

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

SIMONE DE PAIVA CAETANO BUCKER MORAES

**ZONEAMENTO CLIMÁTICO PARA OS CAFEEIROS CONILON E ARÁBICA,
E DA FAVORABILIDADE PARA A OCORRÊNCIA DA FERRUGEM NO
ESPÍRITO SANTO**

ALEGRE – ES

2023

SIMONE DE PAIVA CAETANO BUCKER MORAES

**ZONEAMENTO CLIMÁTICO PARA OS CAFEIROS CONILON E ARÁBICA,
E DA FAVORABILIDADE PARA A OCORRÊNCIA DA FERRUGEM NO
ESPÍRITO SANTO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia, na área de concentração de Produção de Plantas Cultivadas e Nativas.

Orientador: Prof. Dr. José Francisco Teixeira do Amaral

ALEGRE – ES

2023

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

M827z Moraes, Simone de Paiva Caetano Bucker, 1984-
Zoneamento climático para os cafeeiros conilon e arábica,
e da favorabilidade para a ocorrência da ferrugem no Espírito
Santo / Simone de Paiva Caetano Bucker Moraes. - 2023.
65 f. : il.

Orientador: José Francisco Teixeira do Amaral Amaral.

Coorientador: Alexandre Rosa dos Santos Santos.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do
Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Ambiente. 2. Coffea arabica. 3. Coffea canephora. 4.
Hemileia vastatrix. 5. SIG. I. Amaral, José Francisco Teixeira
do Amaral. II. Santos, Alexandre Rosa dos Santos. III.
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências
Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 63

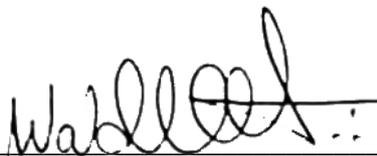
SIMONE DE PAIVA CAETANO BUCKER MORAES

**ZONEAMENTO CLIMÁTICO PARA OS CAFEIROS CONILON E ARÁBICA,
E DA FAVORABILIDADE PARA A OCORRÊNCIA DA FERRUGEM NO
ESPÍRITO SANTO**

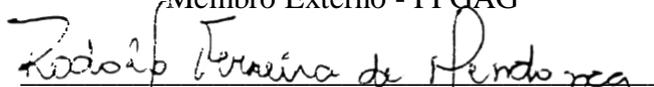
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia, na área de concentração de Produção de Plantas Cultivadas e Nativas.

Aprovada em 31 de março de 2023

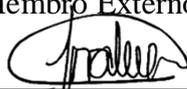
Comissão Examinadora:



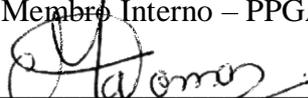
Prof. Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar
Membro Externo - PPGAG



Dr. Rodolfo Ferreira de Mendonca
Prefeitura Municipal de Itapemirim-ES
Membro Externo - PPGAG



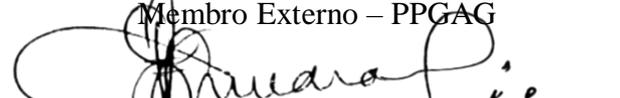
Prof. Dr. Fábio Ramos Alves
Universidade Federal do Espírito Santo – UFES
Membro Interno – PPGAG



Prof. Dr. Marcelo Antonio Tomaz
Universidade Federal do Espírito Santo – UFES
Membro Interno – PPGAG



Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos
Universidade Federal do Espírito Santo – UFES
Membro Externo – PPGAG



Prof. Dr. José Francisco Teixeira do Amaral
Universidade Federal do Espírito Santo – UFES
Orientador

Dedico

Dedico esta Tese a Deus, ao meu marido Willian Bucker Moraes, à minha filha Melina de Paiva Caetano Bucker Moraes (*In Memoriam*), à minha mãe Francisca Rodrigues de Paiva Caetano, e à minha sogra Nelina Bucker Moraes (*In Memoriam*).

"Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e os seus planos serão bem-sucedidos."

(Provérbios 16:3)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar sempre os meus caminhos e me colocar diante de pessoas abençoadas.

A Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE-UFES) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, que possibilitaram a realização do doutorado.

Ao grande amor da minha vida, que sempre me incentivou e apoiou para que cada sonho se tornasse realidade, meu amado marido Willian Bucker Moraes, por toda compreensão, paciência, carinho e amor. E por estar sempre presente em todos os momentos de minha vida.

À minha filha Melina de Paiva Caetano Bucker Moraes (*In Memoriam*), o maior presente de nossas vidas. Lhe amarei eternamente!

Aos meus pais Francisca Rodrigues de Paiva e Adão Pires Caetano, e à minha irmã Anna Luiza de Paiva Caetano, por todo amor, carinho, apoio, dedicação e incentivo em todas as etapas da minha vida.

Aos meus sogros Antonio José Moraes e Nelina Bucker Moraes (*In Memoriam*), e aos meus cunhados, pelos anos de convivência e por todo incentivo que me deram.

Ao meu orientador Prof. Dr. José Francisco Teixeira do Amaral pelo auxílio, pelos conhecimentos adquiridos, ajuda, conselhos, amizade, confiança e troca de excelentes informações.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos, por toda amizade e conhecimento transferido.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior, Dr. Rodolfo Ferreira de Mendonça, Prof. Dr. Fábio Ramos Alves e Prof. Dr. Marcelo Antonio Tomaz, pelas sugestões e contribuições.

Aos doutores Aymbiré Francisco Almeida da Fonseca, Maria Amélia Gava Ferrão e Lucas Louzada Pereira que estaríamos trabalhando em outro projeto de tese e por conta da pandemia COVID-19 não foi possível execução.

Ao Geotechnology Applied to Global Environment (GAGEN) por permitir a realização das análises e aos seus integrantes pela ajuda e convívio.

A todos os professores da Pós-Graduação em Agronomia que me proporcionaram conhecimentos no decorrer desse doutorado, e aos técnicos administrativos por todo apoio.

A todos os amigos por serem fontes inesgotáveis de apoio, incentivo e diversão.

A todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho, o meu sincero agradecimento. Obrigada a todos vocês!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivos específicos	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 CAFEICULTURA	14
3.1.1 Importância social e econômica da cafeicultura	14
3.1.2 Condições climáticas necessárias para o desenvolvimento do cafeeiro ..	15
3.1.3 Aspectos fitossanitários da cultura	16
3.2 FERRUGEM DO CAFEIEIRO	17
3.2.1 Efeito do ambiente na ocorrência da ferrugem do cafeeiro	18
3.2.1.1 Temperatura	19
3.2.1.2 Precipitação e umidade relativa do ar	21
3.2.1.3 Radiação	21
3.2.1.4 Vento e face de exposição ao sol	22
3.3 ZONEAMENTO E FAVORABILIDADE CLIMÁTICA	23
4. MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1 Área de estudo	27
4.2 Estruturação de Banco de dados climáticos	28
4.3 Zoneamento climático para os cafeeiros conilon (<i>Coffea canephora</i> Pierre ex Froehner) e arábica (<i>Coffea arabica</i> L.) no estado do Espírito Santo	30
4.4 Zoneamento da favorabilidade climática para ocorrência da ferrugem do cafeeiro (<i>Hemileia vastatrix</i>) no estado do Espírito Santo	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 Estruturação de Banco de dados climáticos	34
5.2 Zoneamento climático para os cafeeiros conilon (<i>Coffea canephora</i> Pierre ex Froehner) e arábica (<i>Coffea arabica</i> L.) no estado do ESPÍRITO SANTO	36
5.3 Zoneamento da favorabilidade climática para ocorrência da ferrugem do cafeeiro (<i>Hemileia vastatrix</i>) no estado do Espírito Santo	48
6. CONCLUSÕES	56
7. REFERÊNCIAS	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estado do Espírito Santo, Brasil	27
Figura 2- Resumo das etapas metodológicas da aquisição do banco de dados no TERRACLIMATE e cálculo das médias das variáveis climáticas no período de 30 anos (1992 a 2021)	30
Figura 3- Variáveis climáticas para o estado do Espírito Santo, Brasil. a) Temperatura média anual (°C); b) Deficiência hídrica anual (mm); c) Precipitação hídrica anual (mm) e d) Umidade relativa do ar média anual (mm)	35
Figura 4- Faixas de aptidão para a cultura do cafeeiro conilon (<i>Coffea canephora</i> Pierre ex Froehner) para o estado do Espírito Santo, Brasil. a) Temperatura média anual (°C); b) Deficiência hídrica anual (mm)	37
Figura 5- Faixas de aptidão para a cultura do cafeeiro arábica (<i>Coffea arabica</i> L) para o estado do Espírito Santo, Brasil. a) Temperatura média anual (°C); b) Deficiência hídrica anual (mm)	38
Figura 6- Zoneamento climático para o cafeeiro conilon (<i>Coffea canephora</i> Pierre ex Froehner) no estado do Espírito Santo	42
Figura 7- Zoneamento climático para o cafeeiro arábica (<i>Coffea arabica</i> L) no estado do Espírito Santo	46
Figura 8- Faixas de aptidão das variáveis climáticas para a elaboração do zoneamento de favorabilidade climática para ocorrência da ferrugem do cafeeiro (<i>Hemileia vastatrix</i>) no estado do Espírito Santo. a) Temperatura média anual (°C); b) umidade relativa do ar média anual (mm)	48
Figura 9- Zoneamento de favorabilidade climática para ocorrência da ferrugem do cafeeiro (<i>Hemileia vastatrix</i>) no estado do Espírito Santo	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Faixas de aptidão térmica para as culturas dos cafeeiros conilon (<i>Coffea canephora</i> Pierre ex Froehner) e arábica (<i>Coffea arabica</i> L.)	31
Tabela 2. Faixas de aptidão hídrica para a cultura do cafeeiro conilon (<i>Coffea canephora</i> Pierre ex Froehner) e arábica (<i>Coffea arabica</i> L.)	31
Tabela 3. Classes de aptidão climática para o desenvolvimento da ferrugem (<i>Hemileia vastatrix</i>) no cafeeiro	32
Tabela 4. Percentual das classes de aptidão para o cafeeiro conilon referente aos 78 municípios do estado do Espírito Santo baseado na temperatura atual	40
Tabela 5. Percentual das classes de aptidão para o cafeeiro arábica referente aos 78 municípios do estado do Espírito Santo baseado na temperatura atual.	43
Tabela 6. Percentual das classes de aptidão da favorabilidade para a ocorrência da ferrugem (<i>Hemileia vastatrix</i>), referente aos 78 municípios do estado do Espírito Santo	49

RESUMO

O Brasil é responsável pela maior produção e exportação de café (*Coffea* spp.) do mundo. O Espírito Santo (ES) é o segundo maior produtor brasileiro de café, sendo o maior produtor de *C. canephora* e o terceiro maior produtor de *C. arabica*. A incidência de doenças no cafeeiro representa uma das barreiras mais limitantes para a manutenção e aumento da produção e da produtividade no cenário agrícola, com destaque para a ferrugem (*Hemileia vastatrix*). O conhecimento das áreas de aptidão climática para o plantio de cafeeiro e da favorabilidade climática para a ocorrência da ferrugem no estado do Espírito Santo, são condições indispensáveis, para auxiliar no manejo sustentável desta doença no estado. Desta forma, objetivou-se com este trabalho determinar as áreas de aptidão climática para o plantio de *C. arabica* e *C. canephora* e da favorabilidade climática para a ocorrência da ferrugem no estado do Espírito Santo. As áreas aptas para o plantio de *C. arabica* e *C. canephora* corresponderam, respectivamente, 21,17 e 66,50%. As áreas aptas com algum tipo de restrição somaram 8,03% para o *C. canephora* e 15,74% para *C. arabica*. Enquanto, as áreas inaptas somadas as impróprias para o *C. canephora* e *C. arabica* corresponderam, respectivamente, a 25,47 e 63,09 %. O estado do ES possui 92,22% do seu território com favorabilidade climática para ocorrência da ferrugem (*H. vastatrix*). Com base, no zoneamento climático e da favorabilidade climática para ocorrência da ferrugem é possível planejar o plantio de cafeeiro, além do plantio de materiais suscetíveis nas regiões inaptas ou desfavoráveis à ocorrência da ferrugem e os resistentes nas áreas favoráveis à ocorrência, auxiliando no monitoramento e na tomada de decisão para o uso de fungicidas. Desta forma, tornando-se uma importante ferramenta para o estabelecimento das áreas de cultivo de *C. canephora* e *C. arabica*, e para o manejo sustentável da doença.

Palavras-chave: Ambiente, *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, *Hemileia vastatrix*, SIG

ABSTRACT

34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64

Brazil is responsible for the largest production and export of coffee (*Coffea* spp.) in the world. Espírito Santo (ES) is the second largest coffee producer in Brazil, being the largest producer of *C. canephora* and the third largest producer of *C. arabica*. The incidence of diseases in coffee plants represents one of the most limiting barriers to maintaining and increasing production and productivity in the agricultural scenario, with emphasis on coffee leaf rust (*Hemileia Vastatrix*). Knowledge of areas with climatic suitability for planting coffee tree and the favorable climate for the occurrence of coffee leaf rust in the state of Espírito Santo, are sine qua non conditions to assist in the sustainable management of coffee leaf rust in the state. Thus, the objective of this work was to determine the areas of climatic suitability for the planting of *C. arabica* and *C. canephora* and the climatic favorableness for the occurrence of coffee leaf rust in the state of Espírito Santo. The areas suitable for planting *C. arabica* and *C. canephora* corresponded, respectively, to 66.50 and 21.17%. The suitable areas with some type of restriction added up to 8.03% for *C. canephora* and 15.74% for *C. arabica*. Meanwhile, unsuitable and inappropriate areas for *C. canephora* and *C. arabica* corresponded, respectively, to 25.47 and 63.09%. The state of ES has 92.22% of its territory with climate favorable for the occurrence of coffee leaf rust (*H. Vastatrix*). Based on climate zoning and climate favorable conditions for the occurrence of coffee leaf rust, it is possible to plan the planting of coffee tree in their respective areas of suitability, in addition to planting more susceptible materials in regions unsuitable for the occurrence of coffee leaf rust and the more resistant in areas favorable to occurrence, helping in monitoring and decision-making for the use of fungicides. In this way, it becomes an important tool for establishing areas for cultivation of *C. canephora* and *C. arabica*, for the sustainable management of the disease.

Keywords: Environment, *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, *Hemileia vastatrix*, GIS

65 1. INTRODUÇÃO GERAL

66 O Brasil é responsável pela maior produção e exportação de café (*Coffea* spp.) do
67 mundo, contribuindo com 36% da produção mundial, sendo a produção mundial de café
68 com 172,8 milhões de sacas de 60 quilos e a produção no Brasil de 62,6 milhões de sacas
69 de 60 quilos na safra 2022/23 (USDA, 2022). Na safra de 2022 foram colhidas 50,92
70 milhões de sacas beneficiadas (CONAB, 2023). Os estados de Minas Gerais, Espírito
71 Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia e Paraná são os principais estados produtores,
72 correspondendo respectivamente a 43,13%, 32,84%, 8,62%, 7,08%, 5,50% e 0,98% da
73 produção nacional de café arábica (*Coffea arabica* L.) e café conilon (*Coffea canephora*
74 Pierre ex Froehner) (CONAB, 2023).

75 O Espírito Santo é o segundo maior produtor brasileiro de café, sendo o maior
76 produtor de *C. canephora* e o terceiro maior produtor de *C. arabica* (CONAB, 2023). O
77 estado caracteriza-se por apresentar um quadro natural diversificado com distintos
78 ambientes, permitindo o cultivo em diferentes localidades (FERRÃO et al., 2021).

79 A incidência de doenças no cafeeiro representa uma das barreiras mais limitantes
80 para a manutenção e aumento da produção e da produtividade no cenário agrícola
81 nacional, com destaque para a ferrugem do cafeeiro, causada pelo fungo *Hemileia*
82 *vastatrix* Berk. & Br. (BELAN et al., 2020; ZAMBOLIM, 2016).

83 A ferrugem do cafeeiro, também denominada de ferrugem alaranjada do cafeeiro,
84 foi diagnosticada pela primeira vez em 1861 na Província de Nyanza (Quênia), a doença
85 foi descrita em 1869 por Berkeley e Broome, após consequências devastadoras da doença
86 em lavouras comerciais no Ceilão, hoje Sri Lanka. No Brasil, os primeiros relatos de *H.*
87 *vastatrix* ocorreram no sul do estado da Bahia, em 1970. Quatro meses após a doença já
88 havia sido relatada em quase todos os estados do país e, após uma década, em toda a
89 América Latina (ZAMBOLIM, 2016).

90 A ocorrência da ferrugem com severidade variável em função da agressividade do
91 patógeno, das condições meteorológicas locais, carga pendente, estado nutricional e
92 resistência das plantas, além da densidade de plantio, fazem com que esta seja considerada
93 a doença mais importante da cultura, com redução de rendimentos estimada, entre 30 a
94 50%, quando em condições favoráveis a epidemia da doença (CAPUCHO et al., 2013).

95 Os fatores relacionados ao ambiente, como temperatura, precipitação, umidade
96 relativa do ar, radiação solar, vento e face de exposição ao sol, que estão relacionados as
97 condições climáticas/meteorológicas são de grande importância, pois interferem direta e

98 indiretamente no desenvolvimento do hospedeiro e do patógeno, condicionando a uma
99 maior ou menor epidemia da doença nas lavouras (MORAES et al., 2018).

100 O conhecimento de cada um dos fatores que interferem e determinam em uma maior
101 ou menor taxa de progresso da ferrugem do cafeeiro torna-se de grande importância, uma
102 vez que condicionam a distribuição e intensidade da doença (sua incidência e severidade)
103 e auxiliam, conseqüentemente, na compreensão da ocorrência de epidemias, permitindo
104 o estabelecimento de um programa de manejo fitossanitário com medidas de controle
105 mais adequadas (MORAES et al., 2018).

106 O zoneamento climático é uma ferramenta essencial para o conhecimento dos
107 fatores que interferem tanto no desenvolvimento da cultura quanto na ocorrência da
108 doença (SANTOS et al., 2016), o que permite a identificação das potencialidades e
109 favorabilidade nas áreas agrícolas (YATES et al., 2015), pois facilita a execução de
110 análises complexas através da sobreposição de vários dados climáticos e topográficos
111 gerando resultados precisos (LUPPI et al., 2015).

112 O termo zoneamento é utilizado para definir a compartimentação e delimitação de
113 uma determinada região em distintas porções territoriais, obtidas por meio da avaliação
114 de diferentes temas. É capaz de avaliar as potencialidades e restrições do ambiente,
115 seguindo os objetivos pré-estabelecidos do projeto em estudo (SANTOS et al. 2015). O
116 zoneamento climático destina-se a caracterizar os parâmetros meteorológicos/climáticos
117 que mais atuam no comportamento do vegetal, aqueles que, em suas condições extremas,
118 prejudiquem sensivelmente o crescimento e desenvolvimento da planta.

119 Um dos grandes desafios para produtores e pesquisadores é o manejo sustentável
120 da ferrugem do cafeeiro, o qual deverá atender as exigências de qualidade do mercado
121 nacional e internacional simultaneamente a oferta de um produto seguro,
122 economicamente viável e com baixo impacto ambiental, a partir da racionalização de toda
123 a cadeia produtiva (MORAES et al., 2008).

124 Desta forma, o conhecimento das áreas de aptidão climática para o plantio de *C.*
125 *canephora* e *C. arabica* e da favorabilidade climática para a ocorrência da ferrugem (*H.*
126 *vastatrix*) no estado do Espírito Santo, são condições indispensáveis, para auxiliar no
127 manejo sustentável da ferrugem do cafeeiro no estado.

128

129

130

131 2. OBJETIVOS

132 2.1 Objetivo Geral

133

134 Determinar as áreas de aptidão climática para o plantio de *C. canephora* e *C.*
135 *arabica* e a favorabilidade climática para a ocorrência da ferrugem no estado do Espírito
136 Santo.

137 2.2 Objetivos específicos

138 Espacializar e avaliar as áreas de aptidão climática para *C. canephora* e *C. arabica*
139 no estado do Espírito Santo;

140 Definir as áreas de favorabilidade climática para a ocorrência da ferrugem
141 (*Hemileia vastatrix*) no estado do Espírito Santo.

142

143 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

144 3.1 CAFEICULTURA

145 3.1.1 Importância social e econômica da cafeicultura

146 A produção agrícola brasileira possui destaque no cenário agrícola mundial, sendo
147 o país o quarto maior produtor mundial de alimentos, sendo o maior produtor e exportador
148 de café, soja, cana-de-açúcar e suco de laranja (IBGE, 2017).

149 O cafeeiro pertencente ao gênero *Coffea* na família Rubiaceae, é de origem africana,
150 porém encontra-se por todo o mundo, sendo plantado em mais de 76 países. O cafeeiro,
151 com exceção da água, é a bebida mais consumida do mundo, tornando-se uma das
152 commodities de maior importância ao redor do mundo, em termos de comercialização é
153 a segunda mais comercializada, depois do petróleo bruto (OIC, 2022).

154 A cafeicultura, considerada como uma das atividades de maior importância no setor
155 agropecuário mundial (EMBRAPA, 2017; FERRÃO et al., 2011), possui mais de 55
156 países envolvidos neste ramo de produção, sendo o Brasil, Vietnã, Colômbia e Indonésia
157 os principais países produtores, respectivamente (FERRÃO et al., 2011). O Brasil é o
158 maior produtor mundial de café e o estado do Espírito Santo (ES) é o segundo maior
159 produtor de café do país (CONAB, 2023; USDA, 2022;).

160 Os cafeeiros (*C. arabica* e *C. canephora*) são cultivados de forma distribuída em
161 todos os municípios do Espírito Santo, com exceção de Vitória. O estado caracteriza-se
162 por apresentar um quadro natural diversificado com distintos ambientes, permitindo o
163 cultivo do cafeeiro conilon (*C. canephora*) nas regiões de baixas altitudes e de

164 temperaturas mais elevadas, e do cafeeiro arábica (*C. arabica*), nas regiões mais altas e
165 de temperaturas mais amenas, destacando-se pelo fato de ser o estado brasileiro com
166 produções expressivas das duas espécies cultivadas comercialmente em todo o mundo
167 (FERRÃO et al., 2014).

168 O estado é o terceiro maior produtor de café arábica (4,36 milhões de sacas),
169 perdendo apenas para Minas Gerais (21,57 milhões de sacas) e São Paulo (4,38 milhões
170 de sacas). A produção de arábica no estado do ES ocupa 143,3 mil hectares (ha), com
171 produção de 4,36 milhões de sacas e produtividade de 30,43 sacas/ha (CONAB, 2023).

172 O Espírito Santo é o maior produtor de café conilon do país, com área de 259,2 mil
173 hectares, com produção de 12,36 milhões de sacas e produtividade de 47,69 sacas por
174 hectare, o que representa 96,94% do volume produzido na Região Sudeste e 67,90% de
175 toda a produção nacional na safra 2022 (CONAB, 2023).

176 O café representa para a maioria dos municípios do ES, o sustento econômico e
177 social. Estima-se que entre as 60 mil propriedades agrícolas que se dedicam à atividade
178 no estado, cerca de 72% são consideradas como sendo de base familiar e envolvem
179 aproximadamente 130 mil famílias, gerando, somente no setor da produção,
180 aproximadamente 400 mil postos de trabalho (FERRÃO et al, 2014).

181

182 **3.1.2 Condições climáticas necessárias para o desenvolvimento do cafeeiro**

183 O cafeeiro é uma planta de clima tropical úmido. No caso das duas espécies *C.*
184 *arabica* e *C. canephora* existem algumas particularidades quanto as condições climáticas
185 necessárias para o desenvolvimento.

186 As condições climáticas ideais para o desenvolvimento da espécie *C. arabica* são
187 temperatura médias anuais na faixa de 19 a 22 °C, altitude acima de 500 m, precipitações
188 pluviométricas acima de 1.200 mm e déficit hídrico anual menor que 100 mm em áreas
189 sem irrigação, de 100 a 150 mm em áreas com irrigação ocasional e de 150 a 200 mm
190 com irrigação complementar, as condições fora dessas faixas são consideradas inaptas
191 (PEZZOPANE et al., 2012; SANTOS et al., 2016, TOMAZ et al., 2012).

192 Para a espécie *C. canephora* as condições ideais para o desenvolvimento são
193 temperatura médias anuais na faixa de 22 a 26 °C, altitude abaixo de 500 m, precipitações
194 pluviométricas acima de 1.000 mm e déficit hídrico anual menor que 150 mm em áreas
195 sem irrigação, de 150 a 200 mm em áreas com irrigação ocasional e de 200 a 400 mm em

196 áreas com irrigação complementar, as condições fora dessas faixas são consideradas
197 inaptas (PEZZOPANE et al., 2012; SANTOS et al., 2016).

198

199 **3.1.3 Aspectos fitossanitários da cultura**

200 O manejo fitossanitário da cultura do cafeeiro é um dos grandes desafios para
201 produtores e pesquisadores do setor cafeeiro, os quais deverão atender as exigências de
202 qualidade do mercado nacional e internacional simultaneamente a oferta de um produto
203 seguro, de qualidade, economicamente viável, com potencial competitividade no mercado
204 e com baixo impacto ambiental, a partir da compreensão e racionalização de todas as
205 etapas da cadeia produtiva (MORAES et al., 2018).

206 As doenças representam um dos fatores mais limitantes para o desenvolvimento
207 do setor cafeeiro, seja em viveiro ou a campo, tanto para produtores de base familiar
208 quando de base empresarial, pois podem decorrer em redução da produção, produtividade
209 e qualidade final do produto e aumento do custo de produção, o que poderá acarretar na
210 inviabilidade econômica de exploração da cultura (BELAN et al., 2020; MORAES et al.,
211 2018; ZAMBOLIM, 2016).

212 O emprego de estratégias integradas de controle de doenças do cafeeiro, sejam
213 estas culturais, físicas, biológicas, químicas, genéticas ou legislativas, deverão
214 contemplar os aspectos fitossanitários de origem biótica (causadas por fungos, vírus,
215 bactérias, nematoides, entre outros) e abiótica (decorrentes de temperaturas extremas,
216 desequilíbrio nutricional, excesso ou déficit hídrico, fitotoxidez, entre outros) (MORAES
217 et al., 2018; ZAMBOLIM et al., 2005).

218 Dentre as principais doenças de origem biótica que incidem sobre o cafeeiro,
219 destaca-se a Ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.), Mancha-de-olho-pardo ou
220 Cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk. et Cook), Mancha Manteigosa
221 (*Colletotrichum* spp.), Mancha de Phoma (*Phoma costaricensis*), Seca dos Ponteiros
222 (*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) Penz. (Melanconiales: Glomerellaceae),
223 Fusariose (*Fusarium solani*, *F. oxysporum*, *F. moliniforme*, *F. semitectum*, *F. equiseti.*),
224 Mancha-de-Corynespora (*Corynespora cassiicola* (Berk. & Curtis) Wei) e as Nematoses,
225 doenças decorrentes do parasitismo do sistema radicular por fitonematoides,
226 principalmente dos gêneros *Meloidogyne* e *Pratylenchus* (VENTURA et al., 2017;
227 ZAMBOLIM et al., 2005).

228 Para que a sustentabilidade do setor cafeeiro seja assegurada, estratégias de
229 manejo e de controle de doenças devem considerar os fatores genéticos do hospedeiro
230 evolutivos, do patógeno e epidemiológicos das doenças, devendo ser aplicadas em escala
231 temporal e espacial, baseadas em pesquisas de cunho científico.

232

233 **3.2 FERRUGEM DO CAFEEIRO**

234 Em um patossistema agrícola, as epidemias de doenças de plantas resultam das
235 relações estabelecidas entre o patógeno (agente específico causador de doença com alta
236 capacidade infectiva e reprodutiva), hospedeiro (plantas hospedeiras suscetíveis),
237 ambiente (condições favoráveis do ambiente para o desenvolvimento do patógeno),
238 homem (preponderante no estabelecimento das condições que favorecem ou não o
239 desenvolvimento de epidemias) e vetor (quando houver) (VALE et al., 2004), sendo as
240 relações entre patógeno, hospedeiro e ambiente, também denominadas de ‘Triângulo da
241 Doença’, as mais importantes.

242 A ferrugem do cafeeiro, também denominada de ferrugem alaranjada do cafeeiro,
243 é decorrente da interação entre o fungo *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. e o hospedeiro
244 *Coffea* spp., sob condições favoráveis para o desenvolvimento da doença. Diagnosticada
245 pela primeira vez em 1861 na Província de Nyanza (Quênia), a doença foi descrita em
246 1869 por Berkeley e Broome, após consequências devastadoras da doença em lavouras
247 comerciais no Ceilão, hoje Sri Lanka (ZAMBOLIM, 2016).

248 No Brasil, os primeiros relatos de *Hemileia vastatrix* ocorreram no sul do estado
249 da Bahia, em 1970. Quatro meses após a doença já havia sido relatada em quase todos os
250 estados do país e, após uma década, em toda a América Latina (ZAMBOLIM, 2016).

251 A rápida disseminação da doença e a susceptibilidade dos materiais cultivados a
252 campo evidenciam a ocorrência da doença de forma generalizada em todas as regiões de
253 cultivo, com severidade variável em função da agressividade do patógeno, das condições
254 meteorológicas locais, carga pendente, estado nutricional e resistência das plantas, além
255 da densidade de plantio. A associação destes fatores faz com que esta seja considerada a
256 doença mais importante da cultura, com redução de rendimentos estimada entre 30 a 50%,
257 quando em condições favoráveis a epidemia da doença (CAPUCHO et al. 2013).

258 O conhecimento de cada um dos fatores que interferem e determinam em uma
259 maior ou menor taxa de progresso da ferrugem do cafeeiro torna-se de grande
260 importância, uma vez que condicionam a distribuição e intensidade da doença (sua
261 incidência e severidade) e auxiliam, conseqüentemente, na compreensão da ocorrência de

262 epidemias, permitindo o estabelecimento de um programa de manejo fitossanitário com
263 medidas de controle mais adequadas (MORAES et al., 2018). Entretanto, conforme será
264 abordado a seguir, o ambiente exerce papel preponderante sobre os demais fatores que
265 constituem o ‘Triângulo da Doença’, ou seja, patógeno e hospedeiro, uma vez que
266 também os influencia.

267

268 **3.2.1 Efeito do ambiente na ocorrência da ferrugem do cafeeiro**

269 O conhecimento dos efeitos ambientais que interferem na ocorrência da ferrugem
270 do cafeeiro é de grande importância, uma vez que afetam a epidemiologia da doença em
271 seus aspectos espaciais (distribuição geográfica) e temporais, visto influenciar
272 diretamente no crescimento e na suscetibilidade da planta hospedeira, na disseminação,
273 na infecção, na colonização, na reprodução e na sobrevivência do patógeno,
274 condicionando, assim, a intensidade da doença e sua taxa de desenvolvimento
275 (ANGELOTTI et al., 2017; HAMADA et al., 2015).

276 De modo geral, as condições epidemiológicas são específicas para cada caso, visto
277 estarem mais diretamente condicionadas aos efeitos ambientais locais do que regionais
278 (MONTROYA e CHAVES, 1974), sejam estes relacionados a temperatura (máxima, média
279 e mínima), precipitação, umidade relativa do ar, vento, face de exposição ao sol (Noruega
280 ou Soalheira), radiação solar, concentração de CO², balanço hídrico, características físico-
281 químicas e biológicas do solo, relevo, adensamento e tratos culturais (VALE et al., 2004b;
282 GONÇALVES, 2015). As atuais técnicas de manejo do cafeeiro podem ser otimizadas a
283 partir do conhecimento das condições ambientais que favorecem ou não o
284 desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro.

285 Dentre os fatores relacionados ao ambiente anteriormente descritos, os quais
286 interferem direta e indiretamente no desenvolvimento do hospedeiro e do patógeno,
287 condicionando a uma maior ou menor epidemia da doença nas lavouras, aqueles
288 relacionados as condições climáticas/meteorológicas (temperatura, precipitação, umidade
289 relativa do ar, radiação solar, vento e face de exposição ao sol) são de grande importância
290 (VALE et al., 2004). Nesse sentido, e considerando os relatórios divulgados pelo Painel
291 Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês), pode-se
292 relacionar que as mudanças climáticas globais podem promover alterações na intensidade
293 de doenças de plantas, ocasionando graves consequências sociais, econômicas e
294 ambientais (GHINI et al., 2008).

295 O efeito das condições climáticas/meteorológicas e a análise de risco das
296 mudanças climáticas globais sobre a intensidade das doenças de plantas deve ser
297 considerada pelo setor agrícola, visto que permite ao produtor ou profissional
298 implementar e avaliar as estratégias de manejo utilizadas em um programa de manejo
299 fitossanitário, preconizando-se o uso de estratégias de controle mais racionais que
300 minimizem prejuízos futuros e que atendam as atuais demandas econômicas, sociais e
301 ambientais do mercado consumidor (GHINI et al., 2008). Diversos modelos de previsão
302 de doenças e sistemas de alerta fitossanitários estão embasados no conhecimento da
303 interação entre o patógeno, hospedeiro e as variáveis climáticas/meteorológicas (VALE
304 et al., 2004b).

305

306 **3.2.1.1 Temperatura**

307 Dentre as variáveis ambientais que condicionam a incidência e a severidade da
308 ferrugem do cafeeiro, a temperatura destaca-se como variável meteorológica/climática de
309 maior influência sobre a relação patógeno-hospedeiro (ANGELOTTI et al., 2017).
310 Ademais, a temperatura condiciona as interações com microrganismos simbioses, com
311 os insetos e plantas espontâneas, bem como na resistência a doenças e insetos-praga
312 (AGRIOS, 2005).

313 As doenças decorrentes de patógenos de solo são predominantemente
314 influenciadas pelo clima da região, enquanto que para patógenos foliares a maior
315 influência é exercida pelas condições meteorológicas locais, as quais afetam diretamente
316 o microclima, condicionando epidemias esporádicas e curtas, de características muitas
317 vezes explosivas (VALE et al., 2004).

318 De acordo com Angelotti et al. (2014), a temperatura exerce influência em
319 todas as etapas do ciclo de relações entre patógeno e hospedeiro, afetando aspectos como
320 disseminação, infecção, colonização, reprodução e sobrevivência. Em relação à fase de
321 infecção, a germinação dos esporos pode ser aumentada ou reduzida dependendo da
322 temperatura (MAIA et al., 2011; POLTRONIERI et al., 2013), o que pode afetar
323 diretamente a expansão e velocidade da doença (MAY-DE-MIO et al., 2002; VALE et
324 al., 2000). Um exemplo disso é o patossistema *Hemileia vastatrix* vs *Coffea* spp., no qual
325 a germinação dos uredósporos é considerada ótima a 22°C, sendo inibida em temperaturas
326 abaixo de 15°C ou acima de 28°C (ZAMBOLIM et al., 2005). Segundo Angelotti et al.

327 (2017) destacam ainda que o número de ciclos da doença ao longo do período de cultivo
328 está relacionado à temperatura favorável para o desenvolvimento do patógeno.

329 De acordo com Zambolim et al. (2005), ao contrário da fase de germinação, o
330 alongamento do tubo germinativo aumenta com o aumento da temperatura até atingir
331 30°C. Isso indica que uma temperatura que não favorece a germinação pode não ser
332 prejudicial para o processo germinativo e outras fases do ciclo do patógeno. É importante
333 considerar a influência da temperatura em todas as fases do ciclo do patógeno, já que os
334 períodos de incubação e latência da *Hemileia vastatrix* em *Coffea* spp. podem variar de
335 29 a 62 dias e de 38 a 70 dias, respectivamente, o que afeta diretamente a taxa de progresso
336 da doença. Temperaturas elevadas durante o período de incubação podem ter efeitos
337 negativos nas taxas de infecção da ferrugem do cafeeiro. Meira et al. (2008) observaram
338 que temperaturas médias máximas microclimáticas superiores a 31°C e 28°C,
339 respectivamente, tiveram um efeito depressivo no período de incubação.

340 Segundo Vale et al. (2000), foi reportada uma variação no período latente da
341 ferrugem do cafeeiro, podendo chegar a 19 dias em situações de prevalência de
342 temperaturas elevadas no verão e até 60 dias em períodos de baixas temperaturas no
343 inverno. É importante salientar que essas alterações podem comprometer a eficácia das
344 medidas de controle da ferrugem, se aplicadas no momento em que as variáveis
345 climáticas/meteorológicas causam maior impacto negativo na intensidade da doença.

346 Há uma estreita relação entre as condições de favorabilidade à infecção e a
347 severidade da doença no campo, quando temperaturas entre 20 e 25°C e presença de
348 molhamento foliar, condicionando picos da severidade da doença de novembro a março
349 (período favorável ao patógeno) (VALE et al. 2000b). Porém não é somente a temperatura
350 durante o período de molhamento foliar que é importante, segundo Meira et al. (2008), as
351 médias baixas de temperatura mínima e as médias altas de temperatura máxima diárias
352 afetam negativamente as taxas de infecção da ferrugem do cafeeiro. Além disso, as
353 temperaturas máximas e mínimas durante a fase de infecção também possuem
354 importância, embora em menor grau. Já Angelotti et al. (2017) enfatizam a importância
355 de identificar a capacidade de sobrevivência do patógeno em função da temperatura para
356 compreender seu comportamento e sua capacidade de se estabelecer em novas regiões. A
357 adaptabilidade do patógeno a novas condições climáticas, principalmente quando
358 consideramos os relatórios divulgados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças
359 Climáticas (IPCC), poderá determinar não somente uma maior ou menor intensidade da

360 doença e, conseqüentemente, em uma maior ou menor perda futura, mas também poderá
361 alterar as áreas atualmente mais favoráveis a produção do cafeeiro em nível global.

362

363 **3.2.1.2 Precipitação e umidade relativa do ar**

364 A precipitação e a umidade relativa do ar são, também, fatores ambientais
365 diretamente relacionados a variação da intensidade da doença nas lavouras cafeeiras, visto
366 propiciar não somente a umidade necessária para a germinação dos esporos (MONTEIRO
367 et al., 2006; VALE et al., 2000b).

368 A interação existente entre a temperatura e o molhamento foliar determinam o
369 percentual de germinação dos esporos e de penetração do agente etiológico da ferrugem
370 (KUSHALAPPA et al., 1983). Essa afirmação corrobora com estudos de Meira et al.
371 (2008), referente a análise da epidemia da ferrugem do cafeeiro a partir do uso de árvore
372 de decisão. Os autores afirmam que a temperatura durante o período de molhamento
373 foliar, a qual é estabelecida indiretamente pela temperatura média nos períodos de alta
374 umidade relativa do ar (>95%), podem ser consideradas as variáveis mais importantes na
375 determinação da taxa de infecção da ferrugem.

376 Ressalta-se que o molhamento foliar ocorre mesmo quando não há precipitação,
377 desde que a umidade relativa do ar esteja igual ou superior a 90% (SENTELHAS et al.,
378 2008). Além disso, a taxa de progresso da ferrugem do cafeeiro nas lavouras está
379 diretamente relacionada a intensidade das chuvas e ao período de duração do molhamento
380 foliar. A taxa de germinação dos esporos de *Hemileia vastatrix* são favorecidas por
381 chuvas com baixa intensidade e o orvalho, os quais umedecem as folhas durante várias
382 horas, condições estas necessárias ao processo germinativo (MONTEIRO et al., 2006;
383 MONTOYA e CHAVES, 1974;). Por outro lado, chuvas de moderada a alta intensidade,
384 principalmente quando em um maior período de tempo, atuam como mecanismos de
385 remoção de inóculo, conduzindo a maior parte destes esporos ao chão e refletindo,
386 diretamente, na redução da taxa de evolução da doença nos dias subsequentes
387 (KUSHALAPPA e ESKES, 1989; MONTEIRO et al., 2006).

388

389 **3.2.1.3 Radiação**

390 A radiação solar inibe tanto o processo de germinação quanto o crescimento do
391 tubo germinativo dos uredósporos de *H. vastatrix* (ZAMBOLIM et al., 2005). Quando
392 associada ao período de molhamento foliar, exerce determinante influência sobre o

393 patógeno, visto que o período de duração do molhamento foliar está diretamente
394 relacionado ao período de exposição das folhas ao sol (CUSTODIO et al., 2010). Para o
395 agente causal da ferrugem do cafeeiro, o molhamento foliar decorrente da presença de
396 água no estado líquido é um fator indispensável para o processo de germinação dos
397 uredósporos de *H. vastatrix* (WARD, 1882) que iniciam a colonização dos tecidos a partir
398 da penetração pelos estômatos das folhas (MCCAIN e HENNEN, 1984). Quando as
399 condições do ambiente estão favoráveis ao patógeno, ou seja, temperatura ótima de 22°C,
400 ausência de luminosidade e presença de molhamento foliar, o processo de germinação
401 dos uredósporos de *H. vastatrix* pode ocorrer em menos de cinco horas. Portanto,
402 geralmente as condições favoráveis ao processo de germinação ocorrem a noite
403 (ZAMBOLIM et al., 2005).

404

405 **3.2.1.4 Vento e face de exposição ao sol**

406 O microclima de uma lavoura é influenciado por diversos fatores relacionados as
407 condições meteorológicas locais, relevo, área foliar, sistema de plantio, espaçamento,
408 vento e face de exposição das plantas em relação ao sol, os quais, associados, interferem
409 na interceptação e no balanço da radiação, bem como na temperatura, umidade, e regime
410 de molhamento foliar (MADEIRA et al., 2002; SALGADO et al., 2007; SENDELHAS et
411 al., 2008).

412 O efeito do vento na ocorrência da ferrugem do cafeeiro é considerado como o
413 principal agente de disseminação da doença a curtas e longas distâncias, sendo fator
414 limitante a ser considerado no manejo fitossanitário desta doença. Além deste, o vento é
415 um dos fatores ambientais responsáveis por promover a renovação do ar no interior do
416 dossel da cultura, acelerando o processo de evaporação da água presente na superfície das
417 plantas e reduzindo a duração do período de molhamento foliar. A intensidade da doença
418 e seu progresso na área em função do vento dependerá, então, de cada área de produção
419 em particular (MONTEIRO et al., 2006).

420 A depender das condições de manejo, como a direção de plantio do cafeeiro e,
421 consequentemente, sua face de exposição ao sol, alterações na intensidade da doença
422 podem modificar o período de molhamento foliar e do sombreamento das folhas. Um
423 menor período de molhamento pode ser determinado pelo menor tempo de exposição das
424 folhas ao sol.

425 Conforme anteriormente discutido, o efeito das condições
426 climáticas/meteorológicas e a análise de risco das mudanças climáticas globais sobre a
427 intensidade das doenças de plantas é de grande importância, uma vez que afetam a
428 epidemiologia da doença em seus aspectos espaciais e temporais, e devem ser
429 consideradas pelo setor agrícola, visto que permite ao produtor ou profissional
430 implementar e avaliar as estratégias de controle utilizadas em um programa de manejo
431 fitossanitário que minimizem prejuízos futuros e que atendam as atuais demandas
432 econômicas, sociais e ambientais do mercado consumidor. A partir da determinação
433 precisa e acurada dos efeitos do ambiente na ocorrência da ferrugem do cafeeiro, é
434 possível desenvolver métodos ou modelos que identifiquem situações em que a incidência
435 ou elevação da taxa de progresso da doença seja iminente.

436 O manejo fitossanitário e o desenvolvimento dos chamados sistemas de alerta tem
437 sido beneficiado pelo rápido desenvolvimento de avançadas tecnologias, seja pela
438 aquisição de dados a partir de estações meteorológicas, sensoriamento remoto, sistemas
439 de informação global (GIS), sistemas de posicionamento geográfico (GPS), dentre outros.

440

441 **3.3 ZONEAMENTO E FAVORABILIDADE CLIMÁTICA**

442 A ocorrência da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) se deve às condições
443 climáticas, principalmente temperatura, umidade e precipitação, assim o zoneamento
444 climático tem se mostrado uma ferramenta essencial para o planejamento das atividades
445 (SANTOS et al., 2016), permitindo a identificação das potencialidades e incidência de
446 doenças em áreas agrícolas (YATES et al., 2015). Está comprovado que estudos de
447 favorabilidade de ocorrências de doenças por meio de zoneamento climático são uma
448 ferramenta que facilita a execução de análises complexas através da sobreposição de
449 vários dados climáticos e topográficos gerando resultados precisos (LUPPI et al., 2015).

450 O termo zoneamento é utilizado para definir a compartimentação e delimitação de
451 uma determinada região em distintas porções territoriais, obtidas por meio da avaliação
452 de diferentes temas. É capaz de avaliar as potencialidades e restrições do ambiente,
453 seguindo os objetivos pré-estabelecidos do projeto em estudo (SANTOS et al. 2015).

454 Segundo Ometto (1981), zoneamento agrícola é como um artifício utilizado para
455 delimitar regiões cujas condições de meio ambiente, solo e econômicas caracterizem a
456 maior probabilidade possível de sucesso em termos de produtividade e rentabilidade, a
457 uma determinada cultura, sendo necessária a caracterização das exigências climáticas das
458 culturas a serem zoneadas, verificar as condições climáticas da região de origem ou de

459 regiões onde a cultura encontra-se adaptada e estabelecer os critérios que definem os
460 limites das exigências climáticas.

461 O zoneamento agrícola é o resultado final de uma série de critérios que devem ser
462 adotados durante a execução de um projeto; esses critérios são afeitos ao clima, solo e
463 localização, pois, o objetivo final, é sempre a rentabilidade econômica (OMETTO, 1981).
464 Segundo Maciel et al. (2009), é imprescindível identificar, quantificar e mapear as áreas
465 mais favoráveis ao plantio das culturas de sequeiro, em que as técnicas de identificações
466 de áreas aptas com base em informações do solo e clima possibilitam a definição dos
467 ambientes agroecologicamente favoráveis para exploração agrícola e contribuem com a
468 redução dos riscos de degradação do ambiente e consequente diminuição das perdas para
469 os agricultores. O zoneamento de aptidão climática destina-se a caracterizar os
470 parâmetros meteorológicos que mais atuam no comportamento do vegetal, aqueles que,
471 em suas condições extremas, prejudiquem sensivelmente o crescimento e
472 desenvolvimento da planta (OMETTO, 1981).

473 As potencialidades do clima para a produção agrícola estão condicionadas
474 principalmente pela radiação solar e pelo regime térmico resultante do balanço
475 energético, pela precipitação e pela disponibilidade hídrica. Tanto a temperatura do ar
476 quanto a do solo afetam os processos de crescimento e desenvolvimento das plantas; cada
477 germoplasma possui seus limites térmicos mínimos, máximos e ótimos para cada estágio
478 fenológico (ANDRADE JÚNIOR, 2007).

479 Diante do avanço tecnológico na atualidade é possível fazer uma previsão
480 antecipada do regime pluviométrico de determinada região, e com o auxílio do
481 zoneamento agroclimático saber se uma cultura terá ou não sua viabilidade no ano
482 previsto, de modo que o produtor possa decidir ou não sua implementação (SILVA et al.,
483 2011; SILVA et al., 2013) defendem que a elaboração, mais a disponibilização de mapas
484 de aptidão climática para culturas, fornecem importantes ferramentas para futuras
485 recomendações práticas, lógicas e coerentes de serem executadas para o estabelecimento
486 dos cultivos, prevenção e controle das doenças, que servirão de base para a construção de
487 políticas públicas destinadas ao setor agrícola.

488 Zoneamento climático e ambiental, variáveis que contribuem para o planejamento
489 e gestão de sistemas agrícolas, assim sendo determinar as áreas que são adequadas para a
490 implementação e desenvolvimento de uma determinada cultura (BARBOSA et al., 2012;
491 FERREIRA et al., 2016; SILVA et al., 2015). O relevo de uma região pode afetar seu
492 clima devido à variação na altitude da superfície do solo, e o forma e direção de suas

493 inclinações (FRITZSONS et al., 2008). Isso afeta o comportamento dos humanos, e
494 produção animal e vegetal. Altitude e horário de verão são alguns dos fatores ambientais
495 que mais afetam a colheita do café (ZAIDAN et al., 2017). De acordo com Sedyama et
496 al. (2001), a temperatura do ar é uma das as características mais marcantes entre o clima
497 e os elementos que caracterizam a montanha microclima, e é muito importante para o
498 ciclo da cultura do cafeeiro e, conseqüentemente, à qualidade do produto final.
499 Considerando a relevância da produção de café na região de Matas de Minas, estudos
500 sobre a correlação entre altitude e temperatura do ar e as plantações de cafeeiro
501 contribuíram ao planejamento agrícola de uma região.

502 De acordo com Fitz (2008), no zoneamento a existência de mapas atualizados e
503 georreferenciados deve estar vinculada a um banco de dados geográficos consistente para
504 obtenção de resultados efetivos. Paese et al. (2012) destacam que os Sistemas de
505 Informações Geográficas (SIG) são amplamente empregados para o planejamento
506 ambiental de áreas protegidas, o desenvolvimento de planos de manejo e, entre outras
507 utilizações, para a priorização de áreas de conservação. Entretanto, os citados autores
508 destacam a baixa disseminação do conhecimento geográfico necessário para essas ações.
509 A utilização de softwares livres visa superar um obstáculo aos pequenos usuários e
510 interessados, uma vez que o custo associado à compra de licenças de um programa
511 comercial pode ser proibitivo.

512 Uma vez definida as condições adequadas para o estabelecimento e
513 desenvolvimento do patógeno, é possível inferir o risco de ocorrência desta doença e
514 delimitar estas áreas (MORAES et al., 2011). O zoneamento de áreas de escape tem como
515 objetivo promover condições favoráveis à planta e desfavoráveis ao patógeno, através de
516 táticas de fuga baseadas na delimitação de áreas geográficas desfavoráveis ao
517 estabelecimento da doença. Esta prática de manejo pode ser aprimorada através da
518 introdução de informações epidemiológicas em um Sistema de Informações Geográficas
519 (SIG). O SIG tem sido aplicado na agricultura para análise distribuição espacial e
520 temporal de doenças de plantas, através do mapeamento das áreas de risco (NELSON et
521 al., 1999).

522 Segundo Possas et al. (2012), os elementos climáticos, principalmente a
523 temperatura e a pluviosidade, podem restringir o plantio e o desenvolvimento das culturas
524 em determinadas regiões, contexto no qual o zoneamento agroclimático apresenta-se
525 como uma aliada ferramenta para escolha de áreas de cultivo.

526 De acordo com Moreira et al., 2020, o zoneamento de favorabilidade térmica para
527 ocorrência de doenças fúngicas em mamoeiro em função de variáveis climáticas
528 (temperatura e umidade) mostrou-se uma ferramenta valiosa para o estudo de doenças
529 fitopatológicas, permitindo o estabelecimento de planos para a alocação de variedades
530 resistentes a fim de minimizar os riscos de perda de produtividade da cultura como
531 resultado da doença.

532 Em muitos estudos o levantamento e análise de dados geralmente se utilizando o
533 SIG - Sistema de Informação Geográfica aplicado através do QGIS, que é um software
534 livre, de manipulação SIG que permite a visualização, edição e análise de dados
535 georreferenciados, possibilitando a classificação e quantificação das classes de uso e
536 cobertura da terra por exemplo, com dados fornecidos pela plataforma MapBiomias.
537 Segundo Neves et al. (2020), essa plataforma online é uma ferramenta criada por uma
538 rede colaborativa formada por Organizações não Governamentais (ONG's),
539 universidades e empresas de tecnologia.

540 Assim sendo, o Software QGIS é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de
541 Código Aberto licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU. O QGIS é um projeto
542 oficial da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Funciona em Linux, Unix, Mac
543 OSX, Windows e Android e suporta inúmeros formatos de vetores, rasters e bases de
544 dados e funcionalidades.

545 Tal instrumento possui a finalidade de produzir mapas de caráter anual da
546 cobertura e uso da terra no Brasil, juntamente com o fornecimento de informações e
547 estatísticas de cada ano, em diversas escalas incluindo aspectos locais, regionais
548 ou municipais. Os mapas que são elaborados permitem identificar as modificações do uso
549 do solo em territórios que possuem áreas urbanas, florestais, agrícolas, de pastagens, de
550 reflorestamento e entre outros. Este mecanismo surgiu para o suprimento da necessidade
551 de atualização das informações a respeito da dinâmica de uso da terra no território
552 nacional.

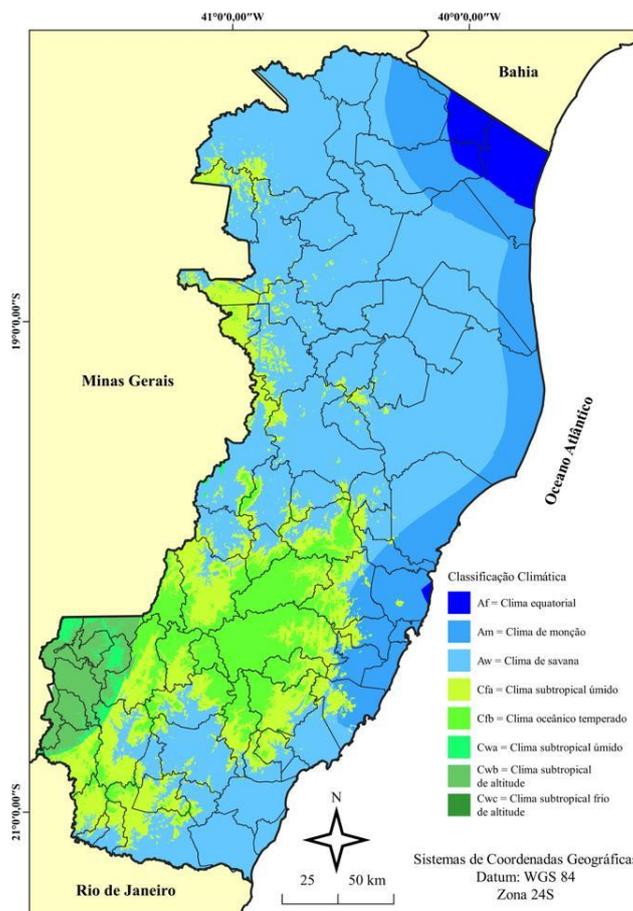
553 As alterações na temperatura e na umidade relativa têm sido apontadas como um
554 fator que afeta significativamente a infecção e o desenvolvimento da ferrugem na cultura
555 do cafeeiro (MEIRA et al., 2008). Entretanto, existem poucos de trabalhos que envolvem
556 a utilização do SIG na determinação de áreas de aptidão climática para o plantio de *C.*
557 *arabica* e *C. canephora* e a favorabilidade climática para a ocorrência da ferrugem no
558 estado do Espírito Santo.

559

560 4. MATERIAL E MÉTODOS

561 4.1 Área de estudo

562 A área de estudo, é o estado do Espírito Santo, Sudeste do Brasil, possui uma área
 563 terrestre de 46.052,64 km²; e está localizado entre 17° 53'29'' e Latitude 21° 18'03'' S e
 564 longitude 39° 41'18'' e 41° 52'45'' W. Se faz fronteira com o oceano Atlântico ao leste,
 565 estado da Bahia ao norte, Estado de Minas Gerais ao oeste e Estado do Rio de Janeiro ao
 566 sul (Figura 1). O estado tem preponderantemente quatro tipos de clima de acordo com a
 567 classificação de Köppen e Geiger: Cwb, um clima subtropical de altitude com invernos
 568 secos e verões amenos encontrados na região montanhosa do estado, com temperatura
 569 média abaixo de 22 °C; Cwa, um clima subtropical úmido com invernos secos e verões
 570 quentes e chuvosos encontrados na região sudoeste do estado; Am, um clima de monção,
 571 apresentando ser tropical úmido ou sub-úmido, clima encontrado na região Nordeste do
 572 estado; e Aw, clima savana, apresenta ser um clima tropical com invernos secos
 573 encontrados na região oeste do estado.



574

575 **Figura 1-** Estado do Espírito Santo, Brasil.

576 Fonte: Elaborado pela autora.

577 **4.2 Estruturação de Banco de dados climáticos**

578 O banco de dados foi estruturado a partir de uma série histórica de 30 anos (1992
579 a 2021), com a preparação e organização dos dados de quatro (04) variáveis climáticas:
580 temperatura média anual (°C), deficiência hídrica anual (mm), precipitação hídrica anual
581 (mm) e umidade relativa do ar média anual (mm), adquiridos do TERRACLIMATE, com
582 definição de área de estudo para o estado do Espírito Santo, Brasil, conforme descrito nas
583 etapas a seguir (Figura 2):

584 1- Download dos dados climáticos (Anos agregados) arquivos Netcdf do servidor
585 "TerraClimate".

586 Selecionou-se o quadrante por meio das coordenadas de interesse para as quatro
587 (04) variáveis climáticas e com o intervalo de interesse, neste caso de 1992 a 2021. Cada
588 ano foi formado por 12 bandas, durante 30 anos, essas bandas são respectivas a cada mês
589 do ano, totalizando assim 360 bandas para cada variável climática, esses dados foram
590 processados conforme descrito abaixo:

591 a) Quadrante representativo do Brasil;

592 b) SRC: WGS 84 4326 (Sistema de Coordenadas Geográficas)

593 c) Shapefile de referência: Shapefile Atualizado dos Países do Mundo, obtido no
594 Eurostat: Polígono do Brasil

595 2- Utilizou-se o software ArcGis/ArcMap® para exportar dados no formato tif e
596 rasterização de dados, fazendo assim a inserção dos dados. O software QGIS® foi
597 utilizado para calcular o raster, ambos softwares foram utilizados para a estruturação do
598 banco dados e de todo trabalho, a função “Calculadora raster”, foi utilizada para obtenção
599 de valor único para cada variável no período de 1992 a 2021.

600 3- Para importação das quatro (04) variáveis climáticas (malhas em formato .nc)
601 utilizou-se a função "Adicionar camada malha".

602 4- Logo após, realizou-se a rasterização das camadas de malha .nc das 04 variáveis
603 climáticas para o formato .tif

604 5- Adquiriu-se das Unidades da Federação do IBGE o polígono representativo do
605 estado do Espírito Santo utilizando-se a função "Guardar elementos selecionados como"

606 6- Os municípios do estado do Espírito Santo foram adquiridos do IBGE.

607 7- A partir dessas aquisições, criou-se um retângulo envolvente representativo da
608 área de estudo (estado do Espírito Santo, Brasil - SRC: WGS 84 4326), utilizando a
609 função "Extrair Extensão da Camada".

610 8- As quatro (04) imagens matriciais das variáveis climáticas foram recortadas,
611 tendo como máscara de corte a imagem vetorial poligonal do retângulo envolvente do
612 estado do ES, utilizando a Função “recortar raster pela camada máscara”.

613 9- As imagens matriciais do SRC antigo (WGS 84 4326 - Lat Long) foram
614 reprojctadas para o novo SRC (Sirgas 2000 UTM Zone 24 S 31984 - metros), com a
615 função "Reprojetar Coordenadas"

616 10- Reprojetar as imagens vetoriais poligonais (estado do Espírito Santo,
617 Municípios do ES e Retangulo Envolvente) o SRC antigo (WGS 84 4326 - Lat Long)
618 para o novo SRC (Sirgas 2000 UTM Zone 24 S 31984 - metros): função "Reprojetar
619 Camadas"

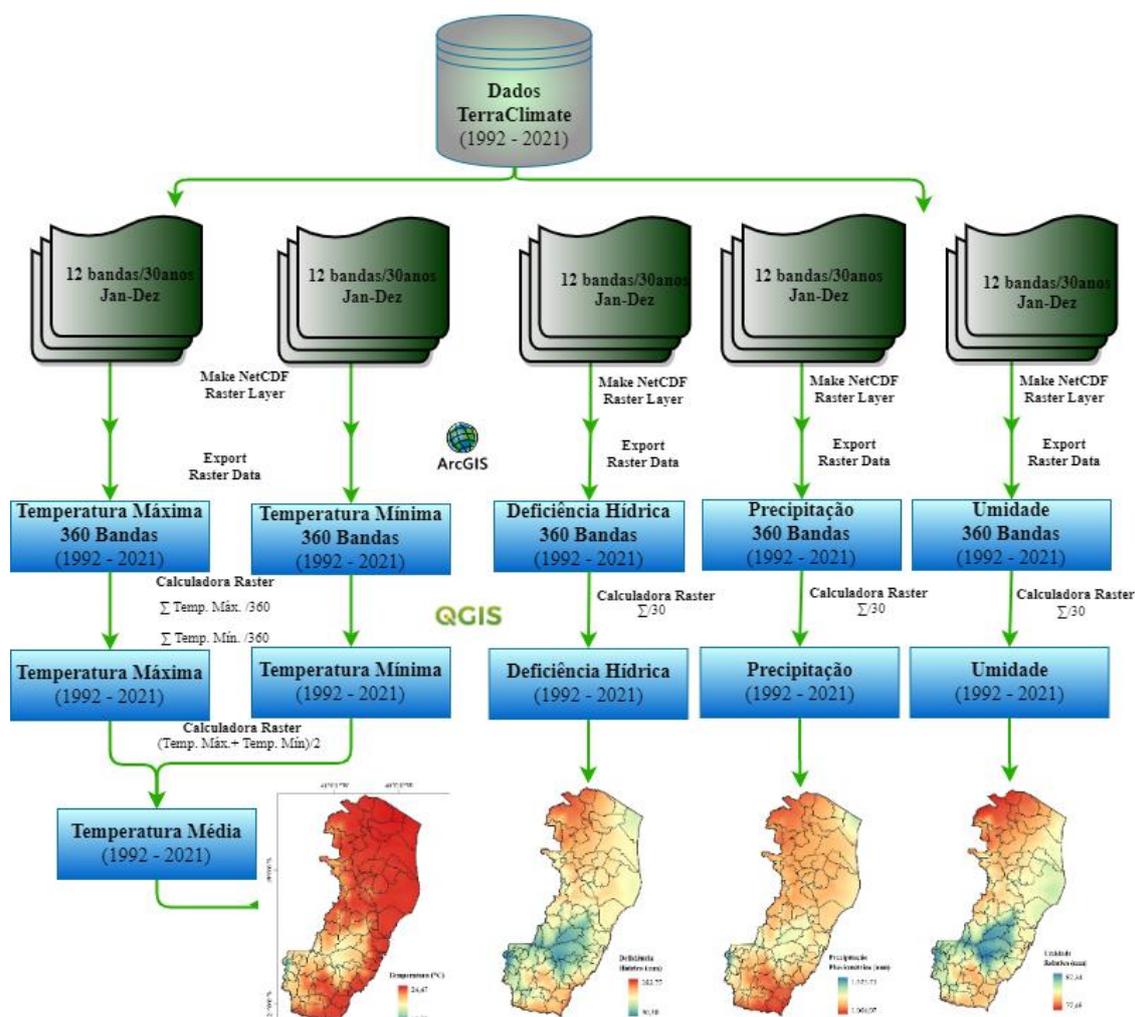
620 11- As imagens matriciais das variáveis meteorológicas (Sirgas 2000 UTM Zone
621 24S 31984 - metro) foram convertidas para o formato vetorial de pontos, com a função
622 "Raster para ponto".

623 12- As imagens vetoriais de pontos das variáveis meteorológicas foram
624 interpoladas, assumindo o retângulo envolvente com resolução espacial de 90 m,
625 utilizando a função “Interpolação IDW” (Inverso do Quadrado da Distância), sendo
626 gerado o mapa do ES.

627 13- Espacializou-se a Temperatura Média do Ar com na média aritmética das
628 Imagens Matriciais da Tmax e Tmin, com a função "Calculadora Matricial".
629 $(Tmax_Q_ES + Tmin - Q_ES) / 2$.

630 14). Espacializou-se a deficiência hídrica anual com a função "Calculadora
631 Matricial". $Def_Q_ES \times 12$.

632 Após a espacialização das variáveis climáticas temperatura média anual (°C),
633 deficiência hídrica anual (mm), precipitação hídrica anual (mm) e umidade relativa do ar
634 média anual (mm), as imagens matriciais obtidas foram reclassificadas, de acordo com a
635 exigência climáticas dos cafeeiros conilon e arábica.



636

637 **Figura 2-** Resumo das etapas metodológicas da aquisição do banco de dados no
 638 TERRACLIMATE e cálculo das médias das variáveis climáticas no período de 30 anos
 639 (1992 a 2021).

640 Fonte: Elaborado pela autora.

641

642 **4.3 Zoneamento climático para os cafeeiros conilon (*Coffea canephora* Pierre ex 643 Froehner) e arábica (*Coffea arabica* L.) no estado do Espírito Santo**

644 Após a estruturação do banco de dados iniciou-se as etapas para a elaboração do
 645 zoneamento climático para o cultivo dos cafeeiros arábica (*Coffea arabica* L.) e conilon
 646 (*Coffea canephora*) no estado do Espírito Santo.

647 As etapas a serem seguidas para a elaboração do mapa do zoneamento foram
 648 baseadas na metodologia proposta por Santos et al. (2015) no livro intitulado
 649 “Zoneamento agroclimático no ArcGIS 10.3.1: passo a passo”.

650 A primeira etapa consistiu na definição das exigências climáticas dos cafeeiros
651 conilon e arábica referente as suas classes de aptidão, restrição e inaptidão (Tabela 1 e 2),
652 das faixas de aptidões térmicas e hídricas (SANTOS et al. 2015; SANTOS et al., 2022).

653 **Tabela 1.** Faixas de aptidão térmica para as culturas do cafeeiro conilon (*Coffea*
654 *canephora* Pierre ex Froehner) e arábica (*Coffea arabica* L.)

Aptidão	Temperatura média (°C)	
	Cafeeiro conilon	Cafeeiro arábica
Apta	22 a 26	19 a 22
Restrita	21 a 22	18 a 19 e 22 a 23
Inapta	< 21 e > 26	< 18 e > 23

655 Fonte: Santos et al. (2022)

656

657 **Tabela 2.** Faixas de aptidão hídrica para a cultura dos cafeeiros conilon (*Coffea*
658 *canephora* Pierre ex Froehner) e arábica (*Coffea arabica* L.).

Aptidão	Deficiência hídrica (mm)	
	Cafeeiro conilon	Cafeeiro arábica
Apta Sem Irrigação (ASI)	< 150	< 100
Apta com Irrigação Ocasional (AIOC)	150 a 200	100 a 150
Apta com Irrigação Complementar (AICO)	200 a 400	150 a 200
Apta com Irrigação Obrigatória (AIOB)	> 400	> 200

659 Fonte: Santos et al. (2022)

660

661 Para todas as etapas a seguir se fez o uso do software QGIS® e ArcGis/ArcMap®
662 e a utilização dos arquivos vetoriais e matriciais da base de dados do Terraclimate.

663 A segunda etapa foi a espacialização das características climáticas, deficiência
664 hídrica anual e temperatura média anual dos 30 anos (1992 a 2021) para o estado do
665 Espírito Santo.

666 A terceira etapa foi a reclassificação espacial das características climáticas da
667 região com base nas exigências climáticas do cafeeiro, para isso a reclassificação espacial
668 da temperatura média anual, foram utilizadas as faixas de aptidões térmicas para o
669 cafeeiro conilon e arábica, conforme Tabela 1.

670 A quarta e última etapa foi a elaboração do mapa de zoneamento agroclimático,
671 realizando assim a combinação de imagens matriciais, definição das classes de
672 zoneamento, a vetorização da imagem matricial de zoneamento, dissolução das classes
673 vetoriais de zoneamento e classificação do zoneamento com a inclusão das áreas
674 impróprias, que são áreas constituintes, na maior parte das vezes, pelas manchas urbanas,

675 massas d'água, áreas onde não se pode realizar plantios agrícolas. Foi realizado também
 676 o cálculo da área (km²) e a porcentagem (%) das classes de zoneamento para cada cidade
 677 do ES e para a cultura do cafeeiro conilon e do cafeeiro arábica, sendo a fórmula do
 678 percentual das classes de aptidão: $\text{Percentual} = \frac{\text{Área de cada classe} \times 100}{\sum \text{Área de cada}}$
 679 classe.

680 Em suma os mapas de zoneamento agroclimático foram obtidos através do
 681 cruzamento dos mapas de temperatura média anual e deficiência hídrica anual já
 682 reclassificados, gerando assim um mapa do zoneamento climatológico para o cafeeiro
 683 conilon e outro para o cafeeiro arábica.

684

685 **4.4 Zoneamento da favorabilidade climática para ocorrência da ferrugem do** 686 **cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) no estado do Espírito Santo**

687 Após a estruturação do banco de dados iniciou-se as etapas para a elaboração do
 688 zoneamento da favorabilidade climática para ocorrência da ferrugem (*Hemileia vastatrix*)
 689 no estado do Espírito Santo.

690 A elaboração dos mapas de favorabilidade climática ao desenvolvimento da
 691 ferrugem do cafeeiro foi realizada adaptando-se a metodologia de Moreira et al. (2020).

692 Para isso no software QGIS® foram utilizadas as variáveis de temperatura (°C) e
 693 umidade relativa do ar (mm), que foram obtidas nas etapas anteriores, na estruturação da
 694 base de dados do Terraclimate.

695 Foram empregadas classes de aptidão climática para o desenvolvimento da
 696 ferrugem (*Hemileia vastatrix*) de acordo com Moraes et al. (2011), descritos na Tabela 3,
 697 segundo o autor, estas classes foram definidas com base em dados mensais médios
 698 epidemiológicos do efeito da temperatura média e umidade relativa do ar no
 699 desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro.

700

701 **Tabela 3.** Classes de aptidão climática para o desenvolvimento da ferrugem (*Hemileia*
 702 *vastatrix*) no cafeeiro.

Classes de aptidão	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)
Altamente Apta	21 a 24	82>
Apta	18 a 21 ou 24 a 27	75 a 82
Restringir	15 a 18 ou 27 a 30	70 a 75
Inapta	<15 ou >30	<70

703 Fonte: Moraes et al. (2011)

704

705 Com base nas imagens anuais de temperatura para o estado do Espírito Santo
706 obtidas em etapas anteriores, a função "reclassificação espacial" foi aplicada para definir
707 as classes de aptidão, restrição e inaptidão para o desenvolvimento da ferrugem (*Hemileia*
708 *vastatrix*) no cafeeiro, conforme Tabela 3.

709 A função "reclassificação espacial" foi aplicada nas imagens matrizes da média
710 umidade anual para representar as novas classes favoráveis, favoráveis com restrições e
711 desfavoráveis ao desenvolvimento da ferrugem.

712 De acordo com Moreira et al. (2020) na travessia tabular e na favorabilidade
713 climática, a função "cruzamento tabular" foi aplicada nas imagens matrizes
714 reclassificadas dos índices climáticos (temperatura e umidade) a fim de gerar a
715 favorabilidade climática para ferrugem. E na Vetorização espacial da favorabilidade
716 climática, as imagens matrizes representativas da favorabilidade climática também foram
717 convertidos para o formato de vetor poligonal por meio do "raster para polígono" e, em
718 seguida, a função "dissolução poligonal" também foi aplicada. Obteve-se uma nova
719 imagem vetorial com tabela de atributos contendo as classes de aptidão denominadas
720 favoráveis, favoráveis com restrições e desfavoráveis.

721 Para a umidade relativa do ar (%), foi obtida com as informações gerada pela
722 função "mapemática" (calculadora matricial), utilizando a Equação 1.1 proposta por
723 Tetens (TETENS, 1930), utilizando a temperatura média do ar. Quando o ar está saturado,
724 a pressão exercida pelo vapor d'água é chamada de pressão máxima de vapor d'água (e_s).
725 Para o cálculo da pressão máxima de vapor d'água utilizamos a função "Raster calculator"
726 do ArcGIS® onde inserimos a Equação 1.1,

727

728

729

$$e_s = 0,611 * 10^{[(7,5 * T_{ar}) / (237,3 + T_{ar})]} \quad \text{Equação 1.1}$$

730

Em que: e_s é a pressão máxima de vapor d'água (kpa), e;

731

T_{ar} é a temperatura do ar (°C).

732

733

734

735

736

737

Em seguida utilizamos a função "Raster calculator" do ArcGIS® onde inserimos
a Equação 1.2 para obtenção da umidade relativa. No qual a umidade relativa do ar é a
razão, em porcentagem, entre a quantidade de vapor d'água que o ar contém e a
quantidade máxima que poderia conter à mesma temperatura.

738
$$UR = (e_a/e_s) * 100$$
 Equação 1.2
739

740 Em que: UR é a umidade relativa do ar (%);

741 e_a é a pressão atual de vapor d'água (kpa), e;

742 e_s é a pressão máxima de vapor d'água (kpa).

743

744 Gerando assim a imagem matricial da variável intitulada umidade relativa do ar
745 (%), no aplicativo computacional ArcGIS®, estas foram projetadas por meio da função
746 “Project Raster”. Em seguida, utilizou-se a função “Raster to point” para converter o
747 arquivo matricial em vetorial e interpolá-lo, por meio da função “Interpolation (IDW)”,
748 gerando um arquivo matricial com resolução espacial de 90 m. Em seguida, foram
749 elaborados os mapas de favorabilidade climática ao desenvolvimento da ferrugem do
750 cafeeiro

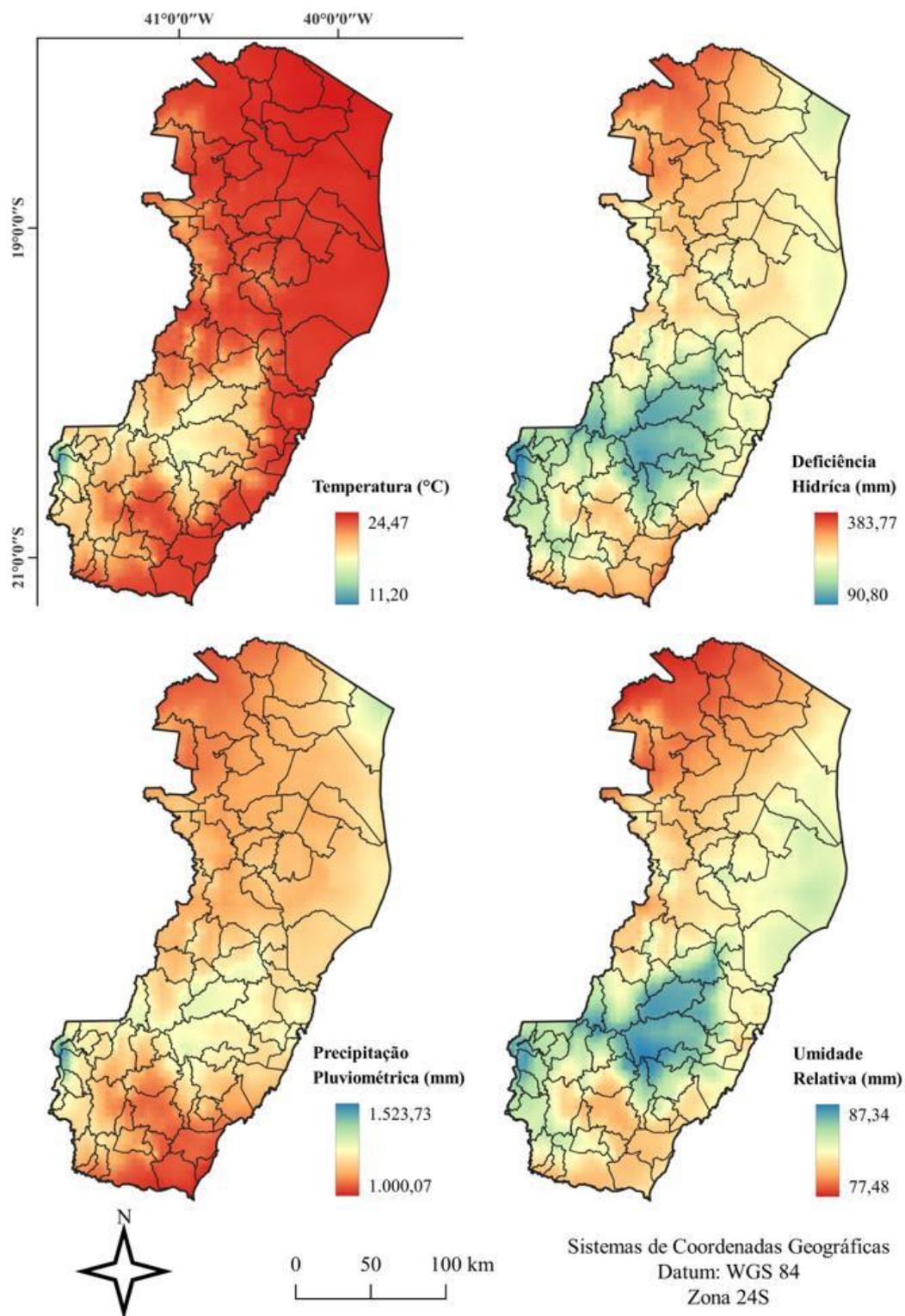
751 Para favorabilidade da ocorrência da ferrugem, também foi realizado o cálculo da
752 área (km²) e a porcentagem (%) das classes de zoneamento para cada um dos municípios
753 do ES, sendo a fórmula do percentual das classes de aptidão climática: Percentual=Área
754 de cada classe*100/∑Área de cada classe.

755

756 **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

757 **5.1 Estruturação de Banco de dados climáticos**

758 Os mapas das variáveis climáticas temperatura média anual (°C), deficiência
759 hídrica anual (mm), precipitação hídrica anual (mm) e umidade relativa do ar média anual
760 (mm) para a elaboração do zoneamento climático para os cafeeiros conilon e arábica no
761 estado do Espírito Santo são apresentados na Figura 3. As menores temperaturas são
762 observadas na região Serrana e Caparaó do estado, onde as altitudes são maiores (Figura
763 3). As maiores temperaturas encontram-se nas regiões norte e litorânea do estado, por ser
764 observado, nestes locais, as menores altitudes (Figura 3).



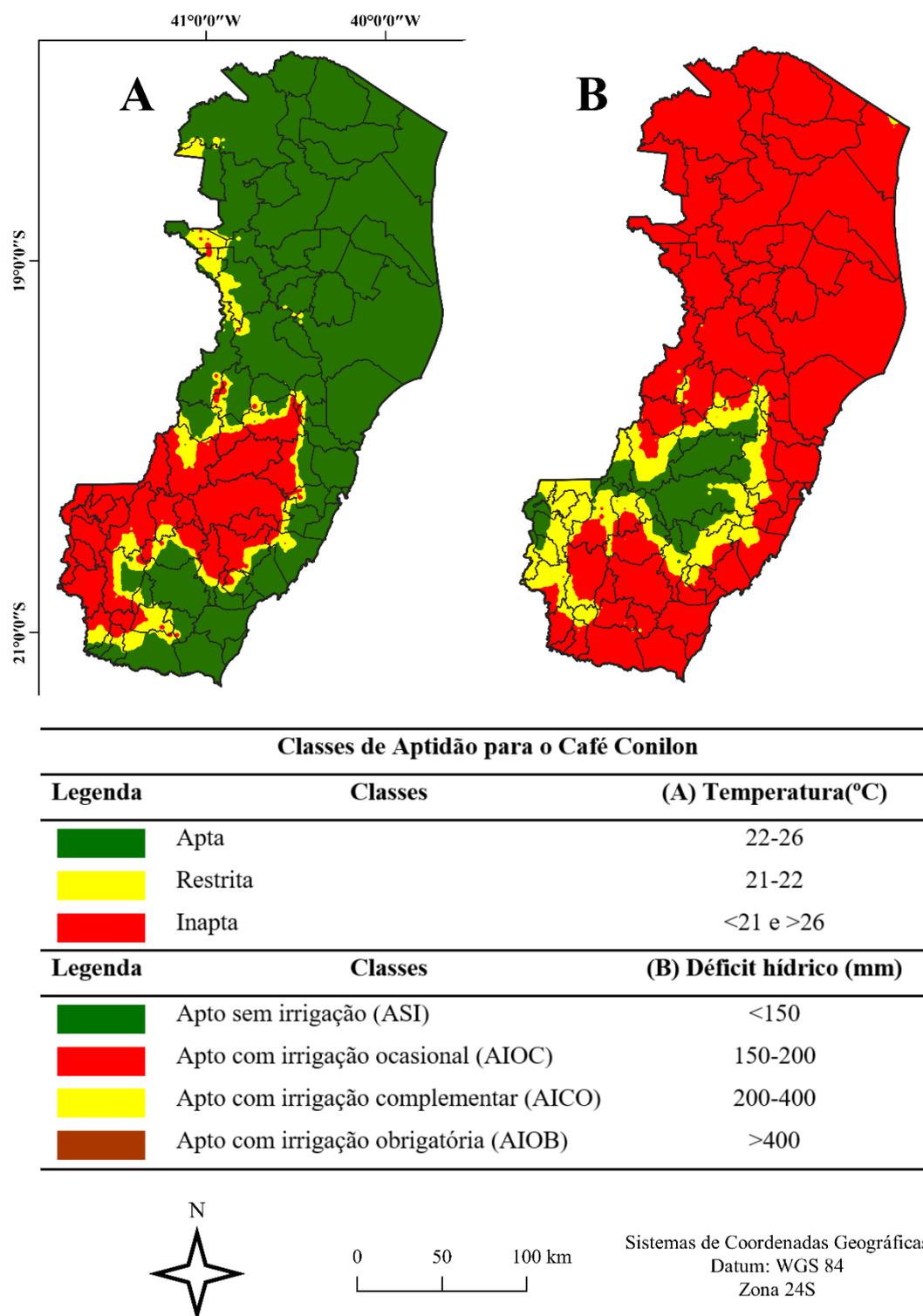
765

766 **Figura 3.** Variáveis climáticas para o estado do Espírito Santo, Brasil. a) Temperatura
767 média anual (°C); b) Deficiência hídrica anual (mm); c) Precipitação hídrica anual (mm)
768 e d) Umidade relativa do ar média anual (mm).

769 Fonte: Elaborado pela autora.

770 **5.2 Zoneamento climático para os cafeeiros conilon (*Coffea canephora* Pierre ex**
771 **Froehner) e arábica (*Coffea arabica* L.) no estado do ESPÍRITO SANTO**

772 As faixas de aptidão climática para a cultura do cafeeiro conilon e arábica são
773 apresentados nas Figuras 4 e 5, respectivamente. O estado do Espírito Santo, apresenta
774 maior área apta quanto a temperatura média anual (°C) e apta com irrigação ocasional
775 (AIOC) para a cultura do cafeeiro conilon (Figura 4). Para o cafeeiro arábica tem se uma
776 menor área apta quanto a temperatura média anual (°C), uma grande área apta com
777 irrigação obrigatória (AIOB). Destaca-se para o cafeeiro arábica a região Serrana e
778 Caparaó com a ocorrência de áreas aptas sem irrigação (ASI), AOIC e áreas aptas com
779 irrigação complementar (AICO) (Figura 5).



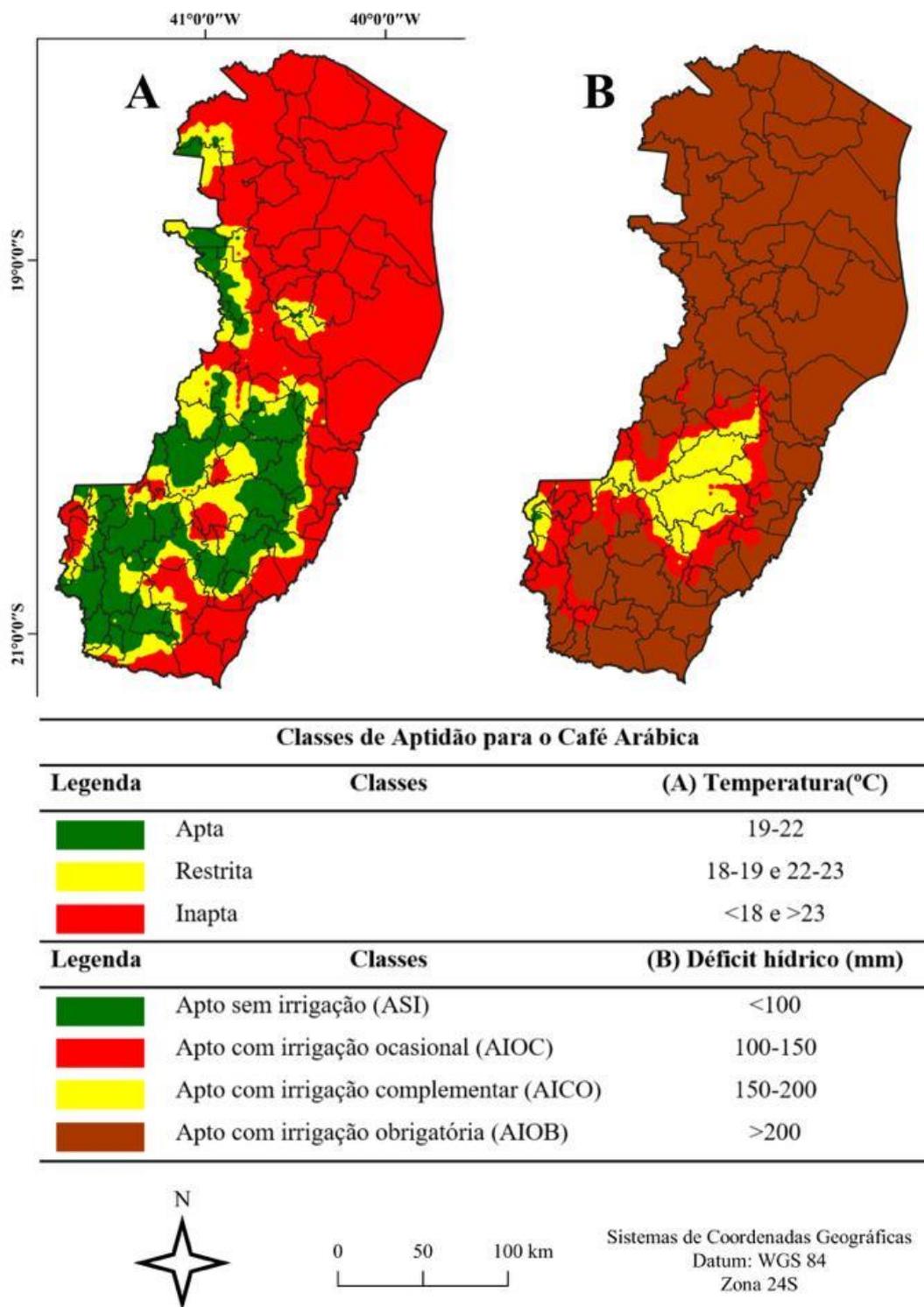
780

781 **Figura 4.** Faixas de aptidão para a cultura do cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre

782 ex Froehner) para o estado do Espírito Santo, Brasil. a) Temperatura média anual (°C); b)

783 Deficiência hídrica anual (mm).

784 Fonte: Elaborado pela autora.



785

786 **Figura 5.** Faixas de aptidão para a cultura do cafeeiro arábica (*Coffea arabica* L) para o
 787 estado do Espírito Santo, Brasil. a) Temperatura média anual (°C); b) Deficiência hídrica
 788 anual (mm).

789 Fonte: Elaborado pela autora.

790

791 O Espírito Santo quanto as faixas de aptidão, apresenta restrição quanto ao déficit
792 hídrico sendo necessário o uso da irrigação em praticamente todo o estado, já quanto a
793 faixa térmica nos locais que apresentam as faixas mais altas de temperatura é apta ao
794 plantio do cafeeiro conilon e os locais com menores temperatura são aptos para o plantio
795 do cafeeiro arábica. O estado de Minas Gerais, maior produtor de café arábica,
796 praticamente, não apresenta restrições ao plantio do cafeeiro devido à deficiência térmica,
797 enquanto que os estados de São Paulo e Paraná, praticamente, não apresentam restrições
798 quanto ao excesso térmico, sendo as limitações ao plantio do cafeeiro arábica devido à
799 deficiência térmica (ASSAD et al., 2004; SEDIYAMA et al., 2001).

800 O zoneamento climático para os cafeeiros conilon e arábica no estado do Espírito
801 Santo é apresentado nas Figuras 6 e 7 e Tabelas 4 e 5, respectivamente. De acordo com
802 os resultados, observou-se que as áreas aptas para o cafeeiro conilon (Figura 6) e arábica
803 (Figura 7) corresponderam, respectivamente, a 66,50 e 21,17 %. As áreas aptas com
804 algum tipo de restrição somaram 8,03% para o cafeeiro conilon e 15,74% para o cafeeiro
805 arábica. Enquanto, as áreas inaptas e impróprias para o cafeeiro conilon (Figura 6) e
806 arábica (Figura 7) corresponderam, respectivamente, a 25,47 e 63,09 %.

807 Entre os 78 municípios do Espírito Santo, 23 municípios possuem mais que 90%
808 de suas áreas apta com Irrigação complementar (AICO) para o cafeeiro conilon (Tabela
809 4). Estes municípios são Águia Branca, Anchieta, Aracruz, Barra de São Francisco, Boa
810 Esperança, Colatina, Ecoporanga, Governador Lindenberg, Jaguaré, Marilândia,
811 Montanha, Mucurici, Nova Venécia, Pedro Canário, Pinheiros, Ponto Belo, Presidente
812 Kennedy, Rio Bananal, São Domingos do Norte, São Gabriel da Palha, São Mateus, Vila
813 Pavão e Vila Valério. As respectivamente porcentagem das áreas são 96,05; 92,05; 96,89;
814 96,87; 98,65; 90,44; 97,05; 95,96; 97,76; 97,46; 99,55; 99,29; 97,83; 98,38; 97,01; 99,08;
815 98,56; 98,28; 99,84; 98,72; 97,25; 99,61 e 99,57%. Com exceção de Presidente Kennedy
816 que fica ao sul, todos os outros municípios ficam ao norte do estado.

817

818

819

820

821

822

823

824 **Tabela 4.** Percentual das classes de aptidão para o cafeeiro conilon referente aos 78
 825 municípios do Estado do Espírito Santo baseado na temperatura atual.

Zoneamento Conilon ES (%)						
Municípios	AIOC	AICO	RTIOC	RTICO	ICT	AI
(Continua)						
Água Doce do Norte	0,00	76,32	0,00	23,04	0,00	0,65
Água Branca	0,00	96,05	0,00	3,57	0,00	0,38
Afonso Cláudio	0,00	0,12	4,79	20,02	74,53	0,54
Alegre	0,00	22,89	0,00	33,15	42,85	1,11
Alfredo Chaves	0,00	12,26	11,90	4,01	71,20	0,63
Alto Rio Novo	0,00	24,24	0,00	67,55	7,60	0,61
Anchieta	0,00	92,05	0,36	1,67	0,00	5,92
Apiacá	0,00	48,95	0,00	22,51	27,87	0,67
Aracruz	0,00	96,89	0,00	0,00	0,00	3,11
Atílio Vivacqua	0,00	76,45	0,00	19,95	2,01	1,59
Baixo Guandú	0,00	83,21	0,00	12,98	2,46	1,35
Barra de São Francisco	0,00	96,87	0,00	2,41	0,00	0,72
Boa Esperança	0,00	98,65	0,00	0,00	0,00	1,35
Bom Jesus do Norte	0,00	75,46	0,00	23,03	0,26	1,26
Brejetuba	0,00	0,00	0,00	0,00	99,83	0,17
Cachoeiro de Itapemirim	0,00	88,00	0,00	4,57	1,10	6,33
Cariacica	4,79	29,10	8,59	0,00	7,38	50,14
Castelo	0,00	33,78	0,00	21,28	43,74	1,20
Colatina	0,17	90,44	0,06	3,85	0,26	5,22
Conceição da Barra	1,56	84,52	0,00	0,00	0,00	13,92
Conceição do Castelo	0,00	0,10	0,00	20,46	78,77	0,67
Divino de São Lourenço	0,00	0,00	0,00	0,00	86,25	13,75
Domingos Martins	0,20	0,13	2,51	0,00	95,82	1,34
Dores do Rio Preto	0,00	0,00	0,00	0,00	85,66	14,34
Ecoporanga	0,00	97,05	0,00	2,52	0,00	0,42
Fundão	0,00	85,24	0,48	0,00	1,57	12,70
Governador Lindenberg	0,00	95,96	0,00	3,55	0,00	0,49
Guaçuí	0,00	0,00	0,00	0,00	99,18	0,82
Guarapari	2,25	29,54	17,32	0,27	6,98	43,63
Iúna	0,00	0,00	0,00	0,00	87,56	12,44
Ibatiba	0,00	0,00	0,00	0,00	98,93	1,07
Ibiraçu	0,25	77,18	12,17	0,05	7,24	3,10
Ibitirama	0,00	0,00	0,00	0,00	72,31	27,69
Iconha	0,00	48,67	15,05	17,71	17,30	1,27
Irupi	0,00	0,00	0,00	0,00	97,23	2,77
Itaguaçu	0,00	71,81	3,83	16,38	7,51	0,47
Itapemirim	0,00	88,02	0,00	0,00	0,00	11,98
Itarana	0,00	13,23	9,23	14,75	62,45	0,34
Jaguaré	0,00	97,76	0,00	0,00	0,00	2,24
Jerônimo Monteiro	0,00	58,52	0,00	26,96	13,11	1,41

AIOC = Apta com Irrigação Ocasional; AICO = Apta com Irrigação Complementar; RTIOC = Restrição Térmica com Irrigação Ocasional; RTICO = Restrição Térmica com Irrigação Complementar; ICT=Inapta por Carência Térmica; AI = Áreas impróprias.

Zoneamento_Conilon_ES (%)						
Municípios	AIOC	AICO	RTIOC	RTICO	ICT	AI (Conclusão)
Joao Neiva	1,16	80,50	11,27	0,00	5,37	1,69
Laranja da Terra	0,00	62,18	3,67	30,98	2,95	0,22
Linhares	0,00	84,56	0,00	0,40	0,00	15,04
Mantenópolis	0,00	36,21	0,00	57,19	5,63	0,97
Marataízes	0,00	89,02	0,00	0,00	0,00	10,98
Marechal Floriano	0,00	0,00	0,00	0,00	99,56	0,44
Marilândia	0,00	97,46	0,06	0,00	0,00	2,48
Mimoso do Sul	0,00	64,20	19,56	0,00	15,25	1,00
Montanha	0,00	99,55	0,00	0,00	0,00	0,45
Mucurici	0,00	99,29	0,00	0,00	0,00	0,71
Muniz Freire	0,00	0,00	17,42	0,00	82,06	0,51
Muqui	0,00	7,08	69,47	0,00	22,29	1,17
Nova Venécia	0,00	97,83	0,00	0,00	0,00	2,17
Pancas	0,00	70,30	29,07	0,00	0,11	0,51
Pedro Canário	0,00	98,38	0,00	0,00	0,00	1,62
Piúma	0,00	82,52	0,00	0,00	0,00	17,48
Pinheiros	0,00	97,01	0,00	0,00	0,00	2,99
Ponto Belo	0,00	99,08	0,00	0,00	0,00	0,92
Presidente Kennedy	0,00	98,56	0,00	0,00	0,00	1,44
Rio Bananal	0,00	98,28	0,00	0,00	0,00	1,72
Rio Novo do Sul	0,00	75,60	3,05	4,90	14,69	1,75
Santa Leopoldina	3,93	29,47	12,41	0,00	53,93	0,25
Santa Maria de Jetibá	0,00	0,00	0,00	0,00	99,41	0,59
Santa Teresa	1,73	13,63	25,37	0,91	51,27	7,09
São Domingos do Norte	0,00	99,84	0,00	0,00	0,00	0,16
São Gabriel da Palha	0,00	98,72	0,00	0,00	0,00	1,28
São José do Calçado	0,00	11,72	35,79	0,00	51,84	0,65
São Mateus	0,00	97,25	0,00	0,00	0,00	2,75
São Roque do Canaã	0,00	79,07	13,67	3,36	2,24	1,17
Serra	0,00	62,70	0,00	0,00	0,00	37,30
Sooretama	0,00	61,69	0,00	0,00	0,00	38,31
Vargem Alta	0,00	14,10	1,72	14,22	68,84	1,13
Venda Nova do Imigrante	0,00	0,00	0,00	0,00	98,27	1,73
Viana	8,64	63,82	19,53	0,00	5,21	2,80
Vila Pavão	0,00	99,61	0,00	0,00	0,00	0,39
Vila Valério	0,00	99,57	0,00	0,00	0,00	0,43
Vila Velha	0,00	46,17	0,00	0,00	0,00	53,83
Vitória	0,00	16,64	0,00	0,00	0,00	83,36

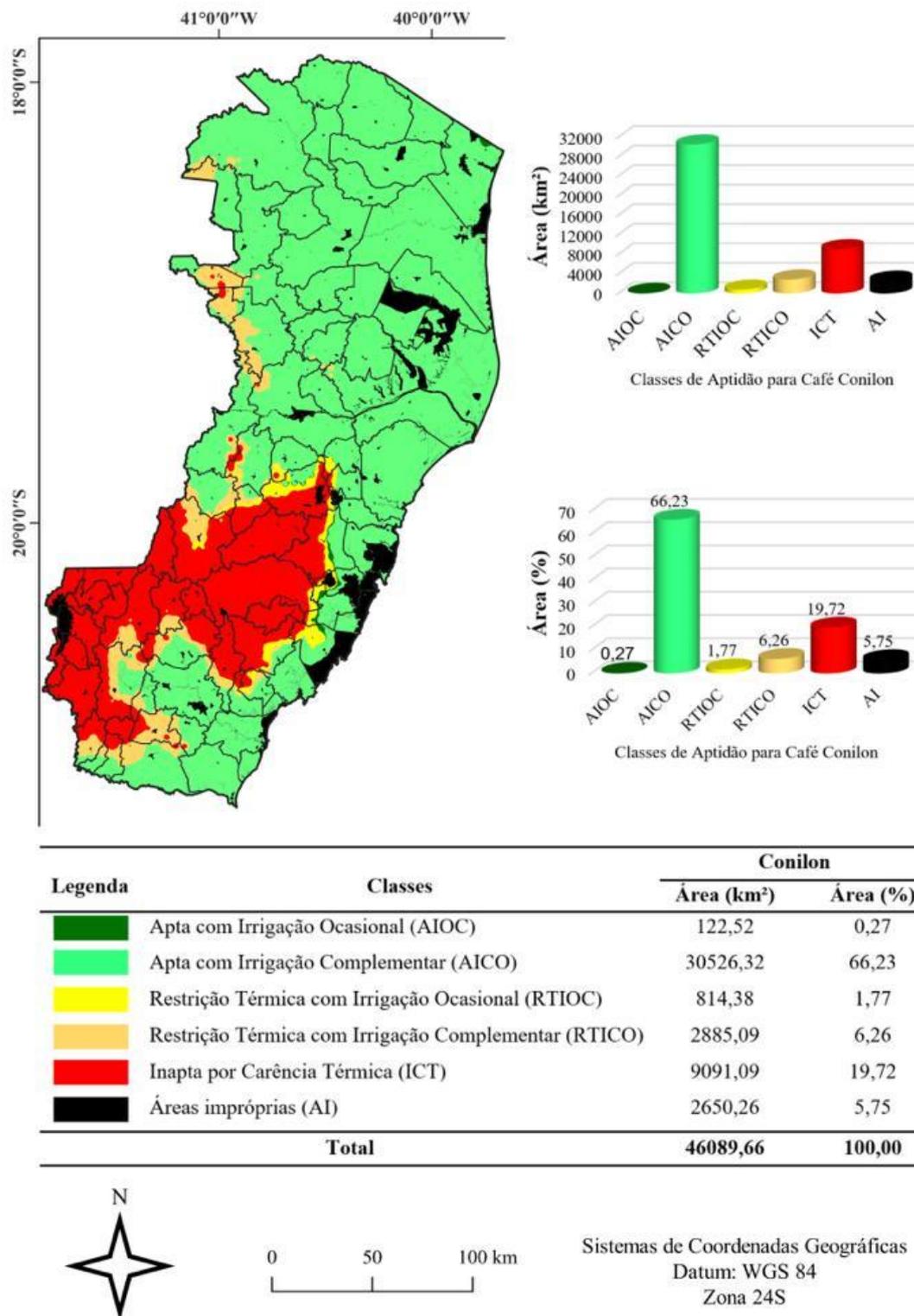
826 AIOC = Apta com Irrigação Ocasional; AICO = Apta com Irrigação Complementar; RTIOC = Restrição
827 Térmica com Irrigação Ocasional; RTICO = Restrição Térmica com Irrigação Complementar; ICT=Inapta
828 por Carência Térmica; AI = Áreas impróprias.

829 Fonte: Elaborado pela autora.

830

831

832



833

834 **Figura 6.** Zoneamento climático para o cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre ex
835 Froehner) no estado do Espírito Santo.

836 Fonte: Elaborado pela autora.

837

838 Para o cafeeiro arábica dos 78 municípios do Espírito Santo, apenas 5 municípios
 839 possuem mais que 20% de suas áreas apta com irrigação ocasional (AIOC), sendo eles
 840 Domingos Martins, Marechal Floriano, Santa Leopoldina, Santa Maria de Jetibá, Santa
 841 Teresa (Tabela 5). Suas áreas respectivamente são 24,90; 38,83; 29,66; 38,61 e 25,78%.
 842 Nenhum município possui mais que 90% de suas áreas apta com Irrigação complementar
 843 (AICO) (Tabela 5). Os municípios que apresentam área apta com Irrigação complementar
 844 (AICO) entre 20,28 e 64,01% são Afonso Cláudio, Alegre, Alfredo Chaves, Brejetuba,
 845 Conceição do Castelo, Divino São Lourenço, Dolores do Rio Preto, Guaçuí, Guarapari,
 846 Iúna, Ibatiba, Ibitirama, Iconha, Irupi, Itarana, Marechal Floriano, Muniz Freire, Santa
 847 Leopoldina, Santa Teresa, São José do Calçado, Vargem Alta, Venda Nova do Imigrante
 848 e Viana (Tabela 5).

849

850 **Tabela 5.** Percentual das classes de aptidão para o cafeeiro Arábica referente aos 78
 851 municípios do Estado do Espírito Santo baseado na temperatura atual.

Zoneamento_Arábica_ES (%)								
Municípios	AIOC	AICO	AIOB	RTIOC	RTICO	RTIOB	ICT	AI
Água Doce do Norte	0,00	0,00	23,04	0,00	0,00	41,02	35,29	0,65
Águia Branca	0,00	0,00	3,57	0,00	0,00	29,00	67,04	0,38
Afonso Cláudio	4,49	51,21	20,39	21,25	0,05	0,12	1,94	0,54
Alegre	0,00	20,53	55,47	0,00	0,00	22,62	0,28	1,11
Alfredo Chaves	5,99	56,34	4,01	13,82	0,00	10,87	8,34	0,63
Alto Rio Novo	0,00	0,00	75,15	0,00	0,00	24,24	0,00	0,61
Anchieta	0,00	0,36	1,67	0,00	0,00	8,97	83,08	5,92
Apiacá	0,00	12,48	37,89	0,00	0,00	28,79	20,17	0,09
Aracruz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	96,89	3,11
Atílio Vivacqua	0,00	1,37	20,59	0,00	0,00	31,05	45,83	1,59
Baixo Guandú	0,00	2,08	13,36	0,00	0,00	54,83	28,39	1,35
Barra de São Francisco	0,00	0,00	2,41	0,00	0,00	14,29	82,58	0,72
Boa Esperança	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,65	1,35
Bom Jesus do Norte	0,00	0,00	23,29	0,00	0,00	69,64	5,82	1,26
Brejetuba	1,08	39,06	0,00	34,61	0,01	0,00	25,06	0,17

AIOC = Apta com Irrigação Ocasional; AICO = Apta com Irrigação Complementar; AIOB = Apta com Irrigação Obrigatória; RTIOC = Restrição Térmica com Irrigação Ocasional; RTICO = Restrição Térmica com Irrigação Complementar; RTIOB = Restrição Térmica com Irrigação Obrigatória; ICT = Inapta por Carência Térmica; AI = Áreas impróprias.

Zoneamento_Arábica_ES (%)								
Municípios	AIOC	AICO	AIOB	RTIOC	RTICO	RTIOB	ICT	AI
(Continua)								
Cachoeiro de Itapemirim	0,00	0,51	5,16	0,00	0,00	35,47	52,53	6,33
Cariacica	0,00	15,97	0,00	0,00	4,79	14,84	14,26	50,14
Castelo	0,00	18,71	30,17	4,13	3,30	20,43	22,07	1,20
Colatina	0,00	0,18	3,99	0,00	0,17	16,27	74,17	5,22
Conceição da Barra	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	86,08	13,92
Conceição do Castelo	0,00	34,27	35,29	9,40	12,75	0,10	7,53	0,67
Divino de São Lourenço	0,00	35,92	0,00	0,00	33,76	0,00	16,57	13,75
Domingos Martins	24,90	16,88	0,00	37,76	0,20	0,13	18,79	1,34
Dores do Rio Preto	0,00	23,43	0,55	0,00	41,90	0,00	19,78	14,34
Ecoporanga	0,00	0,00	2,52	0,00	0,00	13,17	83,88	0,42
Fundão	0,00	2,05	0,00	0,00	0,00	1,57	83,67	12,70
Governador Lindenberg	0,00	0,00	3,55	0,00	0,00	28,38	67,58	0,49
Guaçuí	0,00	64,01	28,50	0,00	6,67	0,00	0,00	0,82
Guarapari	0,00	24,31	0,27	0,00	2,25	18,55	10,99	43,63
Iúna	0,00	56,92	0,18	2,18	8,94	0,00	19,34	12,44
Ibatiba	0,00	57,04	0,00	8,45	21,87	0,00	11,57	1,07
Ibiraçu	0,00	19,42	0,05	0,00	0,25	32,14	45,04	3,10
Ibitirama	0,00	39,62	0,38	0,00	19,19	0,00	13,12	27,69
Iconha	0,00	32,35	17,71	0,00	0,00	23,86	24,81	1,27
Irupi	0,00	59,14	0,00	0,00	30,39	0,00	7,70	2,77
Itaguaçu	0,00	11,29	16,44	0,00	0,00	50,01	21,80	0,47
Itapemirim	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	88,02	11,98
Itarana	16,31	38,57	14,75	16,81	0,00	13,15	0,08	0,34
Jaguaré	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	97,76	2,24
Jerônimo Monteiro	0,00	3,62	36,45	0,00	0,00	46,28	12,23	1,41
João Neiva	0,26	16,39	0,00	0,00	1,16	37,25	51,89	1,69
Laranja da Terra	0,00	6,62	30,98	0,00	0,00	62,18	0,00	0,22
Linhares	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	4,02	80,55	15,04
Mantenópolis	0,00	0,00	62,82	0,00	0,00	36,04	0,17	0,97
Marataízes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	89,02	10,98
Marechal Floriano	36,83	38,14	0,00	24,60	0,00	0,00	0,00	0,44
Marilândia	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	28,26	69,20	2,48

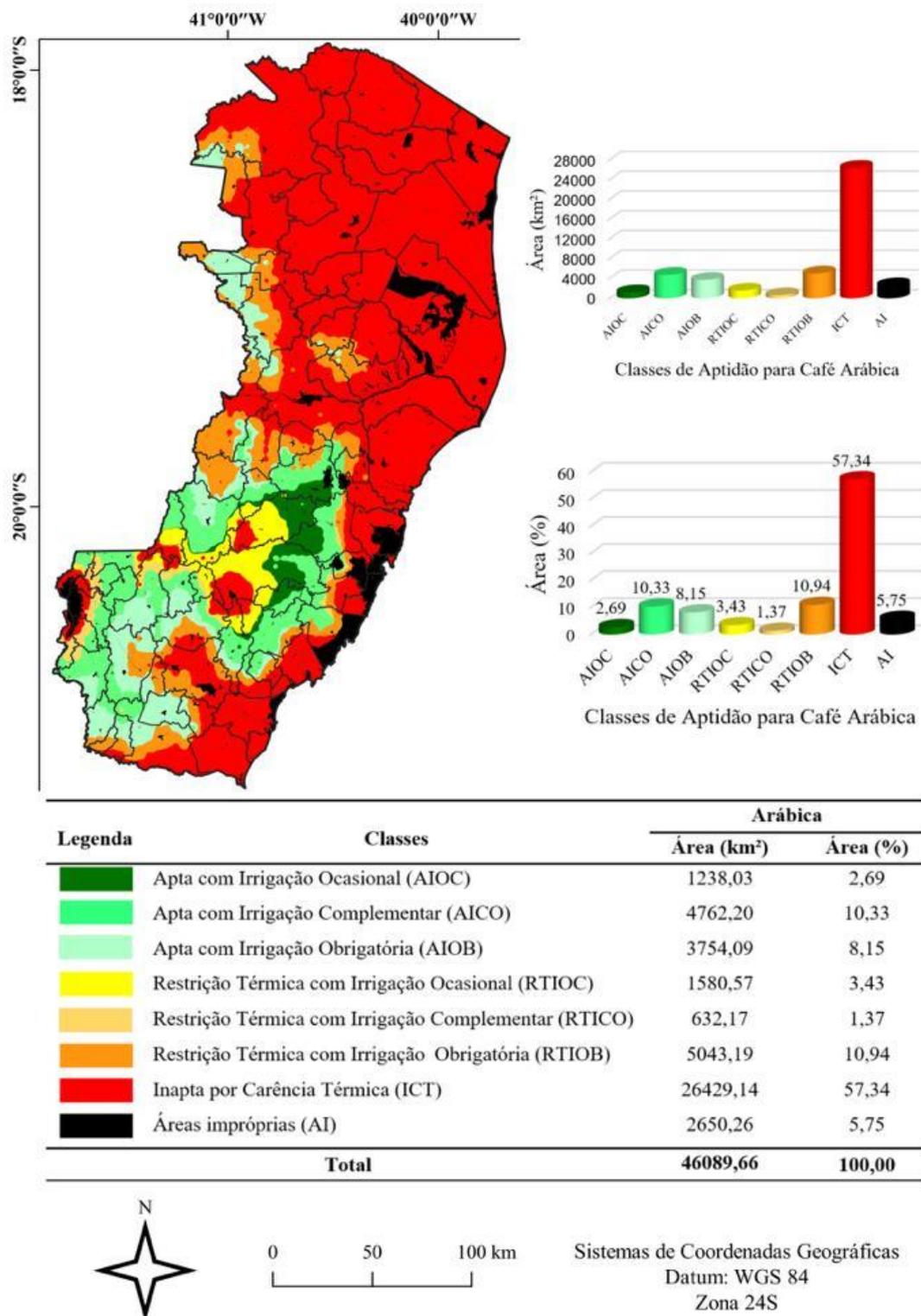
AIOC = Apta com Irrigação Ocasional; AICO = Apta com Irrigação Complementar; AIOB = Apta com Irrigação Obrigatória; RTIOC = Restrição Térmica com Irrigação Ocasional; RTICO = Restrição Térmica com Irrigação Complementar; RTIOB = Restrição Térmica com Irrigação Obrigatória; ICT = Inapta por Carência Térmica; AI = Áreas impróprias.

Zoneamento_Arábica_ES (%)								
Municípios	AIOC	AICO	AIOB	RTIOC	RTICO	RTIOB	ICT	AI
							(Conclusão)	
Mimoso do Sul	0,00	12,84	21,64	0,00	0,34	27,15	37,04	1,00
Montanha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,55	0,45
Mucurici	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,29	0,71
Muniz Freire	0,00	35,30	43,69	6,26	8,97	0,00	5,27	0,51
Muqui	0,00	2,23	89,52	0,00	0,00	7,08	0,00	1,17
Nova Venécia	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	97,83	2,17
Pancas	0,00	0,00	29,19	0,00	0,00	35,57	34,73	0,51
Pedro Canário	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,38	1,62
Piúma	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	82,52	17,48
Pinheiros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	97,01	2,99
Ponto Belo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,08	0,92
Presidente Kennedy	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,83	97,73	1,44
Rio Bananal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,04	92,24	1,72
Rio Novo do Sul	0,00	17,75	4,90	0,00	0,00	17,63	57,97	1,75
Santa Leopoldina	29,66	36,65	0,00	0,02	3,93	10,85	18,62	0,25
Santa Maria de Jetibá	38,61	0,52	0,00	45,06	0,00	0,00	15,22	0,59
Santa Teresa	25,78	50,59	0,91	0,28	1,73	13,57	0,06	7,09
São Domingos do Norte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,31	98,53	0,16
São Gabriel da Palha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,72	1,28
São José do Calçado	0,00	20,28	67,30	0,00	0,06	11,72	0,00	0,65
São Mateus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	97,25	2,75
São Roque do Canaã	0,00	15,91	3,36	0,00	0,48	41,93	37,15	1,17
Serra	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	62,70	37,30
Sooretama	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	61,69	38,31
Vargem Alta	5,24	42,37	14,33	13,23	0,09	8,47	15,15	1,13
Venda Nova do Imigrante	0,00	27,79	0,75	35,20	13,36	0,00	21,16	1,73
Viana	0,00	24,74	0,00	0,00	8,64	20,72	43,10	2,80
Vila Pavão	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,61	0,39
Vila Valério	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,57	0,43
Vila Velha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46,17	53,83
Vitória	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,64	83,36

852 AIOC = Apta com Irrigação Ocasional; AICO = Apta com Irrigação Complementar; AIOB = Apta com
853 Irrigação Obrigatória; RTIOC = Restrição Térmica com Irrigação Ocasional; RTICO = Restrição Térmica
854 com Irrigação Complementar; RTIOB = Restrição Térmica com Irrigação Obrigatória; ICT = Inapta por
855 Carência Térmica; AI = Áreas impróprias.

856 Fonte: Elaborado pela autora.

857



858

859 **Figura 7.** Zoneamento climático para o cafeeiro arábica (*Coffea arabica* L.) no estado do
860 Espírito Santo.

861 Fonte: Elaborado pela autora.

862

863 O cafeeiro é uma planta de clima tropical úmido. No caso das duas espécies *C.*
864 *canephora* e *C. arabica* existem algumas particularidades quanto as condições climáticas
865 necessárias para o desenvolvimento.

866 Para a espécie *C. canephora* as condições ideais para o desenvolvimento são
867 temperatura médias anuais na faixa de 22 a 26 °C, altitude abaixo de 500 m, precipitações
868 pluviométricas acima de 1.000 mm e déficit hídrico anual menor que 150 mm em áreas
869 sem irrigação, de 150 a 200 mm em áreas com irrigação ocasional e de 200 a 400 mm em
870 áreas com irrigação complementar, as condições fora dessas faixas são consideradas
871 inaptas (PEZZOPANE et al., 2012; SANTOS et al., 2016). A maior taxa de crescimento
872 vegetativo ocorre quando a média da temperatura mínima do ar é superior a 17°C e a
873 média das temperaturas máximas inferior a 31,5°C, abaixo de 17°C a taxa de crescimento
874 dos ramos diminuiu (PARTELLI et al., 2010).

875 As condições climáticas ideais para o desenvolvimento da espécie *C. arabica* são
876 temperatura médias anuais na faixa de 19 a 22 °C, altitude acima de 500 m, precipitações
877 pluviométricas acima de 1.200 mm e déficit hídrico anual menor que 100 mm em áreas
878 sem irrigação, de 100 a 150 mm em áreas com irrigação ocasional e de 150 a 200 mm
879 com irrigação complementar, as condições fora dessas faixas são consideradas inaptas
880 (PEZZOPANE et al., 2012; SANTOS et al., 2016; SANTOS et al., 2022 TOMAZ et al.,
881 2012). O declínio inicial no crescimento vegetativo do cafeeiro arábica está associado a
882 temperaturas em torno de 14°C (AMARAL et al., 2006).

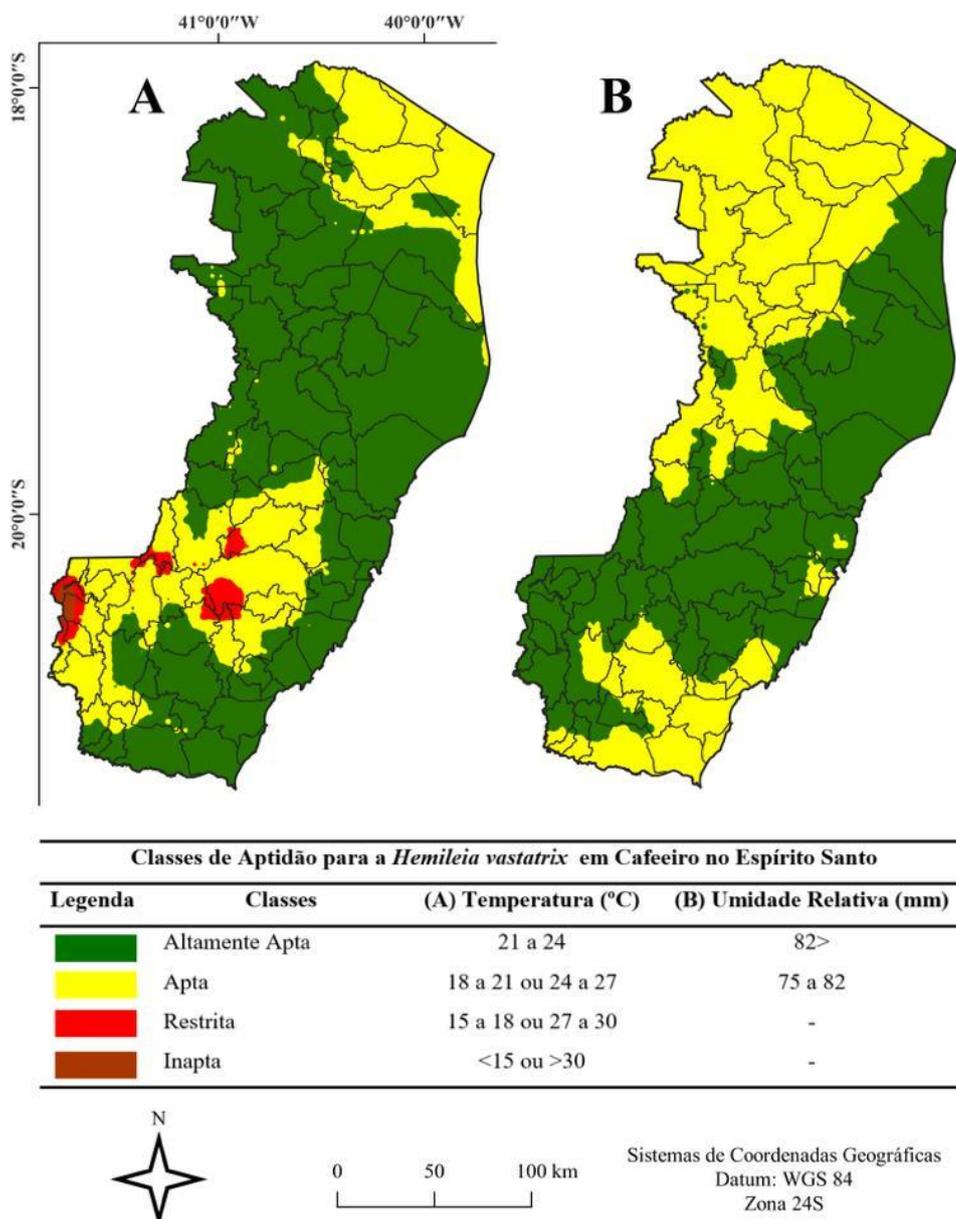
883 As áreas consideradas aptas para o plantio de cafeeiro conilon, situam-se
884 principalmente em regiões caracterizado por altitudes menores em grande parte do estado,
885 principalmente região norte (Figura 6 e Tabela 4). Enquanto que as áreas aptas para o
886 cafeeiro arábica são caracterizadas por altitudes elevadas principalmente na região Sul
887 (Caparaó) e Serrana (Figura 7 e Tabela 5). Isso explica a localização dos principais
888 municípios produtores de café conilon e arábica no estado.

889 Com avanço das técnicas de irrigação, melhoramento, biotecnologia dentre outras,
890 bem como o impacto das mudanças climáticas globais, vale ressaltar que áreas hoje
891 consideradas inaptas e/ou restritas podem ser tornar aptas ou o contrário. De toda forma,
892 o uso de ferramentas que permitem o zoneamento climático possibilita aos produtores,
893 empresas e setor público capacidade de planejamento para utilizar o máximo do potencial
894 de cada área.

895

896 **5.3 Zoneamento da favorabilidade climática para ocorrência da ferrugem do**
 897 **cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) no estado do Espírito Santo**

898 Os mapas das faixas de aptidão das variáveis climáticas temperatura média anual
 899 (°C) e umidade relativa do ar média anual (mm) para a elaboração do zoneamento de
 900 favorabilidade climática para ocorrência da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) no
 901 estado do Espírito Santo são apresentados na Figura 8.



902

903 **Figura 8.** Faixas de aptidão das variáveis climáticas para a elaboração do zoneamento de
 904 favorabilidade climática para ocorrência da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) no
 905 estado do Espírito Santo. a) Temperatura média anual (°C); b) umidade relativa do ar
 906 média anual (mm).

907 Fonte: Elaborado pela autora

908

909 O zoneamento da favorabilidade climática para ocorrência da ferrugem (*Hemileia*
 910 *vastatrix*) no estado do Espírito Santo é apresentado na Figura 9 e Tabela 6. De acordo
 911 com os resultados, observou-se que a área Muito Favorável (MF) corresponde a 26,04%
 912 do estado, a área favorável, considerando favorável (F), favorável por temperatura (FT) e
 913 favorável por umidade (FU) somam 66,18%, já a área desfavorável por temperatura (DT)
 914 0,03% e área imprópria (AI) 5,78%. Desta forma, o estado do ES possui 92,22% do seu
 915 território com favorabilidade climática para ocorrência da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia*
 916 *vastatrix*) (Figura 9 e Tabela 6).

917 Os maiores produtores de café arábica são os municípios de Brejetuba, Iúna,
 918 Vargem Alta, Ibatiba, Muniz Freire, Irupi, Afonso Claudio, Domingos Martins, Ibitirama,
 919 Castelo, Mimoso do Sul, Santa Teresa e de café conilon são Rio Bananal, Vila Valério,
 920 Jaguaré, Vila Valério, Nova Venécia, Sooretama, Linhares, Rio Bananal, São Mateus,
 921 Pinheiros, Governador Lindenberg, Boa Esperança, Vila Pavão, São Gabriel da Palha,
 922 Colatina e Marilândia. Esses possuem as maiores áreas de favorabilidade a ferrugem
 923 (Tabela 6).

924

925 **Tabela 6.** Percentual das classes de aptidão da favorabilidade para a ocorrência da
 926 ferrugem (*Hemileia vastatrix*), referente aos 78 municípios do Estado do Espírito Santo.

Favorabilidade para a ocorrência da ferrugem (<i>Hemileia vastatrix</i>) no ES (%)							
Municípios	MF	F	FT	FU	PFT	DT	AI
Água Doce do Norte	0,00	0,00	0,00	99,35	0,00	0,00	0,65
Águia Branca	0,00	0,00	0,00	99,62	0,00	0,00	0,38
Afonso Cláudio	24,89	0,00	72,59	0,04	1,94	0,00	0,54
Alegre	15,06	0,00	42,85	40,98	0,00	0,00	1,11
Alfredo Chaves	27,40	0,00	64,26	0,78	6,94	0,00	0,63
Alto Rio Novo	2,13	4,44	3,18	89,64	0,00	0,00	0,61
Anchieta	15,51	0,00	0,00	78,57	0,00	0,00	5,92
Apiacá	12,02	0,00	27,89	59,42	0,00	0,00	0,67
Aracruz	96,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,11
Atílio Vivacqua	14,25	0,00	2,01	82,15	0,00	0,00	1,59
Baixo Guandú	10,21	0,11	2,46	85,87	0,00	0,00	1,35
Barra de São Francisco	0,00	0,00	0,00	99,28	0,00	0,00	0,72
Boa Esperança	0,00	80,98	0,00	17,68	0,00	0,00	1,35
Bom Jesus do Norte	12,08	0,00	0,26	86,40	0,00	0,00	1,26
Brejetuba	0,00	0,00	74,78	0,00	25,06	0,00	0,17

MF=Muito favorável; F=Favorável; FT=Favorável por temperatura; FU=Favorável por umidade;
 PFT=Pouco favorável por temperatura; DT=Desfavorável por temperatura; AI=Áreas impróprias.

Favorabilidade para a ocorrência da ferrugem (<i>Hemileia vastatrix</i>) no ES (%)							
Municípios	MF	F	FT	FU	PFT	DT	AI
(Continua)							
Cachoeiro de Itapemirim	4,63	0,00	1,10	87,94	0,00	0,00	6,33
Cariacica	37,25	0,00	7,38	5,23	0,00	0,00	50,14
Castelo	20,03	0,00	35,02	35,03	8,72	0,00	1,20
Colatina	22,20	0,00	0,26	72,32	0,00	0,00	5,22
Conceição da Barra	6,99	40,11	38,55	0,41	0,00	0,00	13,93
Conceição do Castelo	19,37	0,00	71,24	1,18	7,53	0,00	0,67
Divino de São Lourenço	0,00	0,00	69,67	0,00	16,57	0,00	13,75
Domingos Martins	2,84	0,00	77,03	0,00	18,79	0,00	1,34
Dores do Rio Preto	0,00	0,00	65,85	0,00	17,11	2,63	14,40
Ecoporanga	0,00	2,30	0,00	97,28	0,00	0,00	0,42
Fundão	85,72	0,00	1,57	0,00	0,00	0,00	12,71
Governador Lindenberg	45,41	0,00	0,00	54,09	0,00	0,00	0,49
Guaçuí	0,00	0,00	99,18	0,00	0,00	0,00	0,82
Guarapari	45,24	0,00	6,99	4,13	0,00	0,00	43,64
Iúna	0,00	0,00	68,24	0,00	17,82	1,48	12,46
Ibatiba	0,00	0,00	87,35	0,00	11,58	0,00	1,07
Ibiraçu	89,65	0,00	7,24	0,00	0,00	0,00	3,10
Ibitirama	0,00	0,00	59,19	0,00	12,59	0,52	27,69
Iconha	50,28	0,00	17,30	31,15	0,00	0,00	1,27
Irupi	0,00	0,00	89,53	0,00	7,65	0,04	2,77
Itaguaçu	36,74	0,00	7,51	55,28	0,00	0,00	0,47
Itapemirim	0,00	0,00	0,00	88,02	0,00	0,00	11,98
Itarana	35,10	0,00	62,45	2,10	0,00	0,00	0,34
Jaguaré	91,38	0,00	1,59	4,78	0,00	0,00	2,24
Jerônimo Monteiro	7,78	0,00	13,11	77,70	0,00	0,00	1,41
João Neiva	92,09	0,00	5,37	0,84	0,00	0,00	1,69
Laranja da Terra	40,41	0,00	2,95	56,43	0,00	0,00	0,22
Linhares	83,79	0,00	1,17	0,00	0,00	0,00	15,04
Mantenópolis	0,00	5,12	0,53	93,38	0,00	0,00	0,97
Marataízes	0,00	0,00	0,00	89,00	0,00	0,00	11,00
Marechal Floriano	0,00	0,00	99,56	0,00	0,00	0,00	0,44
Marilândia	74,67	0,00	0,00	22,85	0,00	0,00	2,48
Mimoso do Sul	14,99	0,00	15,26	68,75	0,00	0,00	1,00
Montanha	0,00	94,98	0,00	4,57	0,00	0,00	0,45
Mucurici	0,00	37,62	0,00	61,67	0,00	0,00	0,71
Muniz Freire	10,87	0,00	76,79	6,56	5,27	0,00	0,51
Muqui	51,17	0,00	22,29	25,38	0,00	0,00	1,17
Nova Venécia	0,00	5,77	0,00	92,06	0,00	0,00	2,17
Pancas	10,05	0,00	0,11	89,32	0,00	0,00	0,51
Pedro Canário	0,00	98,37	0,00	0,00	0,00	0,00	1,63
Piúma	0,00	0,00	0,00	82,50	0,00	0,00	17,50
Pinheiros	0,00	86,09	0,00	10,92	0,00	0,00	2,99
Ponto Belo	0,00	38,07	0,00	61,01	0,00	0,00	0,92
Presidente Kennedy	0,00	0,00	0,00	98,56	0,00	0,00	1,44
Rio Bananal	84,02	0,00	0,00	14,26	0,00	0,00	1,72

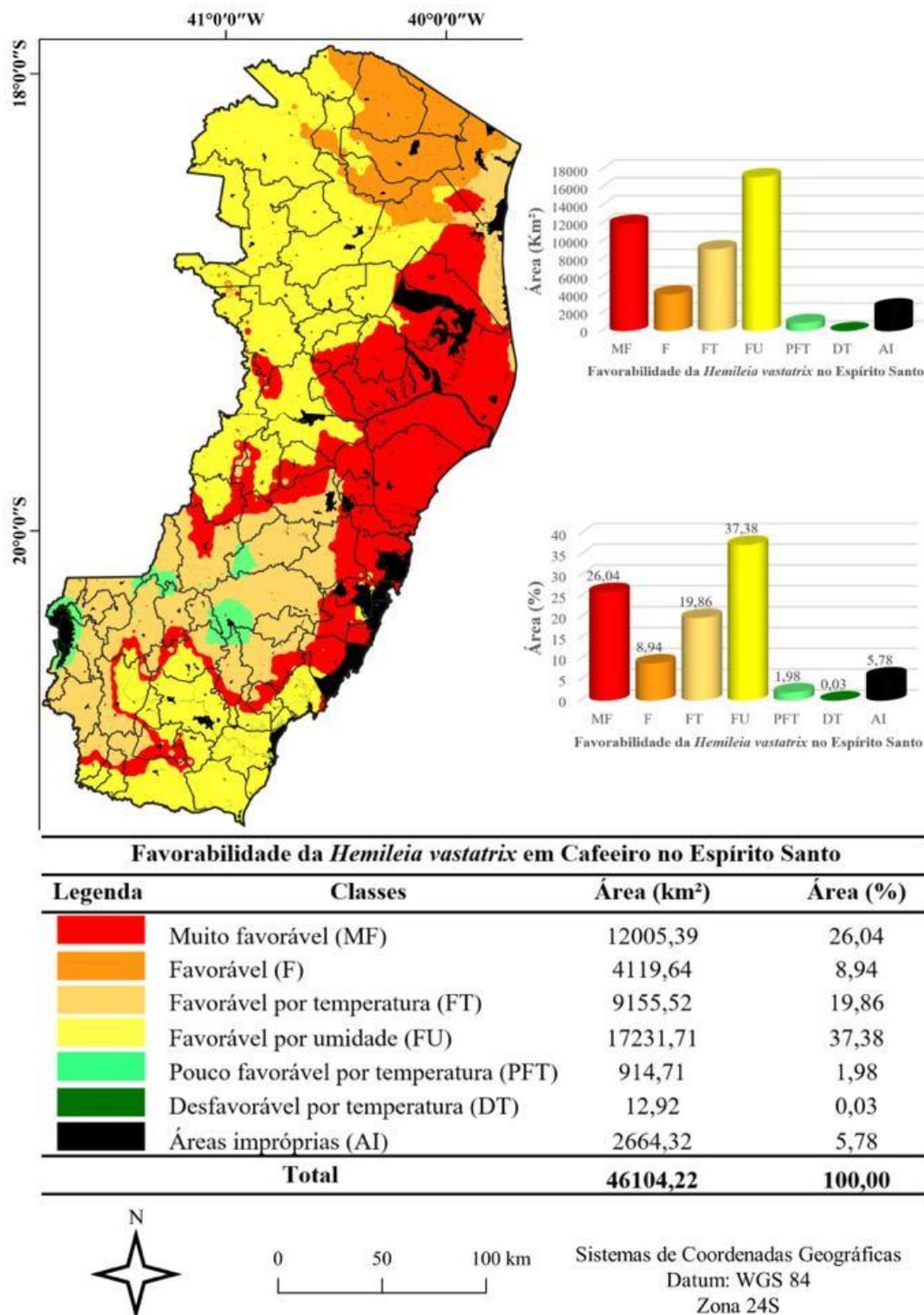
MF=Muito favorável; F=Favorável; FT=Favorável por temperatura; FU=Favorável por umidade; PFT=Pouco favorável por temperatura; DT=Desfavorável por temperatura; AI=Áreas impróprias.

Favorabilidade para a ocorrência da ferrugem (<i>Hemileia vastatrix</i>) no ES (%)							
Municípios	MF	F	FT	FU	PFT	DT	AI
							(Conclusão)
Rio Novo do Sul	14,61	0,00	14,69	68,95	0,00	0,00	1,75
Santa Leopoldina	45,51	0,00	53,93	0,30	0,00	0,00	0,25
Santa Maria de Jetibá	0,00	0,00	84,19	0,00	15,22	0,00	0,59
Santa Teresa	41,64	0,00	51,27	0,00	0,00	0,00	7,09
São Domingos do Norte	1,00	0,00	0,00	98,84	0,00	0,00	0,16
São Gabriel da Palha	0,00	0,00	0,00	98,72	0,00	0,00	1,28
São José do Calçado	20,50	0,00	51,87	26,99	0,00	0,00	0,65
São Mateus	25,94	20,65	21,72	28,94	0,00	0,00	2,75
São Roque do Canaã	55,67	0,00	2,24	40,92	0,00	0,00	1,17
Serra	61,72	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	37,30
Sooretama	51,38	0,00	0,00	10,32	0,00	0,00	38,31
Vargem Alta	19,36	0,00	59,32	10,67	9,52	0,00	1,13
Venda Nova do Imigrante	0,00	0,00	77,10	0,00	21,16	0,00	1,73
Viana	83,82	0,00	5,21	8,17	0,00	0,00	2,80
Vila Pavão	0,00	0,00	0,00	99,61	0,00	0,00	0,39
Vila Valério	5,48	0,00	0,00	94,09	0,00	0,00	0,43
Vila Velha	45,88	0,00	0,00	0,26	0,00	0,00	53,87
Vitória	16,21	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	83,61

927 MF=Muito favorável; F=Favorável; FT=Favorável por temperatura; FU=Favorável por umidade;
 928 PFT=Pouco favorável por temperatura; DT=Desfavorável por temperatura; AI=Áreas impróprias.

929 Fonte: Elaborado pela autora.

930



931

932

933 **Figura 9.** Zoneamento da favorabilidade climática para ocorrência da ferrugem do
 934 cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) no estado do Espírito Santo.

935 Fonte: Elaborado pela autora.

936 O Zoneamento de favorabilidade climática é uma ferramenta útil para o manejo
937 da ferrugem, principalmente por se basear na temperatura e umidade relativa do ar, que
938 são essenciais para ocorrência da epidemia da doença (CAPUCHO et al., 2013). A
939 interação existente entre a temperatura e o molhamento foliar (umidade relativa $\geq 90\%$)
940 (SENTELHAS et al., 2008) determinam o percentual de germinação dos esporos e de
941 penetração do agente etiológico da ferrugem (KUSHALAPPA et al., 1983). Essa
942 afirmação corrobora com estudos de Meira et al. (2008), referente a análise da epidemia
943 da ferrugem do cafeeiro a partir do uso de árvore de decisão. Os autores afirmam que a
944 temperatura durante o período de molhamento foliar, a qual é estabelecida indiretamente
945 pela temperatura média nos períodos de alta umidade relativa do ar ($>95\%$), podem ser
946 consideradas as variáveis mais importantes na determinação da taxa de infecção da
947 ferrugem.

948 A favorabilidade climática para ferrugem (*Hemileia vastatrix*) no Espírito Santo
949 ocorre em todas as áreas de cultivo do cafeeiro, tanto para arábica (Figura 6) quanto
950 conilon (Figura 5).

951 A região serrana e parte da região sul apresentam áreas favoráveis por
952 temperatura para ocorrência da ferrugem (Figura 8). Essas mesmas áreas são aptas para
953 o cultivo do cafeeiro arábica (Figura 6) e inaptas por carência térmica para o cafeeiro
954 conilon (Figura 5). Já as áreas muito favorável, favorável e favorável por umidade para
955 ocorrência da ferrugem (Figura 8) são áreas com restrição térmica e inaptas por carência
956 térmica para o cultivo do cafeeiro arábica (Figura 6), porém são áreas aptas para o cultivo
957 de cafeeiro conilon. Assim, independente de qual espécie de cafeeiro plantada, há um alto
958 risco para ocorrência da ferrugem do cafeeiro.

959 Para que ocorra a doença deve ser levado em consideração o triângulo da doença,
960 que consiste em ambiente favorável, hospedeiro suscetível e patógeno (VALE et al.,
961 2004). Na análise de favorabilidade climática considera-se as condições ideais de
962 temperatura e umidade relativa para o desenvolvimento do patógeno.

963 O conhecimento de cada um dos fatores que interferem e determinam em uma
964 maior ou menor taxa de progresso da ferrugem torna-se de grande importância, uma vez
965 que condicionam a distribuição e intensidade da doença (sua incidência e severidade) e
966 auxiliam, conseqüentemente, na compreensão da ocorrência de epidemias, permitindo o
967 estabelecimento de um programa de manejo fitossanitário com medidas de controle mais
968 adequadas (MORAES et al., 2018).

969 De maneira geral, a temperatura atua em todas as fases do ciclo das relações
970 estabelecidas entre o patógeno e o hospedeiro (disseminação, infecção, colonização,
971 reprodução e sobrevivência), e os patossistemas respondem individualmente as variações
972 de temperatura (ANGELOTTI et al., 2014). Na fase de infecção, por exemplo, a
973 temperatura pode elevar ou reduzir a taxa de germinação dos esporos (MAIA et al., 2011;
974 POLTRONIERI et al., 2013), o que irá interferir, diretamente, na velocidade e expansão
975 da doença (MAY-DE-MIO et al., 2002; VALE et al., 2000). É o que ocorre no
976 patossistema *Hemileia vastatrix* vs *Coffea* spp., na qual a temperatura interfere na
977 germinação dos uredósporos, sendo considerada ótima quando a 22°C. Temperaturas
978 abaixo de 15°C e acima de 28°C inibem o processo de germinação (ZAMBOLIM et al.,
979 2005). O número de ciclos da doença durante o período de cultivo está associado a
980 temperatura favorável e ao desenvolvimento do patógeno, permitindo que o mesmo
981 complete o ciclo em um menor tempo (ANGELOTTI et al., 2017).

982 Diferentemente do que ocorre na fase de germinação, o alongamento do tubo
983 germinativo é crescente com o aumento da temperatura, até atingir 30°C. Essa
984 característica evidencia que uma temperatura não favorável ao processo de germinação
985 pode não ser adversa para o processo germinativo, após este ter iniciado, assim como para
986 as demais fases do ciclo do patógeno (ZAMBOLIM et al., 2005). Considerando, então, a
987 influência da temperatura sobre todas as fases do ciclo do patógeno, o período de
988 incubação (período entre a germinação e o aparecimento dos sintomas) e o período latente
989 (período entre a germinação e o aparecimento dos sinais) de *Hemileia vastatrix* em *Coffea*
990 spp. pode variar de 29 a 62 dias e de 38 a 70 dias, respectivamente, interferindo
991 diretamente na taxa de progresso da doença (ZAMBOLIM et al., 2005). Elevadas
992 temperaturas durante o período de incubação condicionam efeitos negativos nas taxas de
993 infecção da ferrugem do cafeeiro. Meira et al. (2008), relataram que temperaturas médias
994 máximas microclimáticas acima de 31°C e 28°C, respectivamente, ocasionaram efeito
995 depressivo sobre o período de incubação.

996 Alterações no período latente da ferrugem do cafeeiro também foram relatadas
997 por Vale et al. (2000), os quais observaram alterações de 19 dias quando prevalência de
998 temperaturas elevadas no verão e de até 60 dias quando em baixas temperaturas no
999 inverno. Tais alterações permitem concluir que medidas de controle da ferrugem do
1000 cafeeiro podem não apresentar resultados satisfatórios se implementadas no período em
1001 que as variáveis climáticas/meteorológicas exercem maior efeito negativo sobre a
1002 intensidade da doença.

1003 O mesmo foi relatado por Vale et al. (2000b), os quais observaram que há uma
1004 grande e estreita relação entre as condições de favorabilidade à infecção e a severidade
1005 da doença no campo, quando ocorrem temperaturas entre 20 e 25°C e presença de
1006 molhamento foliar, condicionando picos da severidade da doença de novembro a março
1007 (período favorável ao patógeno). Mas não somente a temperatura durante o período de
1008 molhamento foliar é importante. As médias baixas de temperatura mínima e as médias
1009 altas de temperatura máxima diárias exercem, segundo Meira et al. (2008), influência
1010 negativa nas taxas de infecção da ferrugem do cafeeiro, ou seja, as máximas e mínimas
1011 de temperatura durante a fase de infecção também possuem importância, embora em
1012 menor grau. A identificação da capacidade de sobrevivência do patógeno em função da
1013 temperatura é importante para a compreensão do comportamento deste e sua capacidade
1014 de se estabelecer em novas regiões (ANGELOTTI et al., 2017).

1015 Estudos de favorabilidade de ocorrências de doenças por meio de zoneamento
1016 climático são uma ferramenta que facilita a execução de análises complexas através da
1017 sobreposição de vários dados climáticos e topográficos gerando resultados precisos
1018 (LUPPI et al., 2015).

1019 O manejo desta doença é realizado com uso de variedades ou clones resistentes,
1020 fungicidas protetores e sistêmicos, com base no monitoramento e tomada de decisão
1021 (BELAN et al., 2020), ou aplicações com base em calendário fixos, com datas
1022 preestabelecidas (CAPUCHO et al., 2013, ZAMBOLIM, 2016).

1023 De posse do mapa de favorabilidade climática para ocorrência da ferrugem, pode-
1024 se fazer o plantio de materiais quanto ao nível de resistência, consideração as áreas
1025 favoráveis, restritas e inaptas. Assim, plantando os materiais mais suscetíveis nas regiões
1026 inaptas à ocorrência e os mais resistentes nas áreas favoráveis à ocorrência. Além de servir
1027 de auxílio no monitoramento e na tomada de decisão para o uso de fungicidas. Desta
1028 forma, o zoneamento da favorabilidade climática para ocorrência da ferrugem é um
1029 importante passo para o estabelecimento de um plano de manejo integrado para esta
1030 doença.

1031

1032

1033

1034 **6. CONCLUSÕES**

1035 A metodologia proposta foi adequada para zoneamento climático para o plantio de
1036 cafeeiros conilon e arábica, e da favorabilidade para a ocorrência da ferrugem (*H.*
1037 *vastatrix*) no Espírito Santo.

1038 O Espírito Santo possui uma maior área apta para o plantio de cafeeiro conilon
1039 quando comparado com a área apta para o plantio de cafeeiro arábica, o que justifica o
1040 estado ser o maior produto de café conilon.

1041 O Espírito Santo possui favorabilidade climática para a ocorrência da ferrugem
1042 praticamente em todos os municípios que plantam cafeeiros conilon ou arábica.

1043

1044

1045

1046

1047

1048

1049

1050

1051

1052

1053

1054

1055

1056

1057

1058

1059

1060

1061

1062

1063

1064

1065 **7. REFERÊNCIAS**

- 1066 AGRIOS, G.N. Plant pathology. **Amsterdam: Elsevier Academic Press**, ed.5, 922p.
1067 2005.
- 1068 AMARAL, J.A.T.; RENA, A.B.; AMARAL, J.F.T. Crescimento vegetativo sazonal do
1069 cafeeiro e sua relação com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese.
1070 **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v.41, p.377-384, 2006.
- 1071 ANDRADE JÚNIOR, A.S.; BARROS, A.H.C.; SILVA, C.O.; FREIRE FILHO, F.R.
1072 Zoneamento de risco climático para a cultura do feijão-caupi no Estado do Ceará. **Revista**
1073 **Ciência Agronômica**, Fortaleza-CE, v.38, n.1, p.109-117, 2007.
- 1074 ANGELOTTI, F.; GHINI, R.; BETTIOL, W. Como o aumento da temperatura interfere
1075 nas doenças de plantas? In: BETTIOL, W.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; AUAD, A.
1076 M.; GHINI, R. (Org.). **Aquecimento global e problemas fitossanitários**, v.1, p.116-143,
1077 2017.
- 1078 ANGELOTTI, F.; SCAPIN, C.R.; TESSMANN, D.J.; VIDA, J.B.; CANTERI, M. G. The
1079 effect of temperature, leaf werness and light on development of grapevine rust.
1080 **Australasian Plant Pathology**, v.43, n.1, p.9-13, 2014.
- 1081 ASSAD, E.; PINTO, H.S.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A. M. H. Impacto das mudanças
1082 climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária**
1083 **Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1057-1064, nov. 2004.
- 1084 BARBOSA, J.; BOREM, F.; CIRILLO, M.; MALTA, M.; ALVARENGA, A.; ALVES,
1085 H. Coffee quality and its interactions with environmental factors in Minas Gerais, Brazil.
1086 **Journal of Agricultural Science**, v.4, p.181-190, 2012.
- 1087 BELAN, L.L.; JESUS JUNIOR, W.C.; SOUZA, A.F.; ZAMBOLIM, L.; FILHO, J.C.;
1088 BARBOSA, D.H.S.G.; MORAES, W.B. Management of coffee leaf rust in *Coffea*
1089 *canephora* based on disease monitoring reduces fungicide use and management cost.
1090 **European Journal of Plant Pathology**, v.156, p.683–694, 2020.
- 1091 CAPUCHO, A.S.; ZAMBOLIM, L.; CABRAL, P.G.C.; MACIEL-ZAMBOLIM, E.;
1092 CAIXETA, E.T. Climate favorability to leaf rust in Conilon coffee. **Australasian Plant**
1093 **Pathology**, v.42, p.511–514, 2013.
- 1094 CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento**
1095 **da safra brasileira de café**. Brasília, v. 10, safra 2023, primeiro levantamento, janeiro

- 1096 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>>. Acesso em:
1097 15 de janeiro 2023.
- 1098 CUSTODIO, A. A. P.; POZZA, E. A.; CUSTODIO, A. A. P.; SOUZA, P. E. S.; LIMA,
1099 L. A.; LIMA, L. M. Intensidade da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro quanto à face
1100 de exposição das plantas. **Coffee Science**, v.5, n.3, p.214-228, 2010.
- 1101 EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Evolução
1102 da cafeicultura brasileira nas últimas décadas. Brasília: **Embrapa Café**, 3p. 2017.
1103 Disponível em: <[http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/
1104 Consorcio-Embrapa-CafeEvolucao-24-1-2017.pdf](http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/Consorcio-Embrapa-CafeEvolucao-24-1-2017.pdf)>. Acesso em: 10 de dezembro de 2020.
- 1105 FERRÃO, M.A.G., MENDONÇA, R.F. DE., FONSECA, A.F.A., FERRÃO, R.G.,
1106 SENRA, J.F.B., VOLPI, P. S., VERDIN FILHO, A. C., & COMÉRIO, M.
1107 Characterization and genetic diversity of *Coffea canephora* accessions in a germplasm
1108 bank in Espírito Santo, Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.21, n.2:
1109 e36132123, 2021.
- 1110 FERRÃO, R. G. A cafeicultura no estado do Espírito Santo. In: TOMAZ, M. A. (Org.).
1111 **Tecnologias para a sustentabilidade da cafeicultura**. Alegre: UFES, p.19-50, 2011.
- 1112 FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A. da.; LANI, J. A.; VERDIN
1113 FILHO, A. C.; VOLPI, P. S.; FERRAO, L. M. V. Café Conilon: Cultivares melhoradas
1114 sustentáveis. **Incaper em Revista**, v. 4 e 5, p. 78-83, 2014.
- 1115 FERREIRA, W.P., QUEIROZ, D.M., SILVAC, S.A., TOMAZ, R.S., CORRÊA, P.C.
1116 Effects of the Orientation of the Mountainside, Altitude and Varieties on the Quality of
1117 the Coffee Beverage from the “Matas de Minas” Region, Brazilian Southeast. **American
1118 Journal of Plant Sciences**. v.7, p.1291-1303, 2016.
- 1119 FITZ, P.R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.
- 1120 FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L.E.; AGUIAR, A.V. Relação entre altitude e
1121 temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no estado do Paraná. **Revista de
1122 Estudos Ambientais**. v.10, p.40–48. 2008.
- 1123 GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. Mudanças climáticas globais e seus efeitos
1124 sobre as doenças de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v.16, p.1-37. 2008.
- 1125 GONÇALVES, D. R. C. Avaliação do efeito da face de exposição solar sobre o
1126 crescimento de plantios comerciais de *Eucalyptus* sp. na região sudoeste do estado de São

- 1127 Paulo. 2015. 91f. **Dissertação** (Mestrado em Recursos Florestais). Universidade de São
1128 Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2015.
- 1129 HAMADA, E.; VOLPATO, M. M. L.; FERREIRA, G. L. F.; ALVES, H. R.; SOUZA,
1130 V. C. O.; VIEIRA, T. G. C. Simulação dos efeitos das mudanças climáticas sobre a
1131 ferrugem do café na região Sudeste do Brasil. Anais... **Simpósio Brasileiro de**
1132 **Sensoriamento Remoto**, João Pessoa – PB, Brasil, p.2629-2636, 2015.
- 1133 IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento**
1134 **sistemático da produção agrícola: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento**
1135 **das safras agrícolas no ano civil**. 2017. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/2017/lspa_201712.pdf)
1136 [Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasci](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/2017/lspa_201712.pdf)
1137 [culo/2017/lspa_201712.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/2017/lspa_201712.pdf)>. Acesso em 10 de dezembro 2020.
- 1138 KUSHALAPPA, A. C.; AKUTSU, M.; LUDWIG, A. Application of survival ratio
1139 monocyclic processo of *Hemileia vastatrix* in predicting coffee rust infection rates.
1140 **Phytopathology**, v.73, p.96-103, 1983.
- 1141 KUSHALAPPA, A. C.; ESKES, A. B. Coffe rust: epidemiology, resistance and
1142 management. Boca Raton FL. **CRC Press**, 1989.
- 1143 LUPPI, A.S.L.; SANTOS, A.R.; EUGENIO, F.C.; FEITOSA, L.S.A. Utilização de
1144 Geotecnologia para o Mapeamento de Áreas de Preservação Permanente no Município
1145 de João Neiva, ES. **Floresta e Ambiente**, v.22, p.13-22. 2015.
- 1146 MACIEL, G. F.; AZEVEDO, P. V.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. Impactos do
1147 aquecimento global no zoneamento de risco climático da soja no estado do Tocantins.
1148 **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.6, n.3, p.141-154, 2009.
- 1149 MADEIRA, A. C.; KIM, K. S.; TAYLOR, S. E.; GLEASON, M. L. A simple cloud based
1150 energy balance model to estimate dew. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.111,
1151 p.55-63, 2002.
- 1152 MAIA, F. G. M.; ARMESTO, C.; ZANCAN, W. L. A.; MAIA, J. B.; ABREU, M. S.
1153 Efeito da temperatura no crescimento micelial, produção e germinação de conídios de
1154 *Colletotrichum* spp. isolados de mangueira com sintomas de antracnose. **Bioscience**
1155 **Journal**, v.27, n.2, p.205-210, 2011.

- 1156 MAY-DE-MIO, L. L.; AMORIN, L. Influência da temperatura e da duração do
1157 molhamento foliar nos componentes monocíclicos da ferrugem do álamo. **Summa**
1158 **Phytopathologica**, v.28, n.1, p.33-39, 2002.
- 1159 MCCAIN, J. W.; HENNEN, F. Development of uredinial thallus and sorus in the orange
1160 coffee rust fungus *Hemileia vastatrix*. **Phytopathology**, v.74, p.714–721, 1984.
- 1161 MEIRA, C. A. A.; RODRIGUES, L. H. A.; MORAES, S. A. Análise da epidemia da
1162 ferrugem do cafeeiro com árvore de decisão. **Tropical Plant Pathology**, v.33, n.2, p.114-
1163 124, 2008.
- 1164 MONTEIRO, J. E. B. A.; SENTELHAS, P. C.; CHIAVEGATO, E. J. Ambiente tem
1165 papel decisivo na ocorrência de doenças. **Visão Agrícola**, n.6, p.85-87, 2006.
- 1166 MONTOYA, R. H.; CHAVES, G. M. Influência da temperatura e da luz na germinação,
1167 infectividade e período de geração de *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. **Exérientiae**, n.18,
1168 v.1, p.239-266, 1974.
- 1169 MORAES, S.A.; SUGIMORI, M.H.; RIBEIRO, I.J.A.; ORTOLANI, A.A.; PEDRO
1170 JUNIOR, M.J. Período de incubação de *Hemileia vastatrix* Berk. Et Br. em três regiões
1171 do Estado de São Paulo. **Summa Phytopathologica**. Botucatu-SP, v.2, p.32-38, 2008.
- 1172 MORAES, W.B.; CAMARA, G.R.; BELAN, L. L.; BELAN, L.L.; SILVA, S.A.; JESUS
1173 JUNIOR, W.C. Epidemiologia e manejo da ferrugem em cafeeiro Conilon. In:
1174 PARTELLI, F. L.; MORAES, W. B. (org.). **Café conilon: qualidade e sucessão familiar**.
1175 v.1, n.1, p.55-71, 2018.
- 1176 MORAES, W.B.; PEIXOTO, L.A.; JESUS JUNIOR, W.C.; MORAES, W.B.; CECÍLIO,
1177 R.A. Zoneamento das áreas de favorabilidade climática de ocorrência da ferrugem do
1178 cafeeiro no brasil. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer – Goiânia-GO,
1179 v.7, n.12, p. 01-10, 2011.
- 1180 MOREIRA, T.R.; SILVA, S.F.; GANDINE, S.M.S.; SOUZA, K.B.; SENHORELO,
1181 A.P.; HEITOR, F.D.; PARAJARA, M.C.; RIBEIRO, W.R.; GONÇALVES, M.S.;
1182 PINHEIRO, A.A.; BILLO, D.; ARAÚJO, E.F.; NASCIMENTO, G.S.P.; BERUDE, L.C.;
1183 BARROS, Q.S.; SILVA, R.F.; SANTOS, G.M.A.D.A.; SANTOS, A.R. Thermal
1184 favorability for the *Oidium caricae* and *Asperisporium caricae* in areas of edaphoclimatic
1185 aptitude for the *Carica papaya*. **Journal of Thermal Biology**, p.92. 2020.

- 1186 NELSON, M.R.; ORUM, T.V.; JAIME-GARCIA, R.; NADEEM, A. Applications of
1187 geographic information systems and geostatistics in plant disease epidemiology and
1188 management. **Plant Disease**, v.83, p.308-319, 1999.
- 1189 NEVES, A.K.; KÖRTING, T. S.; FONSECA, L.M.G.; ESCADA, M.I.S. Avaliação dos
1190 dados do TerraClass e do MapBiomas acerca da legenda e concordância dos mapas para
1191 o bioma brasileiro Amazônia. **Acta Amazônica**, v.50, n.2, p.170-182, 2020.
- 1192 OIC - ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ. **Relatório sobre o mercado de**
1193 **café: dezembro 2022**. São Paul-SP: OIC, 2022. 11p. Disponível em: <http://www.consorcioquisacafe.com.br/images/stories/noticias/2021/2022/dezembro/relatorio_oic_dezembro_2022.pdf>. Acesso em 10 de fevereiro 2023.
- 1196 OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 440p. 1981.
- 1197 PAESE, A.; UEZU, A.; LORINI, M.L.; CUNHA, A. **Conservação da biodiversidade**
1198 **com SIG**, São Paulo: Oficina de textos, 2012.
- 1199 PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H.D.; SILVA, M.G.; RAMALHO, J.C. Seasonal vegetative
1200 growth of different age branches of conilon coffee tree. **Semina: Ciências Agrárias**,
1201 Londrina-PR, v.31, n.3, p.619-625, 2010.
- 1202 PEZZOPANE, J. E. M.; CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. R. M.; CECÍLIO, R. A.
1203 Zoneamento agroclimático. In: Agrometeorologia: aplicações para o Espírito Santo.
1204 Alegre: CAUFES, v. 1, 178p., 2012.
- 1205 POLTRONIERI, T. P. S.; AZEVEDO, L. A. S.; SILVA, D. E. M. Efeito da temperatura
1206 no crescimento micelial, produção e germinação de conídios de
1207 *Colletotrichumgloeosporioides*, isolados de frutos de palmeira juçara (*Euterpe edulis*
1208 Mart). **Summa Phytopathologica**, v.39, n.4, p.281-285, 2013.
- 1209 POSSAS, J. M. C.; CORREA, M. M.; MOURA, G. B. de A.; LOPES, P. M. O.;
1210 CALDAS, A. M.; FONTES JÚNIOR, R. V. de P. Zoneamento agroclimático para a
1211 cultura do pinhão manso no Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia**
1212 **Agrícola e Ambiental**, v.16, n.9, p.993–998, 2012.
- 1213 SALGADO, B. G.; MACEDO, R. L. G.; CARVALHO, V. L.; SALGADO, M.;
1214 VENTURIN, N. Progresso da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro consorciado com
1215 grevêlea, com ingazeiro e a pleno sol em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras,
1216 v.31, n.3, p.1067-1074, 2007.

- 1217 SANTOS, A.R.; RIBEIRO, C.A.A.S.; SEDIYAMA, G.C.; PELUZIO, J.B.E.;
1218 PEZZOPANE, J.E.M.; BRAGANÇA, R. **Zoneamento Agroclimático no ArcGIS**
1219 **10.3.1 Passo a Passo**, Alegre-ES: CAUFES, p.58, 2015.
- 1220 SANTOS, G.M.A.D.A.; SANTOS, A.R.; TEIXIERA, L.J.Q.; SARAIVA, S.H.;
1221 FREITAS, D.F.; PEREIRA JÚNIOR, O.S.; RIBEIRO, C.A.A.S.; LORENZON, A.S.;
1222 EUGENIO, F.C.; NEVES, A.A.; QUEIROZ, M.E.L.R.; SCHERER, R. GIS Applied to
1223 Agriclimatological Zoning and Agrototoxin Residue Monitoring in Tomatoes: A Case
1224 Study in Espírito Santo State, Brazil. **Journal of Environmental Management**, 166,
1225 p.429-439, 2016.
- 1226 SANTOS, G.M.A.D.A.; NEVES, A.A.; QUEIROZ, M.E.L.R.; QUEIROZ, V.T.;
1227 RIBEIRO, C.A.A.S.; REIS, E.L.; PAIVA, A.C.P.; CARVALHO, J.R.; SILVA, S.F.;
1228 JUVANHOL, R.S., MOREIRA, T.R.; TEIXEIRA, L.J.Q.; SARAIVA, S.H.; COSTA,
1229 A.V.; MARTINS, C.A.S.; PIRES, F.R.; CURTY, T.A.; FILHO, P.A.G.; SOUZA, M.H.
1230 DE; JESUS JUNIOR, W.C.J.; SANTOS, A.R. Potential Risk of Agrochemical Leaching
1231 in Areas of Edaphoclimatic Suitability for Coffee Cultivation. **Water**, v.14, n. 9, p.1515,
1232 2022.
- 1233 SEDIYAMA, G.C.; MELO JUNIOR, J.C.; SANTOS, A.D.; RIBEIRO, A.; COSTA,
1234 M.H.; HAMAKAWA, P.J.; COSTA, J.D.; COSTA, L.C. Zoneamento agroclimático do
1235 cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de**
1236 **Agrometeorologia**. Passo Fundo-RS, v.9, n.3, 501-509. 2001.
- 1237 SENTELHAS, P. C.; MARTA, A. D.; ORLANDINI, S.; SANTOS, E. A.; GILLESPIE,
1238 T. J.; GLEASON, M. L. Suitability of relative humidity as na estimator of leaf wetness
1239 duration. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.148, n.3, p.392-400, 2008.
- 1240 SILVA, A. O.; SILVA, A. P. N.; MOURA, G. B. A.; LOPES, P. M. O.; MEDEIROS, S.
1241 R. R. de. Zoneamento agroclimático da pitangueira para três cenários distintos de
1242 precipitação pluvial em Pernambuco. **Revista Caatinga**, v.24, n.1, p.104-115, 2011.
- 1243 SILVA, K. R.; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; GARCIA, G.
1244 de O. Zoneamento edafoclimático para a cultura da seringueira no Espírito Santo. **Irriga**,
1245 v.18, n.1, p.1-12, 2013.
- 1246 SILVA, S. A.; QUEIROZ, D.M. DE; FERREIRA, W.P.M.; CORREA, P.C.; RUFINO,
1247 J.L.S. Mapping the potential beverage quality of coffee produced in the Zona da Mata,

- 1248 Minas Gerais, Brazil. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v.96, p.3098 -
1249 3108, 2015.
- 1250 TETENS, O. Uber Einige Meteorologische Begriffe. **Zeitschrift für geophysik**, Editora:
1251 Friedrich Vieweg & Sohn Akt. - Gesellschaft, v. 6, p. 297–309, 1930.
- 1252 TOMAZ, M. A.; AMARAL, J. F. T. ; JESUS JUNIOR, W. C. ; FONSECA, A. F. A.;
1253 FERRAO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; MARTINS, L. D.; RODRIGUES, W. N.
1254 **Inovação, difusão e integração: bases para a sustentabilidade da cafeicultura**.
1255 Alegre: CAUFES, ed. 1, 270 p., 2012.
- 1256 USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Coffee: World**
1257 **Markets and Trade**; Foreign Agricultural Service: Washington, DC, USA, 2022.
1258 <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/coffee.pdf> >. Acesso em: 07 de fevereiro
1259 de 2023.
- 1260 VALE, F. X. R.; JESUS JUNIOR, W. C.; ZAMBOLIM, L. Natureza das epidemias. In:
1261 VALE, F. X. R.; JESUS JUNIOR, W. C.; ZAMBOLIM, L. (ed.). **Epidemiologia**
1262 **aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte: Perfil, p.21-46, 2004.
- 1263 VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; COSTA, L. C.; LIBERATO, J. R.; DIAS, A. P. S.
1264 Influência do clima no desenvolvimento de doenças. In: VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR,
1265 W.C.J.; ZAMBOLIM, L. (ed.). **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de**
1266 **plantas**. Belo Horizonte, MG: Editora Perfil, p.49-87, 2004.
- 1267 VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; JESUS JUNIOR, W. C. Efeito de fatores climáticos
1268 na ocorrência e no desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE
1269 PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL. (01:2000: Poços de Caldas, MG). **Resumos**
1270 **expandidos**. Brasília-DF: Embrapa Café; Belo Horizonte: Minasplan, v.2, 1490p., 2000.
- 1271 VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; JESUS JUNIOR, W. C. Efeito da temperatura no
1272 período latente de *Hemileia vastatrix* Berk & Br., agente causal da ferrugem do cafeeiro.
1273 In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL (01:2000: Poços de Caldas,
1274 MG). **Resumos expandidos**. Brasília-DF: Embrapa Café; Belo Horizonte: Minasplan,
1275 v.2, 1490p., 2000.
- 1276 VENTURA, J. A.; COSTA, H.; LIMA, I. M. **Manejo das doenças do cafeeiro conilon**.
1277 In: FERRÃO, R. G.; FONECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; MUNER, L. H. (ed.). **Café**
1278 **conilon**. Vitória: Incaper, p.435-479, 2017.

- 1279 WARD, H. M. Research on the life history of *Hemileia vastatrix*, the fungus of the coffee
1280 leaf disease. **Journal of the Linnean Society** - Botany, London, v.12, p.299-335, 1882.
- 1281 YATES, K.L.; SCHOEMAN D.S.; KLEIN, C.J. Ocean zoning for conservation, fisheries
1282 and marine renewable energy: assessing trade-offs and co-location opportunities. **Journal**
1283 **of Environmental Management**. v.152, p.201-209, 2015.
- 1284 ZAIDAN, Ú. R.; CORRÊA, P. C.; FERREIRA, W. P. M.; CECON, P. R. Ambiente e
1285 variedades influenciam a qualidade de cafés das Matas de Minas. **Coffee Science**. v.12,
1286 p.240-247, 2017.
- 1287 ZAMBOLIM, L. Current status and management of coffee leaf rust in Brazil. **Tropical**
1288 **plant pathology**. 41, p.01-08, 2016.
- 1289 ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, E. M. Doenças do cafeeiro. In:
1290 KIMATI, H.; AMORIN, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.;
1291 CAMARGO, L. E. A. (ed.). **Manual de fitopatologia**. São Paulo: Editora Agronômica
1292 Ceres, n.1, e.4, v.2, p.163-180, 2005.