e usou um índice de concordância que tem como Equação 13 e 14.

$$d = 1 - [\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2 / \sum_{i=1}^N (|P'_i| + |O'_i|)^2] \quad (13)$$

$$0 \leq d \leq 1 \quad (14)$$

onde:

$$P'_i = P_i - \bar{O}$$

$$O'_i = O_i - \bar{O}.$$

A proposta do índice  $d$  é ser uma medida descritiva, e é tanto uma medida relativa e limitada que pode ser amplamente aplicada para fazer comparação entre modelos, e quanto mais próximo de 1 for o valor de  $d$ , melhor será o modelo proposto.

Adicionalmente a esta estatística de Willmott, foi proposto por Camargo (1997) um novo índice “ $c$ ”, em relatório ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, para

indicar os desempenhos dos métodos, reunindo os índices de precisão “ $r$ ” e de exatidão “ $d$ ”, na Equação 15.

$$c = r \times d \quad (15)$$

onde:

$r$  – coeficiente de Pearson

$d$  – estatística de Willmott

De acordo com Camargo, uma vez feita os cálculos do valor  $c$  para a estatística proposta pelo mesmo, a sua interpretação é apresentada na Tabela 2:

Tabela 2: Critério de interpretação do desempenho do modelo pelo índice “ $c$ ”.

Valor de “ $c$ ”	Desempenho
>0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Fonte: Camargo, 1997

Em resumo, temos que a qualidade preditiva do modelo deve ser validada quanto à precisão, exatidão e desempenho. A precisão é quantificada pelo coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), a exatidão deve ser quantificada pelo índice de concordância ( $d$ ) de Willmott (1982) e, por fim, o desempenho do modelo deve ser quantificado pelo índice de consistência  $c$ , proposto por Camargo (1997) e avaliar a significância do mesmo.

## 2.6 Uso de Aplicativos na Obtenção de Dados Técnicos

Com o avanço da tecnologia nos últimos anos, vem crescendo a utilização de aplicativos em diversas áreas do conhecimento. Sabemos que a população em geral está cada

vez mais adepta a novas tecnologias. Na área da educação, o modo de lecionar deve ser aprimorado, de modo a encantar e atrair os olhares dos estudantes. Com todas essas possibilidades, o uso educacional de *tablets*, conforme defendido por (Goodwin, 2012 *apud* Barcelos & Batista, 2013), pode melhorar o engajamento, a motivação dos alunos e a colaboração entre os mesmos, tanto na educação presencial quanto a distância.

Além disso, tem crescido o número de profissionais da área da tecnologia da informação – TI interessados em desenvolver aplicativos, para as mais diversas necessidades. Esses profissionais têm atendido um público cada vez mais diversificado.

Na área da saúde, Soares et al, (2013), formaram um grupo de pesquisa que propôs desenvolver um aplicativo para o sistema operacional Android para calcular a DEP - Dose Eritematogênica Padrão, para que o profissional das técnicas radiológicas pudesse estimar a dose absorvida pelo paciente. É constante a preocupação relacionada ao uso da radiação ionizante que é a quantidade de dose que os profissionais das técnicas radiológicas e pacientes são expostos. Apesar da evolução tecnológica, ainda é escasso o estudo da influência que as variáveis elétricas e geométricas de um equipamento exercem na dose de entrada na pele, DEP.

Na área da topografia, a maioria dos levantamentos topográficos aplicada ao meio agrícola é realizada para obter plantas planimétricas e planialtimétricas. Estas plantas são desenhos que representam, de forma plana e em escala, uma determinada área (Azambuja, 2007 *apud* Gonçalves, 2016). Para a elaboração destes mapas, é necessária a utilização de alguns métodos e equipamentos normalmente caros e de uso restrito. Os aparelhos utilizados em levantamentos topográficos variam de acordo com seu nível tecnológico de aplicabilidade e, geralmente, os mais utilizados são a Estação Total, teodolitos e o Sistema de Posicionamento Global – GPS (Tuler, 2014 *apud* Gonçalves, 2016). Os aparelhos tecnológicos têm se tornado ferramenta indispensável para essa área do conhecimento, já que utilizam o GPS, que pode ser obtido com o uso de alguns aplicativos Android, por exemplo, C7 GPS Malhas desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM (Gonçalves, 2016).

Novos aparelhos ou aplicativos com certeza surgirão. Precisamos nos adequar, aprimorar e acompanhar o desenvolvimento tecnológico. Esses aparelhos ou aplicativos tendem a reduzir custos, aprimorar cálculos que são passíveis de erros manuais sem contar com a redução do tempo gasto no manuseio de certas técnicas desenvolvidas pelo homem quando se comparada com uma máquina.

## Capítulo 3

### Objetivos:

Este capítulo cita os objetivos geral e específico da pesquisa.

### 3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo desenvolver um aplicativo para a plataforma android com um modelo matemático que estime a temperatura mensal máxima, média e mínima do ar na região norte do Estado de Minas Gerais levando em consideração as variações espacial e temporal através de uma análise de regressão múltipla.

### 3.2 Objetivos Específicos

Para a conclusão da pesquisa, fundamentar-se-á nos seguintes objetivos específicos:

- Coletar os dados meteorológicos disponibilizados no site do INMET para a modelagem da temperatura máxima, média e mínima da região do Norte de Minas.
- Construir a equação de estimativa da temperatura média do ar utilizando a declinação solar combinado com a latitude, altitude e longitude como variáveis independentes na regressão linear múltipla.
- Construir a equação de estimativa da temperatura média do ar utilizando a altitude, latitude e longitude como variáveis independentes na regressão linear múltipla.
- Validar o modelo matemático que estima a temperatura da região do Norte de Minas Gerais.
- Indicar dentre os modelos matemáticos de regressão linear múltipla desenvolvidos o que apresenta melhor índice de validação.

- Desenvolver o aplicativo que estime a temperatura média do ar através de modelo de regressão linear múltipla desenvolvido e validado na pesquisa.

## Capítulo 4

### Materiais e Métodos

Este capítulo descreve o desenvolvimento da pesquisa realizada, bem como caracterização do problema abordado para embasar no desenvolvimento da mesma. Além disso, a metodologia adotada e descrição da análise de dados feita bem como o software utilizado para tal.

#### 4.1 Caracterização do Problema:

O estado de Minas Gerais possui grande dimensão territorial com valor igual a 586.520,732 km<sup>2</sup> (IBGE, 2018), valor que o coloca como o quarto maior estado do Brasil, com acentuada variação climática. O próprio tipo e desenvolvimento da agropecuária mineira demonstram essa realidade, em função do clima, potencial agrícola bastante complexo confirmado pela presença de culturas tropicais, subtropicais, semiárido e animais adaptados a clima temperado e ao semiárido, entre outros.

A região em questão ocupa uma extensão territorial aproximadamente um terço de todo o estado de Minas Gerais, como mostra a Figura 2. Há uma predominância da pecuária, seguido de fruticultura e grãos, e com grande necessidade de conhecimento da temperatura local para que se possam desenvolver tecnologias que visem a economia de água e o uso de raças de animais adaptados, o que proporcionará um alavancamento da agropecuária regional, atendendo desde grandes produtores até a produtores da agricultura familiar.

Diversos estudos já realizados desenvolveram um modelo matemático que estima a variação climática de diferentes estados brasileiros como, por exemplo, estado de Goiás (Luiz & Silva, 1995), estado do Rio Grande do Sul (Cargnelutti Filho et al., 2006), Espírito Santo (Feitoza et al., 1979), Sudoeste da Bahia (Almeida & Sá, 1984) e até mesmo o estado de Minas Gerais (Coelho et al., 1973). Com exceção do estudo realizado na Bahia, todos eles consideraram a extensão territorial total do estado. Além disso, todos eles foram realizados antes da década de 90, exceto o estudo realizado no estado do Rio grande do Sul.

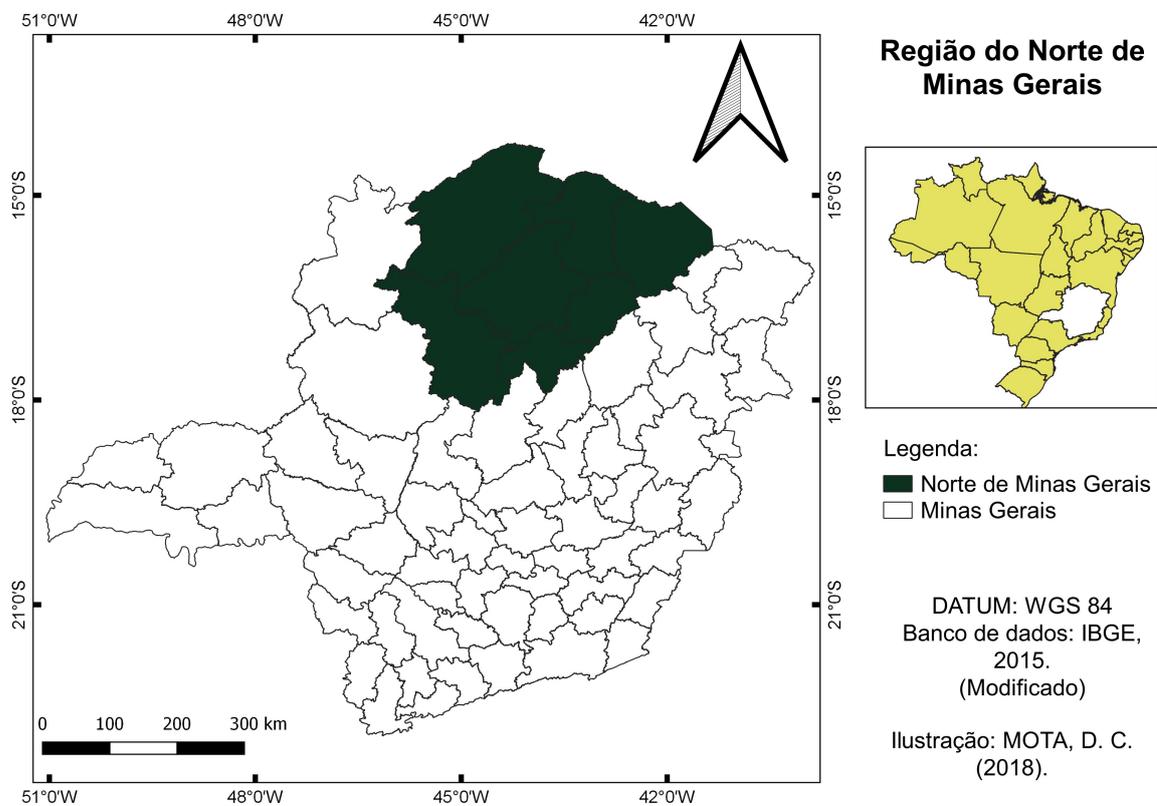


Figura 2: Mapa do Norte do estado de Minas Gerais.

Uma vez que o estado de Minas Gerais possui uma grande dimensão territorial pode ser que o modelo tenha sofrido uma imprecisão na estimativa da temperatura já que o estado apresenta grande variabilidade climatológica. Por outro lado, considerando que a norma climatológica utiliza dados históricos de anos anteriores ao da realização da pesquisa, há uma necessidade de um modelo mais atualizado que leva em consideração dados de temperatura de anos mais recentes.

No entanto, não há nenhuma ferramenta ou modelo matemático que estima a temperatura mensal do ar nesta região, ou qualquer aplicativo computacional. Há apenas estações do INMET que fazem a aferição diária da temperatura. Nota-se, portanto, uma necessidade de desenvolver um modelo que estime tal temperatura mensal e a criação de um aplicativo de fácil manuseio que auxilie nas contas através deste modelo para a realização de forma mais precisa e mais rápida a fim de se obter o resultado.

Diante disso, propõe-se neste trabalho a criação de um aplicativo para a Plataforma Android com o intuito de estimar a temperatura da região do norte do estado de Minas Gerais, tendo em vista a forte predominância de semiárido, com grande incidência solar.

O modelo matemático será feito através de uma regressão linear múltipla levando em consideração duas modelagens. A primeira, por meio de uma combinação linear de três variáveis independentes: altitude, latitude e longitude, e a segunda, da combinação linear da altitude, longitude e da análise conjunta da declinação solar com a latitude. Naquela, adotaremos as variáveis utilizadas em diversas pesquisas e preconizadas pela OMM. Já o segundo modelo, é uma proposta de análise inovadora.

Após o ajuste dos modelos, eles passaram por processos de validação para escolha do melhor. Esse será usado para o desenvolvimento do aplicativo e disponibilização do mesmo na plataforma Android. Este aplicativo possibilitará agilidade no cálculo da estimativa da temperatura uma vez que o mesmo é de fácil manuseio, permitindo que qualquer pessoa possa utilizá-lo.

## **4.2 Metodologia:**

Para desenvolvimento da pesquisa foram utilizados os dados das médias das temperaturas máxima, média e mínima mensais das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, situadas no norte de Minas Gerais, e de estações que delimitam a área do norte do estado, situados na região Noroeste e Vale do Jequitinhonha do estado, na área de abrangência como mostra na Figura 3.

A World Meteorological Organization recomenda que em análise de séries históricas de dados climáticos sejam utilizados dados de pelo menos 30 anos (Martin et al., 2008)

Nesta pesquisa, foram considerados os dados de temperatura compreendidos entre 1985 a 2015, porém nenhuma estação apresentou a totalidade de seus dados nesse período. O período considerado em cada estação difere de uma pra outra, por não apresentar a quantidade mínima aceitável preconizada que são de trinta anos. A estação que contém menor quantidade de tempo de aferições de temperaturas apresentou um período de 18 anos de médias de temperaturas mensais, é o caso da estação do INMET da cidade de Arinos, enquanto que a estação que apresentou o maior tempo de dados históricos tem 27 anos de registro, é o caso da estação da cidade de Pirapora.

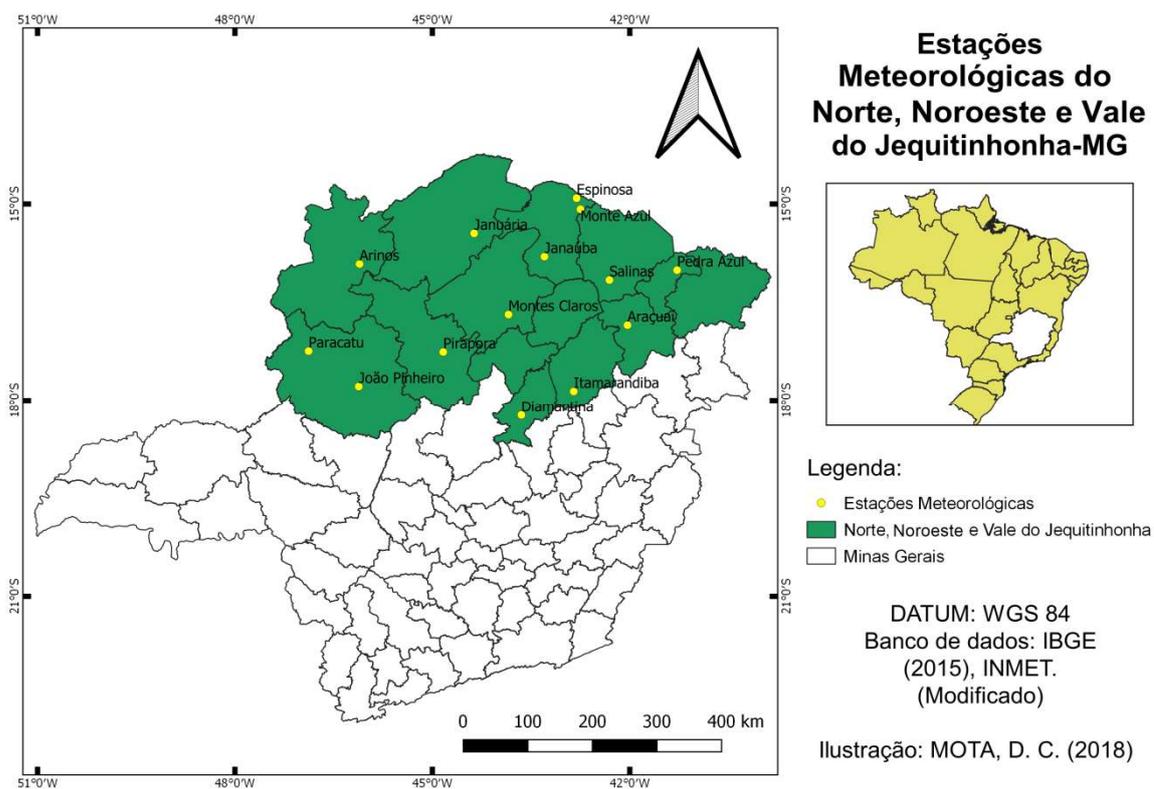


Figura 3: Localização das Estações Climatológicas no Norte, Noroeste e Vale do Jequitinhonha utilizadas na pesquisa para a modelagem matemática da temperatura da região Norte do estado.

“De acordo com vários estudos já realizados, a utilização de um período menor do que é preconizado, tem obtidos resultados satisfatórios.” (Lima & Ribeiro, 1998; Pezzopane et al., 2004; Gomes et al., 2005 apud Antonini et al, 2009).

Nas tabelas a seguir, estão listadas as estações consideradas na pesquisa desenvolvida para a criação da modelagem matemática bem como suas características necessárias para o cálculo da análise de regressão múltipla, que são as informações da declinação solar, altitude, e longitude de cada estação para o primeiro cálculo de regressão e altitude, latitude e longitude para o segundo cálculo. Com exceção da variável independente  $\cos(\theta_z)$ , que é encontrada através de um cálculo que utiliza a combinação da declinação solar e da latitude, variando a cada mês pois leva em consideração o dia Juliano, as demais informações contidas na tabela foram obtidos no site do INMET.

Todos esses dados foram utilizados na análise de regressão linear múltipla como variáveis independentes. Já a média da temperatura do período considerado (normal climatológica) de cada estação é a variável dependente. Esses valores de normal climatológica

foram obtidos através de uma média aritmética simples dos dados de temperatura no período considerado.

Tabela 3 – Características das estações do INMET que comporão as variáveis independentes na análise de regressão linear: Altitude, Latitude, Longitude e variável  $\cos(\theta_z)$  determinada com a declinação solar.

LOCALIDADE	ALTITUDE (M)	LATITUDE SUL (°)	LONGITUDE OESTE (°)	COS( $\theta_z$ )**
Araçuaí <sup>(1)</sup>	289	-16,833333	-42,035361	0,9970
Arinos <sup>(2)</sup>	519	-15,915278	-46,106667	0,9956
Diamantina <sup>(1)</sup>	1296,12	-18,238889	-43,616944	0,9986
Espinosa	569,64	-14,912222	-42,808333	0,9938
Itamarandiba <sup>(1)</sup>	914	-17,859722	-42,852778	0,9982
Janaúba	532	-15,802833	-43,297056	0,9955
Januária	473,71	-15,448089	-44,366313	0,9948
João Pinheiro <sup>(2)</sup>	760,36	-17,78477	-46,176667	0,9982
Monte Azul	603,63	-15,08*	-42,75*	0,9942
Montes Claros	652	-16,686389	-43,843611	0,9968
Paracatu <sup>(2)</sup>	712	-17,244167	-46,881667	0,9975
Pedra Azul	648,91	-16,01*	-41,281111	0,9958
Pirapora	505,24	-17,349167	-44,921667	0,9977
Salinas	471,32	-16,15475	-42,285167	0,9960

Fonte: Dados históricos do INMET, 2018.

Nota: \*Dados com menos casas decimais disponibilizados pelo INMET

(1) Estações que limitam a região de estudo situada no Vale do Jequitinhonha

(2) Estações que limitam a região de estudo situada no Noroeste do estado.

\*\*O cálculo do  $\cos(\theta_z)$  varia cada mês pois leva em consideração a declinação. Essa tabela é referente ao mês de Janeiro. Obviamente, nos demais meses, essa variável independente tem seus valores alterados para o cálculo da regressão linear múltipla.

### 4.3 Análise e processamento dos dados:

Para a análise dos dados dessa pesquisa, em cada mês de cada estação, foi calculada a média das temperaturas máxima, média e mínima dos dados fornecidos pelo INMET no período considerado, obtiveram-se então doze médias equivalentes a cada mês do ano

referente à temperatura máxima, temperatura média e temperatura mínima em cada estação meteorológica utilizada na modelagem matemática.

Inicialmente, esses dados coletados no INMET foram organizados numa planilha eletrônica a fim de obter a média dos mesmos (normal climatológica) como ilustrado na figura 4. A normal climatológica da estação de Pirapora encontra-se na última coluna da tabela.

Para todas as estações envolvidas na pesquisa foi elaborada uma tabela juntamente com suas respectivas normais climatológicas mensais. As células destacadas de azul indicam os dados falhos ou dados indisponíveis, valores que não foram disponibilizados pelo INMET. Os motivos dessas falhas são inúmeras, desde a falta de monitoramento por parte da estação até mesmo a danificação de algum aparelho de medição da estação meteorológica. Neste caso, para o cálculo da normal climatológica, despreza esses valores e calcula a média com os valores que foram disponibilizados pelo INMET.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH
92	PIRAPORA																																	
94	T C	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	MÉDIA	
95	JAN	27,90				32,43	32,06	30,24	28,07	31,95	30,56	33,63	33,14	31,43	32,85	32,16	31,36	32,77	32,34	30,94	30,19	31,10	32,50	30,68	31,16	31,22	32,68	31,84	30,46	30,87	32,35	31,95		
96	FEV	32,49				32,26	31,64	31,17	28,87	30,59	33,60	31,70	34,79	32,09	33,77	33,20	32,00	34,42	30,45	32,29	29,68	31,26	33,67	30,95	31,20	32,27	34,47	34,66	32,60	33,22	33,56	32,01	32,30	
97	MAR	31,38				31,82	33,07	30,71	31,95	33,56	29,32	32,47	33,45	29,60	31,40	31,25	32,20	32,16	32,85	30,07	30,81	30,90	32,85	30,94	32,67	32,63	30,72	31,64	32,64	31,98	32,04	31,74		
98	ABR	30,69				32,92	32,25	31,01	31,72	32,02	30,84	31,65	32,12	30,14	31,72	31,95	33,21	32,27	31,69	29,43	32,22	29,79	32,21	31,29	30,95	31,69	30,83	32,71	30,95	32,29	32,30	31,62		
99	MAI	29,63				29,78	30,24	28,87	30,97	29,75	31,21	30,30	30,60	29,95	30,87	30,13	30,35	30,83	31,15	29,84	29,33	29,91	29,11	30,90	30,17	29,94	31,24	29,97	29,40	30,11	31,34	30,55	30,22	
100	JUN	27,64				28,79	29,57	29,41	28,89	28,97	29,01	29,38	29,73	28,24	29,82	30,31	29,47	30,17	30,19	29,83	28,18	28,79	27,99	30,13	30,05	29,23	29,07	29,40	30,83	30,20	30,18	30,51	29,49	
101	JUL	27,84				28,69	29,08	28,77	29,15	30,59	29,08	30,24	29,73	28,75	30,71	30,02	29,24	30,39	30,70	29,44	27,63	29,31	28,79	30,29	29,21	31,12	30,08	29,89	30,42	29,96	30,62	29,70		
102	AGO	30,81				30,18	29,19	29,89	30,66	30,81	30,79	32,48	31,11	30,35	33,29	30,73	31,25	30,42	32,20	31,52	30,79	31,60	31,53	30,95	32,09	31,01	30,95	32,86	29,90	32,52	32,15	31,19		
103	SET	31,64				33,23	30,95	31,02	30,62	33,14	33,15	33,62	32,99	35,27	35,59	33,42	31,30	32,21	32,39	32,71	33,99	33,03	32,25	32,87	33,89	33,92	33,90	33,43	33,39	33,09	34,18	38,56	33,14	
104	OUT	31,00				32,03	33,39	32,42	30,74	33,85	34,48	34,67	33,99	34,74	33,44	32,97	35,24	31,95	35,29	33,90	34,32	36,35	30,41	35,21	36,19	32,47	34,29	31,07	35,42	32,80	34,37	37,30	33,94	
105	NOV	29,86				31,05	33,24	30,73	29,93	34,04	31,04	30,99	29,97	35,01	30,61	30,42	30,32	30,67	32,17	32,77	33,62	29,29	30,06	34,72	31,98	33,19	30,89	29,97	30,63	33,01	32,21	36,04	31,78	
106	DEZ	28,66				27,02	32,75	30,59	28,52	30,66	31,43	30,97	31,90	31,96	32,02	30,69	31,12	30,47	31,93	33,52	31,15	29,42	30,38	32,28	29,85	32,74	29,33	34,18	30,52	31,56	34,72	31,15		
107	MÉDIA	29,957				30,851	31,5	30,41	29,916	31,593	31,256	31,801	31,908	31,343	32,297	31,43	31,213	31,609	31,901	31,794	30,714	31,09	30,606	31,903	31,501	31,436	31,967	31,163	31,798	31,756	32,179	33,181		

Figura 4: Planilha eletrônica utilizada para cálculo da Normal Climatológica da estação de Pirapora.

Para a regressão linear múltipla, foi utilizado o Excel 2007. Primeiramente foi necessário instalar um complemento do software chamado Dados, que permite fazer cálculos matemáticos e estatísticos. Para compor a estatística de cada mês, agruparam-se numa aba da planilha do Excel todas as normais climatológicas de todas as estações envolvidas na pesquisa. Esses valores representaram a variável dependente na regressão linear múltipla, destacado nas colunas da planilha do Excel de amarelo, na figura 5.

Ainda nesta mesma figura encontram-se destacadas nas colunas de vermelho, as informações das variáveis independentes de cada estação meteorológica.

tabulação Temperatura Máxima - Microsoft Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	AN	LA	LO			
2	ARAÇUAÍ	33,46	34,53	33,66	32,56	30,87	29,61	29,49	30,76	32,36	33,6	32,04	32,44	289	-16,8333	-42,0354			
3	ARINOS	32,47	32,95	32,4	32,4	31,22	30,57	30,76	32,37	34,52	34,82	32,35	31,7	519	-15,9153	-46,1067			
4	DIAMANTINA	25,74	26,14254	25,64	24,71	22,9	21,93	21,57	23,01	24,79	25,56	24,71	25,23	1296,12	-18,2389	-43,6169			
5	ESPINOSA	31,30	32,19	31,72	31,27	30,56	29,34	29,18	30,37	32,28	32,81	31,14	31,10	569,64	-14,9122	-42,8083			
6	ITAMARANDIBA	28,18	28,73	27,91	26,62	24,96	23,97	23,79	25,16	27,03	27,82	26,89	27,70	914	-17,8597	-42,8528			
7	JANAÚBA	32,34	33,03	32,54	32,19	31,31	29,89	29,82	30,97	32,99	33,89	32,15	31,63	532	-15,8028	-43,2971			
8	JANUÁRIA	31,37	32,09	31,66	31,95	31,28	30,51	30,46	31,67	33,79	34,37	31,75	30,96	473,71	-15,4481	-44,3663			
9	JOÃO PINHEIRO	29,80	30,63	30,03	29,92	28,58	27,74	27,91	29,65	31,61	31,79	30,16	29,42	760,36	-17,7848	-46,1767			
10	MONTE AZUL	31,33	32,14	31,85	31,43	30,38	29,17	29,16	30,15	32,27	32,94	31,24	30,97	603,63	-15,08	-42,75			
11	MONTE CLAROS	30,13	30,95	30,33	30,15	29,14	28,20	28,18	29,42	31,29	31,90	29,85	29,44	652	-16,6864	-43,8436			
12	PARACATU	30,47	30,95	30,34	30,19	28,67	28,02	28,30	29,97	31,94	32,40	30,56	29,88	712	-17,2442	-46,8817			
13	PEDRA AZUL	30,41	31,24	30,55	29,15	27,54	26,17	25,76	26,51	28,38	29,57	29,22	29,61	648,91	-16,01	-41,2811			
14	PIRAPORA	31,55	32,30	31,74	31,52	30,22	29,49	29,70	31,19	33,14	33,84	31,78	31,15	505,24	-17,3492	-44,9217			
15	SALINAS	31,39	32,36	31,91	30,81	29,43	28,33	28,41	29,79	31,75	32,64	30,88	31,02	471,32	-16,1548	-42,2852			
16																			
17																			

Figura 5: Planilha do Excel utilizada para o cálculo da regressão linear múltipla com as normais climatológicas da temperatura máxima das estações meteorológicas consideradas na pesquisa.

Foram construídos dois modelos de regressão linear múltiplos distintos, com as seguintes variáveis: Modelo 1 contendo as variáveis  $\cos(\theta_z)$ , altitude e longitude; Modelo 2 com as variáveis independentes altitude, latitude e longitude. Para o cálculo da regressão linear múltipla utilizando o software Excel, seguiu-se o fluxograma, da figura 6, abaixo.

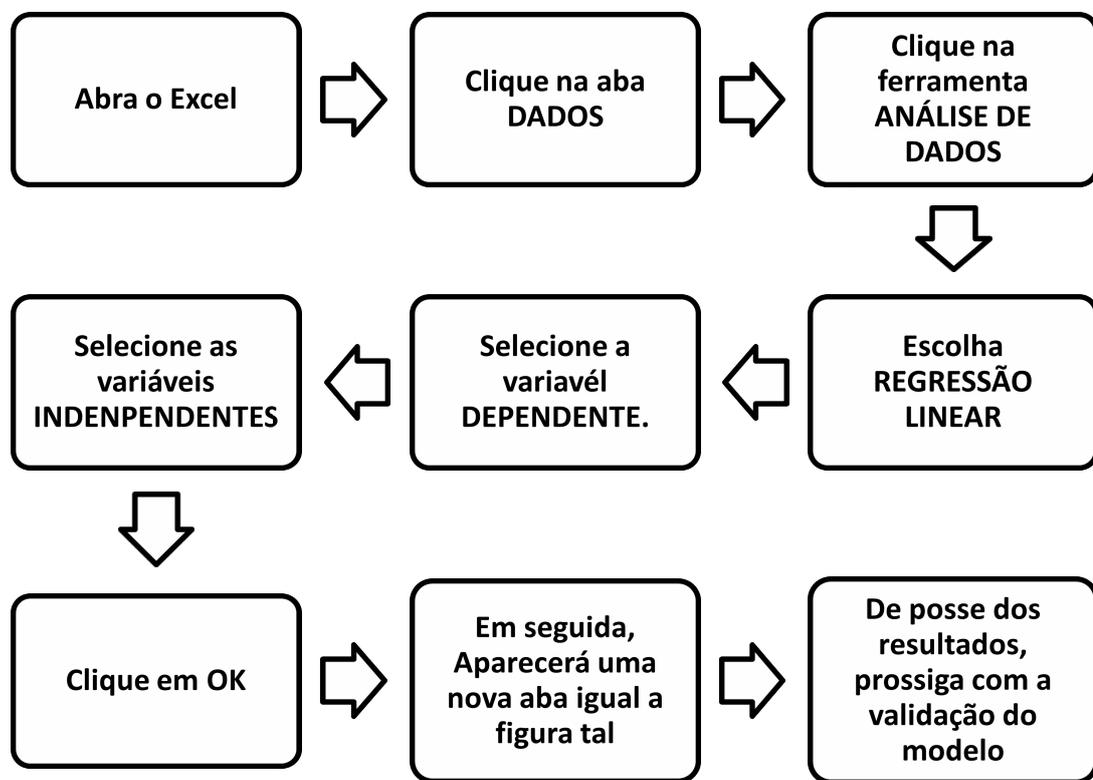


Figura 6: Fluxograma do cálculo da Regressão Linear Múltipla utilizando o Excel.

Ao clicar em *OK*, aparecerá uma nova aba no mesmo arquivo Excel com os resultados da regressão linear múltipla das variáveis selecionadas no processo.

Nessa planilha haverá os valores dos *betas* de interesse para a equação de estimação da temperatura. Além disso, apresenta os valores de significância e do  $R^2$  como mostra a figura 7. Esses valores são necessários para o cálculo da validação do modelo que utilizam as equações descritas por Fox, Willmott e Camargo.

RESUMO DOS RESULTADOS													
<i>Estadística de regressão</i>													
R múltiplo	0,976278437												
R-Quadrado	0,953119587												
R-quadrado ajustado	0,939055463												
Erro padrão	0,474562829												
Observações	14												
<i>ANOVA</i>													
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>								
Regressão	3	45,78712807	15,26237602	67,76956723	6,00889E-07								
Resíduo	10	2,252098788	0,225209879										
Total	13	48,03922685											
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>					
Interseção	33,12081152	3,663581154	9,040556255	3,97403E-06	24,95784405	41,28377899	24,95784405	41,28377899					
Variável X 1	-0,007362178	0,000691036	-10,65381978	8,86934E-07	-0,008901903	-0,005822453	-0,008901903	-0,005822453					
Variável X 2	0,175502387	0,163482273	1,073525491	0,308256908	-0,188758815	0,539763589	-0,188758815	0,539763589					
Variável X 3	-0,118563316	0,082485885	-1,437377015	0,181155397	-0,302353321	0,065226689	-0,302353321	0,065226689					

Figura 7: Resultado da análise de regressão linear múltipla da temperatura máxima do mês de janeiro utilizando como variável independente a altitude, latitude e longitude.

## Capítulo 5

### Resultados

Apresenta-se a seguir os resultados obtidos na modelagem matemática realizada, além dos resultados de validação de tais modelos para que se pudesse escolher o mais adequado deles para a elaboração do aplicativo que estime a temperatura. Apresenta também uma pseudo linguagem adotada para o desenvolvimento do aplicativo.

#### 5.1 Regressão Linear Múltipla do modelo proposto

O modelo matemático procurado é da forma:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3$$

em que os betas serão os coeficientes e o termo independente das variáveis independentes do modelo de regressão.

Foram feitas as análises de todos os meses do ano a fim de encontrar os valores dos *betas* que compõe a equação 7, de regressão linear múltipla acima. Além disso, foram calculados os valores da significância de cada mês como o  $R^2$  e as estatísticas de validação que devem ser reportadas nos estudos como mencionado pelo Fox, Willmott e Camargo.

Tais valores são essenciais para o desenvolvimento do aplicativo.

#### 5.2 Validação do modelo

Uma vez feito os cálculos no Excel das análises de regressão linear múltipla a fim de encontrar os valores dos betas, que compõe a equação , faz-se necessário validá-lo como propõe Fox, Willmott e Camargo. Todos esses cálculos foram feitos e estão apresentados nas tabelas seguintes.

As tabelas 4, 6 e 8 mostram os resultados obtidos na modelagem utilizando a declinação solar. Estão listados os valores dos betas bem como os valores do  $R^2$  da regressão linear múltipla. Além disso, nas tabelas 5, 7 e 9 estão listados os valores de validação do modelo para essa variável considerada.

Tabela 4 – Resultados dos coeficientes obtidos através da modelagem da média da temperatura máxima utilizando a declinação solar em que  $\beta_0$  é o termo independente,  $\beta_1$  o coeficiente da altitude,  $\beta_2$  o coeficiente do cosseno e  $\beta_3$  o coeficiente da longitude.

MÊS	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$R^2$
<b>Janeiro</b>	140,8314331	-0,00745	-110,894	-0,11716	0,952754701
<b>Fevereiro</b>	-117,5724238	-0,00792	151,8179	-0,05656	0,962378014
<b>Março</b>	-30,89785376	-0,00759	64,62524	-0,09035	0,962386135
<b>Abril</b>	-43,96569743	-0,00763	69,61226	-0,37892	0,964398179
<b>Mai</b>	-54,551844	-0,00754	83,63545	-0,46133	0,958658698
<b>Junho</b>	-48,1979202	-0,00759	72,08838	-0,58754	0,968067227
<b>Julho</b>	-53,42196372	-0,00806	72,12472	-0,68336	0,96992313
<b>Agosto</b>	-62,85952729	-0,00825	73,23578	-0,79194	0,966900868
<b>Setembro</b>	-124,0280325	-0,00804	131,1541	-0,84907	0,967280478
<b>Outubro</b>	-257,0199775	-0,00841	267,0735	-0,68467	0,967901488
<b>Novembro</b>	878,4278283	-0,00786	-862,684	-0,43654	0,972618804
<b>Dezembro</b>	164,9889627	-0,00695	-137,867	-0,14949	0,965298466

Tabela 5 – Estatística de validação da média da temperatura máxima utilizando a declinação solar

MÊS	MBE	RMSE	$S^2$	MAE	d	c
<b>Janeiro</b>	6,85E-15	0,402636	0,174587	0,313966	0,987755	0,96
<b>Fevereiro</b>	-3,6E-15	0,380991	0,156320	0,309702	0,990321	0,97
<b>Março</b>	2,03E-15	0,382800	0,157808	0,309171	0,990324	0,97
<b>Abril</b>	0	0,409797	0,180852	0,352203	0,990861	0,97
<b>Mai</b>	2,51E-14	0,488576	0,257069	0,423487	0,989351	0,97
<b>Junho</b>	-1,1E-14	0,429960	0,199086	0,363969	0,991827	0,98
<b>Julho</b>	1,32E-14	0,437611	0,206234	0,366143	0,99231	0,98
<b>Agosto</b>	9,64E-15	0,462826	0,230685	0,366735	0,991516	0,97
<b>Setembro</b>	-2,8E-15	0,472886	0,240822	0,357013	0,991614	0,98
<b>Outubro</b>	6,7E-14	0,454513	0,222473	0,330570	0,991777	0,98
<b>Novembro</b>	-7,4E-14	0,345754	0,128741	0,262247	0,993011	0,98
<b>Dezembro</b>	-1,2E-14	0,335641	0,121321	0,256468	0,991093	0,97

Na tabela 4, nota-se que os valores do  $R^2$  para a regressão linear múltipla foram todos acima de 0,9. Além disso, pela tabela 5, que consta a validação do modelo, observa-se um excelente resultado para a estatística de Willmott, obtendo valores tudo acima de 0,98.

Tabela 6 – Resultados da modelagem da média da temperatura média utilizando a declinação solar em que  $\beta_0$  é o termo independente,  $\beta_1$  o coeficiente da altitude,  $\beta_2$  o coeficiente do cosseno e  $\beta_3$  o coeficiente da longitude.

MÊS	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$R^2$
<b>Janeiro</b>	198,0528434	-0,00572	-178,595	-0,18797	0,942065187
<b>Fevereiro</b>	-250,4114404	-0,006	271,9524	-0,17664	0,921771713
<b>Março</b>	-55,37665819	-0,00576	79,97172	-0,14188	0,922062266
<b>Abril</b>	-55,07599395	-0,00556	77,48657	-0,29594	0,896388492
<b>Mai</b>	-61,8194	-0,00492	91,33614	-0,28992	0,879995194
<b>Junho</b>	-57,29182146	-0,00472	86,57212	-0,3363	0,855543107
<b>Julho</b>	-58,63102831	-0,00516	82,42934	-0,40955	0,859900046
<b>Agosto</b>	-68,07896439	-0,0061	82,06907	-0,53746	0,876719459
<b>Setembro</b>	-119,6671462	-0,00673	126,2936	-0,66964	0,930389992
<b>Outubro</b>	-273,0149376	-0,00686	280,3266	-0,57505	0,94252948
<b>Novembro</b>	933,738299	-0,00641	-921,456	-0,36022	0,960453515
<b>Dezembro</b>	178,3284283	-0,00563	-159,747	-0,19142	0,970294677

Tabela 7 – Estatística de validação da média da temperatura média utilizando a declinação solar

MÊS	MBE	RMSE	$S^2$	MAE	D	C
<b>Janeiro</b>	-5,08E-16	0,364881	0,143379	0,278261	0,984858	0,96
<b>Fevereiro</b>	-1,3E-14	0,453735	0,221712	0,377297	0,979224	0,94
<b>Março</b>	-1,4E-14	0,453392	0,221376	0,365396	0,979306	0,94
<b>Abril</b>	5,33E-15	0,580166	0,362485	0,471736	0,972012	0,92
<b>Mai</b>	3,3E-15	0,676002	0,492131	0,56497	0,967144	0,91
<b>Junho</b>	-2,8E-15	0,751352	0,607955	0,638866	0,959846	0,89
<b>Julho</b>	1,02E-15	0,754658	0,613316	0,634652	0,961204	0,89
<b>Agosto</b>	3,55E-15	0,74614	0,59955	0,643068	0,966208	0,90
<b>Setembro</b>	1,37E-14	0,600101	0,387822	0,531569	0,981665	0,95
<b>Outubro</b>	1,78E-15	0,52989	0,302382	0,467526	0,984999	0,96
<b>Novembro</b>	-4,3E-14	0,353439	0,134528	0,282454	0,989811	0,97
<b>Dezembro</b>	-2,6E-14	0,262191	0,074032	0,209971	0,992404	0,98

Já para a temperatura média utilizando a declinação solar, na tabela 6, os valores do  $R^2$  para os meses de abril a agosto teve um decréscimo, com valores oscilando entre 0,80 a 0,90.

No entanto, pela tabela 7, os resultados da validação do modelo continuaram significativos, com resultados acima de 0,95.

Tabela 8 – Resultados da modelagem da média da temperatura mínima utilizando a declinação solar em que  $\beta_0$  é o termo independente,  $\beta_1$  o coeficiente da altitude,  $\beta_2$  o coeficiente do cosseno e  $\beta_3$  o coeficiente da longitude.

MÊS	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$R^2$
<b>Janeiro</b>	242,5489958	-0,00427	-228,932	-0,19234	0,85885457
<b>Fevereiro</b>	-450,1248393	-0,00409	464,6038	-0,20459	0,817022599
<b>Março</b>	-87,28090236	-0,00414	106,5788	-0,15357	0,848225145
<b>Abril</b>	-63,92111503	-0,00383	86,17409	-0,18501	0,808355487
<b>Mai</b>	-61,06465956	-0,00276	90,73024	-0,13215	0,709007141
<b>Junho</b>	-55,83798204	-0,00204	89,27975	-0,0861	0,583748662
<b>Julho</b>	-59,20471956	-0,0021	89,98941	-0,10436	0,552399092
<b>Agosto</b>	-81,20318501	-0,00301	102,0882	-0,25342	0,585031949
<b>Setembro</b>	-112,781345	-0,00478	123,1743	-0,41093	0,754439981
<b>Outubro</b>	-242,1146301	-0,00547	249,9941	-0,40798	0,838802139
<b>Novembro</b>	1052,89331	-0,0053	-1041,48	-0,26146	0,914559053
<b>Dezembro</b>	211,9715073	-0,00441	-198,354	-0,18358	0,91195101

Tabela 9 – Estatística de validação da média da temperatura mínima utilizando a declinação solar

MÊS	MBE	RMSE	$S^2$	MAE	D	C
<b>Janeiro</b>	-7,61E-16	0,484246	0,074032	0,209971	0,992404	0,92
<b>Fevereiro</b>	-2,9E-14	0,596848	0,383629	0,493852	0,94707	0,86
<b>Março</b>	-1,4E-14	0,541911	0,316258	0,431721	0,957182	0,88
<b>Abril</b>	-6,7E-15	0,669175	0,482242	0,511956	0,944046	0,85
<b>Mai</b>	1,05E-14	0,88878	0,850694	0,692264	0,908824	0,77
<b>Junho</b>	-1,3E-14	1,127269	1,368485	0,935011	0,857194	0,65
<b>Julho</b>	2,16E-15	1,185248	1,512875	1,000074	0,842713	0,63
<b>Agosto</b>	-4,2E-15	1,205676	1,565473	0,996467	0,857624	0,66
<b>Setembro</b>	1,27E-15	0,954506	0,981165	0,805712	0,92549	0,80
<b>Outubro</b>	6,09E-15	0,763017	0,626979	0,65564	0,954173	0,87
<b>Novembro</b>	4,15E-14	0,464589	0,232446	0,390896	0,977182	0,93
<b>Dezembro</b>	-5,8E-15	0,397034	0,169762	0,306696	0,976433	0,93

Agora, para a modelagem da temperatura mínima utilizando a declinação, mostrado na tabela 8, percebe-se claramente uma variação nítida do  $R^2$  oscilando de 0,55 como visto no mês junho a 0,92 nos meses de novembro e dezembro. Pela tabela 9, nota-se que essa variação

influenciou nos valores de validação do modelo como proposto por Willmott, obtendo valor de 0,85 e 0,84 em junho e julho respectivamente.

As tabelas abaixo apresentam os resultados da modelagem utilizando a análise de regressão linear como proposto na literatura, com as variáveis independentes: altitude, latitude e longitude.

Tabela 10 – Modelagem da média da temperatura máxima utilizando as variáveis preconizadas pela OMM em que  $\beta_0$  é o termo independente,  $\beta_1$  o coeficiente da altitude,  $\beta_2$  o coeficiente da latitude e  $\beta_3$  o coeficiente da longitude.

MÊS	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$R^2$
<b>Janeiro</b>	33,12081	-0,00736	0,175502	-0,11856	0,95312
<b>Fevereiro</b>	36,16353	-0,00797	0,132452	-0,05856	0,964997
<b>Março</b>	36,29254	-0,00761	0,275363	-0,09131	0,962733
<b>Abril</b>	27,37512	-0,00766	0,529745	-0,37944	0,96484
<b>Mai</b>	27,55116	-0,00758	0,839543	-0,46205	0,958966
<b>Junho</b>	20,46214	-0,00762	0,801587	-0,58718	0,968389
<b>Julho</b>	16,10236	-0,00809	0,776106	-0,68317	0,970159
<b>Agosto</b>	10,79773	-0,00828	0,655918	-0,79185	0,967276
<b>Setembro</b>	12,03545	-0,0081	0,776355	-0,85074	0,968021
<b>Outubro</b>	18,16478	-0,00853	0,651004	-0,68572	0,964997
<b>Novembro</b>	24,03444	-0,00741	0,478235	-0,43243	0,96856
<b>Dezembro</b>	32,65633	-0,00689	0,28225	0,149999	0,96269

Tabela 11 – Estatística de validação da média da temperatura máxima utilizando a latitude

MÊS	MBE	RMSE	$S^2$	MAE	d	c
<b>Janeiro</b>	-7,61E-16	0,401079	0,173238	0,31203	0,987853	0,96
<b>Fevereiro</b>	3,55E-15	0,379407	0,155023	0,301669	0,990404	0,97
<b>Março</b>	2,28E-15	0,381029	0,156351	0,307813	0,990415	0,97
<b>Abril</b>	1,52E-15	0,407244	0,178606	0,349514	0,990977	0,97
<b>Mai</b>	2,03E-15	0,486756	0,255157	0,421053	0,989432	0,97
<b>Junho</b>	4,57E-15	0,427789	0,19708	0,361531	0,991911	0,98
<b>Julho</b>	4,82E-15	0,43589	0,204616	0,364169	0,992372	0,98
<b>Agosto</b>	6,09E-15	0,460193	0,228068	0,364808	0,991614	0,98
<b>Setembro</b>	-4,80E-15	0,467502	0,23537	0,352993	0,991809	0,98
<b>Outubro</b>	2,54E-15	0,44367	0,211985	0,331386	0,992174	0,98
<b>Novembro</b>	7,61E-16	0,370498	0,147828	0,302476	0,99195	0,98
<b>Dezembro</b>	3,81E-15	0,337098	0,122376	0,261187	0,991013	0,97

Pela tabela 10, nota-se uma boa significância para o  $R^2$ , com valores próximos de 1 e uma ótima validação do modelo, o que mostra a tabela 11.

Tabela 12 – Modelagem da média da temperatura média utilizando as variáveis preconizadas pela OMM em que  $\beta_0$  é o termo independente,  $\beta_1$  o coeficiente da altitude,  $\beta_2$  o coeficiente da latitude e  $\beta_3$  o coeficiente da longitude.

MÊS	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$R^2$
<b>Janeiro</b>	24,49115	-0,00561	0,27112	-0,18843	0,941806
<b>Fevereiro</b>	25,12824	-0,00605	0,255992	-0,18314	0,925353
<b>Março</b>	27,78372	-0,00579	0,342527	-0,14334	0,923124
<b>Abril</b>	24,35131	-0,00559	0,591726	-0,29684	0,897635
<b>Mai</b>	27,85325	-0,00496	0,918085	-0,2909	0,880911
<b>Junho</b>	25,17049	-0,00476	0,963545	-0,33601	0,856499
<b>Julho</b>	20,83528	-0,00519	0,88809	-0,40951	0,860672
<b>Agosto</b>	14,47156	-0,00612	0,736162	-0,53753	0,877617
<b>Setembro</b>	11,37112	-0,00679	0,749712	-0,67158	0,931668
<b>Outubro</b>	15,85695	-0,00697	0,68721	-0,57676	0,945384
<b>Novembro</b>	21,09055	-0,00595	0,504893	-0,35491	0,952906
<b>Dezembro</b>	25,00216	-0,00555	0,328108	-0,19217	0,969907

Tabela 13 – Estatística de validação da média da temperatura média utilizando a latitude

MÊS	MBE	RMSE	$S^2$	MAE	d	c
<b>Janeiro</b>	-2E-15	0,365695	0,14402	0,285197	0,984788	0,96
<b>Fevereiro</b>	-3,8E-15	0,443226	0,211561	0,362181	0,980232	0,94
<b>Março</b>	2,28E-15	0,450292	0,21836	0,359766	0,979605	0,94
<b>Abril</b>	1,19E-14	0,576667	0,358125	0,466158	0,972377	0,92
<b>Mai</b>	2,03E-15	0,673417	0,488375	0,56076	0,967419	0,91
<b>Junho</b>	1,27E-14	0,748861	0,603931	0,634702	0,960142	0,89
<b>Julho</b>	4,57E-15	0,752576	0,609938	0,631141	0,961439	0,89
<b>Agosto</b>	1,02E-15	0,743418	0,595184	0,638882	0,966479	0,91
<b>Setembro</b>	6,85E-15	0,594566	0,380702	0,526613	0,982019	0,95
<b>Outubro</b>	1,78E-15	0,516562	0,287362	0,457066	0,985775	0,96
<b>Novembro</b>	3,55E-15	0,385694	0,160203	0,323643	0,987795	0,96
<b>Dezembro</b>	-3,8E-15	0,263896	0,074998	0,212533	0,992303	0,98

Para a modelagem da temperatura média, o fato se repete para a segunda modelagem proposta, obtendo  $R^2$  variando entre 0,8 a 0,9 para os meses de abril a agosto como mostra a tabela 12. Já para a validação do modelo, houve uma leve melhoria quando se comparado com a declinação solar, já que seus valores ficaram acima de 0,96 como mostra a tabela 13.

Tabela 14 – Modelagem da média da temperatura mínima utilizando as variáveis preconizadas pela OMM em que  $\beta_0$  é o termo independente,  $\beta_1$  o coeficiente da altitude,  $\beta_2$  o coeficiente da latitude e  $\beta_3$  o coeficiente da longitude.

MÊS	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$R^2$
Janeiro	19,96174	-0,00417	0,334244	-0,19087	0,854983
Fevereiro	20,61997	-0,00417	0,438876	-0,21593	0,831569
Março	23,5609	-0,00417	0,458154	-0,15578	0,85127
Abril	24,42489	-0,00385	0,659751	-0,18627	0,811069
Mai	28,01915	-0,0028	0,912741	-0,13325	0,710577
Junho	29,21339	-0,00207	0,994914	-0,08598	0,585534
Julho	27,5564	-0,00213	0,970345	-0,10444	0,55389
Agosto	21,50353	-0,00304	0,91816	-0,25389	0,587587
Setembro	15,06811	-0,00481	0,737096	-0,41374	0,757541
Outubro	15,61938	-0,00553	0,627606	-0,4118	0,844924
Novembro	21,15067	-0,00485	0,543745	-0,25128	0,895358
Dezembro	21,53599	-0,00433	0,400618	-0,18346	0,909336

Tabela 15 – Estatística de validação da média da temperatura mínima utilizando a latitude

MÊS	MBE	RMSE	$S^2$	MAE	d	c
Janeiro	2,28E-15	0,490842	0,259459	0,404438	0,959322	0,89
Fevereiro	0	0,572632	0,353131	0,468512	0,951879	0,87
Março	-5,8E-15	0,536449	0,309914	0,425385	0,958149	0,88
Abril	-2,8E-15	0,664421	0,475413	0,506237	0,94497	0,85
Mai	5,71E-15	0,886379	0,846104	0,689243	0,909445	0,77
Junho	1,27E-16	1,12485	1,362617	0,930824	0,85806	0,66
Julho	-8,9E-16	1,183273	1,507837	0,997375	0,843465	0,63
Agosto	-1E-15	1,201958	1,555834	0,991812	0,858876	0,66
Setembro	2,03E-15	0,94846	0,968776	0,799401	0,926627	0,81
Outubro	3,05E-15	0,748389	0,60317	0,643159	0,956142	0,88
Novembro	-2,7E-15	0,51415	0,284685	0,428264	0,971612	0,92
Dezembro	1,27E-15	0,402887	0,174804	0,311521	0,975682	0,93

Para a temperatura mínima, nota-se pelas tabelas 14 e 15 que os resultados obtidos são praticamente equivalentes ao da primeira modelagem. Vale ressaltar que houve uma variação significativa para os meses de junho a agosto, tanto no  $R^2$  quanto para a validação. De acordo com as análises estatísticas feitas, podemos perceber que os resultados foram bem parecidos tanto utilizando a declinação solar combinado com a latitude (primeira modelagem) bem como a análise feita utilizando somente a latitude (segunda modelagem).

Por apresentar resultados parecidos, utilizou-se a segunda abordagem da regressão linear múltipla para a implementação do aplicativo por dois motivos; uma é que a literatura e a OMM recomenda a utilização das variáveis mencionadas nesta análise e o outro motivo é que, utilizando a declinação solar, para se chegar ao cálculo do cosseno deveríamos utilizar uma programação a parte para realizar tal cálculo.

Atrela-se a isso, a dificuldade de obtenção da declinação solar de uma região quando comparado com a disponibilização de dados de altitude, latitude e longitude que podem ser obtidos até com o acesso ao Google Maps.

### **5.3 Desenvolvimento do Aplicativo**

De posse desses resultados, desenvolveu-se a programação do aplicativo. Para tal, utilizou-se a plataforma de desenvolvimento Unity 2D. A linguagem utilizada foi C#.

A interface do aplicativo requer que o usuário primeiramente selecione o mês ao qual deseja calcular a temperatura, e após isso, digitar os dados da altitude, latitude e longitude. Ao clicar em OK, aparecerá outra tela na qual estarão os resultados estimados da temperatura máxima, temperatura média e temperatura mínima da região e do mês desejado. Na figura 8 temos a interface do aplicativo.

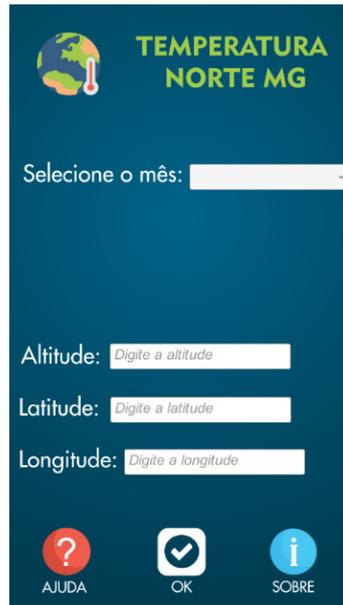


Figura 8: Interface do aplicativo

Ainda, na programação do aplicativo, para a interface foi disponibilizado um link que dá acesso ao site YouTube para um vídeo explicativo em que demonstra a finalidade e como utilizá-lo. Há também um ícone que ao clicar, mostra como citar o trabalho em pesquisas e publicações, veja na Figura 9.



Figura 9: Interface de ajuda e citação do trabalho

A pseudo-linguagem de desenvolvimento do aplicativo descrita tem a seguinte característica:

*Selecione o mês desejado {Aqui estarão listados os meses do ano}*

*Entre com os dados  $(x_1, x_2, x_3)$  {altitude, latitude e longitude da região desejada}*

*Para Máxima faça: {os valores de  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  são da análise de regressão múltipla}*

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3$$

*Para Média faça: {os valores de  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  são da análise de regressão múltipla}*

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3$$

*Para Mínima faça: {os valores de  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  são da análise de regressão múltipla}*

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3$$

*Retorna (Máxima, Média, Mínima)*

Na figura 10, foi realizado uma simulação em uma localização do Norte de Minas, a fim de obter as estimativas de temperatura máxima, média e mínima local. Para isso, primeiramente foi necessário entrar com os valores solicitados pelo aplicativo. Após a inserção, clica-se em OK como foi descrito.



Figura 10: Simulação da estimativa de temperatura em uma localização no Norte de Minas Gerais.

Uma vez clicado em OK, abrirá uma nova janela contendo as informações que foram inseridas e logo abaixo os resultados das temperaturas máxima, média e mínima da localização desejada. Veja na figura 11.



Figura 11: Interface de resultado da estimacão da temperatura local no Norte de Minas.

Este aplicativo pode ser baixado na *Play Store* em dispositivos e aparelhos que apresenta o sistema operacional *Android* gratuitamente. Uma vez baixado, não  necessário fazer nenhum cadastro, apenas inicializá-lo e dar início aos cculos de temperatura desejados.

## 6 Conclusão

O primeiro passo foi rodar a estatística de regressão linear múltipla a fim de encontrar bons resultados que possibilitariam a criação do aplicativo. Baseado em diversos estudos já realizados nos estados do Brasil, podemos perceber que as análises feitas apresentaram resultados bastante satisfatórios. O índice  $d$  de Willmott (Willmott, 1982) foi praticamente maior de 0,95 em todos os meses, com exceção da modelagem da temperatura mínima nos meses de inverno, no qual obtivemos resultados em todos de 0,85 para o índice analisado. Acredita-se que tal disparidade de resultado se dá em função de dados da região de Diamantina que apresentam uma acentuada elevação e conseqüentemente, em períodos de inverno, as temperaturas se diferem nitidamente de outras regiões do norte de Minas, mesmo assim, os valores obtidos para o índice  $d$  continuam sendo favorável.

A mesma interpretação pode inferir para os meses de inverno da temperatura mínima no cálculo do índice de desempenho  $c$ , proposto por Camargo (Camargo, 1997). Apesar de sofrerem essa flutuação de valores para as temperaturas mínimas, os resultados estatísticos foram satisfatórios.

Uma vez finalizado o aplicativo, pode-se perceber que tal ferramenta facilitou bastante no manuseio e na condução de chegar aos resultados de inferência de temperatura de uma determinada região do norte de Minas, uma vez que isso só era possível com um dia de trabalho exaustivo, com horas de trabalho na tabulação dos dados, inferência e montagem da equação a fim de chegar a um resultado de temperatura a se calcular.

Esta ferramenta possibilitou uma otimização de tempo por parte dos interessados em tais dados de temperatura, de forma que pudessem intervir e tomar decisões mais rapidamente em projetos, como por exemplo, manejo animal, plantações entre outros.

Levando em consideração a crescente automatização dos serviços, mecanização e o avanço tecnológico, este aplicativo demonstra que é totalmente útil para a área além de inovador em dois aspectos: uma é a modelagem matemática somente na região do norte de Minas e outra é a criação do aplicativo, algo inovador para a área e de grande valia para alguns pesquisadores da área, que necessitam constantemente dos dados de temperatura da região para a condução de pesquisas que estão sendo desenvolvidas na área.

Contudo, afirmo que a pesquisa obteve bons resultados e os mesmos foram satisfatórios para o que se pretendia.

Futuramente, pretende-se analisar o efeito do uso do aplicativo no campo como também a utilização do mesmo em pesquisas que estão em desenvolvimento na região. Além disso, nessa mesma perspectiva, é possível fazer uma complementação desse estudo com as outras variáveis climatológicas, como umidade do ar, e posterior atualização do aplicativo.

## Referências Bibliográficas

ALMEIDA, H.A.; SÁ, D.F. **Estimativa das temperaturas médias, máximas e mínimas mensais e anuais do Sudoeste da Bahia**. Revista Theobroma, v.14, p.135-142, 1984.

ANTONINI, JC Dos A. et al. Modelo matemático para estimativa da temperatura média diária do ar no Estado de Goiás. **Área de Informação da Sede-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2009.

Área territorial brasileira. IBGE, 04 de jan. de 2018. Disponível em: <[https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default\\_territ\\_area.shtm](https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm)>. Acesso em: 04 set. 2018.

BARCELOS, Gilmara Teixeira; BATISTA, Silvia Cristina Freitas. Uso de aplicativos em tablets no estudo de sistemas lineares: percepção de licenciandos em Matemática. In: Revista Nuevas Ideas em Informática Educativa-Memórias del XVIII Congreso Internacional de Infomática Educativa, TISE. 2013. p. 168-175.

BENAVIDES, R.; MONTES, F.; RUBIO, A.; OSORO, K. Geostatistical modelling of air temperature in a mountainous region of Northern Spain. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.146, p.173-188, 2007.

CAMARGO, A.P. de; GHIZZI, S.M. **Estimativa de temperaturas médias mensais com base em cartas de temperatura potencial normal ao nível do mar para a região Sudeste do Brasil**. Campinas: IAC, 1991. 17p. (IAC. Boletim Técnico, 141).

CAMARGO, AP de; SENTELHAS, Paulo C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CARGNELUTTI FILHO, A.; MALUF, J.R.T.; MATZENAUER, R.; STOLZ, A.P. **Altitude e coordenadas geográficas na estimativa da temperatura mínima media decendial do ar no Estado do Rio Grande do Sul**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.41, p.893-901, 2006.

COELHO, D.T.; SEDIYAMA, G.C.; VIEIRA, M. **Estimativa das temperaturas medias mensais e anual no Estado de Minas Gerais**. Revista Ceres, v.20, p.455-459, 1973.

Dados históricos do INMET, 15 jan. 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em 15 jan. 2018.

DE ANDRADE, Carlos Mauricio Soares et al. Transmissão de luz em sistemas silvipastoris com eucalipto. **Embrapa Acre-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2002.

DUFFIE, John A.; BECKMAN, William A. **Solar engineering of thermal processes**. John Wiley & Sons, 2013.

FEITOZA, L.R.; SCARDUA, J.A.; SEDIYAMA, G.C.; OLIVEIRA, L.M.; VALLE, S.S. **Estimativa das temperaturas medias mensais e anual do Estado do Espirito Santo**. Revista Centro de Ciências Rurais, v.9, p.279-291, 1979.

FOX, D. G., 1981. Judging air quality model performance: A summary of the MAS Workshop on Dispersion Model Performance. *Bull Am. Meteorol. Soc.*, 62, 599 – 609.

GALVANI, E.; KLOSOWSKI, E.S.; ESCOBEDO, J.F.; CUNHA, A.R. da. **Modelo de estimativa de temperatura minima do ar para a região de Maringá - PR**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.8, p.105-110, 2000.

GIACOMONI, Márcio Hofheinz. Estimativa da evapotranspiração regional por meio de técnicas de sensoriamento remoto integradas a modelos de balanço de energia: aplicação no estado do Rio Grande do Sul. 2005.

GONÇALVES, Diogo Aristóteles Rodrigues et al. Utilização de aplicativos móveis no ensino da Topografia. **Revista Evidência**, v. 12, n. 12, 2016.

Instituto Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas do Brasil, 21 jun. 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>. Acesso em: 22 jun. 2018.

LUIZ, A.J.B.; SILVA, F.A.M. da. **Temperaturas decendiais maxima, minima e media, como funcao da latitude e altitude, em Goias**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 1995, Campina Grande. Anais. Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1995. p.234-236.

MARTIN, T.N.; DOURADO NETO, D.; STORCK, L.; BURAUUEL, P.; SANTOS, E.A. Regiões homogêneas e tamanho de amostra para atributos do clima no Estado de São Paulo, Brasil. **Ciência Rural**, v.38, p.690-697, 2008.

MEDEIROS, L. F. D.; VIEIRA, D. H. **Bioclimatologia Animal**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Zootecnia. Departamento de Reprodução e Avaliação Animal. 1997. 126 p.

MOLION, LUIZ CARLOS BALDICERO. Climatologia Dinâmica da região Amazônica: mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, n. 1, p. 107-117, 1987.

NETER, J. et al. Applied linear statistical models: regression, analysis of variance, and experimental designs. 3rd ed.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo, SP: Agronômica Ceres 1981. 440 p.  
PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PINTO, H.S.; ALFONSI, R.R. **Estimativa das temperaturas médias, máximas e mínimas mensais no Estado do Paraná, em função da altitude e latitude**. Caderno de Ciências da Terra, v.52, p.1-28, 1974.

REBOITA, Michelle Simões; KRUCHE, Nisia. Normais Climatológicas Provisórias de 1991 a 2010 para Rio Grande, RS. **Rev. bras. meteorol.**, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 165-179, mar. 2018. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-77862018000100165&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862018000100165&lng=pt&nrm=iso)>. Acessos em 22 jun. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786331010>.

RENCHER, A. C. Linear Models in Statistics. Department of Statistics. Brigham Young University, Provo, Utah. A Wiley –Interscience Publication, 2000.

SEDIYAMA, G.C.; MELO JÚNIOR, J.C.F. **Modelos para estimativa das temperaturas normais mensais médias, máximas, mínimas e anual no Estado de Minas Gerais**. Engenharia na Agricultura, v.6, p.57-61, 1998.

SILVA, MARIO ADELMO VAREJÃO. Meteorologia e climatologia. 2006.

SOARES, F. et al. Desenvolvimento de um aplicativo android para estimativa da DEP a partir de parâmetros do exame radiográfico, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://www.sbpr.org.br/irpa13/AnaisdoIRPA2013/Radioprotecciondelpacientetrabajadoresmiembrosdelpublicoymedioambiente/3025.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2018.

TRIOLA, M. F.; Tradução: Vera Regina Lima de Farias e Flores, revisão técnica Ana Maria Lima de Farias. 10 ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2008

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 1991. 449 p.

WALPOLE, R. et al; tradução Luciane F. Pauleti Vianna. Probabilidade e estatística para engenharia e ciências. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009

WILLMOTT, C.J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.63, p.1309-1313, 1982.

WMO n° 100, 1983. **Guide to Climatological Practices**. Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva,1983.

WMO n° 49, 1988. **Technical Regulations: General Meteorological Standards and Recommended Practices**. Vol. 1, Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, 1988.