



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

GEOVANNA CRISTINA ZARO

**ADAPTAÇÃO E MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DO
AQUECIMENTO GLOBAL NA CAFEICULTURA POR MEIO
DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS**

Londrina
2018

GEOVANNA CRISTINA ZARO

**ADAPTAÇÃO E MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DO
AQUECIMENTO GLOBAL NA CAFEICULTURA POR MEIO
DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Cássio Egídio
Cavenaghi Prete

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Henrique
Caramori

Londrina
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Zaro, Geovanna Cristina.

Adaptação e mitigação dos efeitos do aquecimento global na cafeicultura por meio de sistemas agroflorestais / Geovanna Cristina Zaro. - Londrina, 2018.
100 f. : il.

Orientador: Cássio Egídio Cavenaghi Prete.

Coorientador: Paulo Henrique Caramori.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2018.

Inclui bibliografia.

1. Café - Cultivo - Tese. 2. Agrosilvicultura - Tese. 3. Sistemas agrícolas - Tese. 4. Mudanças climáticas - Tese. I. Prete, Cássio Egídio Cavenaghi. II. Caramori, Paulo Henrique. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

GEOVANNA CRISTINA ZARO

**ADAPTAÇÃO E MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DO AQUECIMENTO
GLOBAL NA CAFEICULTURA POR MEIO DE SISTEMAS
AGROFLORESTAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Cássio Egídio Cavenaghi
Prete
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Henrique
Caramori
Instituto Agrônômico do Paraná – IAPAR

Prof. Dr. Marcelo A. de Aguiar e Silva
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dra. Ana Paula Dalla Corte
Universidade Federal do Paraná - UFPR

Prof. Dr. Ricardo Ralisch
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Dr. Marcos Silveira Wrege
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
– EMBRAPA

Londrina, 19 de julho de 2018.

À minha família

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela minha vida, pelo seu amor por mim e a oportunidade de mais esta conquista.

Aos fiéis e verdadeiros amigos Tobias e Thomé, pelo amor incondicional, compreensão e companherismo.

Agradeço a meus pais, Moacir Zaro (*in memoriam*), que mesmo ausente está sempre em meu coração e Rosangela Zaro, a minha GRANDE mãe, uma mulher de garra por quem eu tenho uma enorme admiração e orgulho, pelo seu apoio constante e pela educação que me deu.

Ao meu irmão Lucas e meus sobrinhos Lara e Davi, que me fazem ver a cada dia como é bom tê-los em minha vida, pelos quais eu tento ser um bom exemplo de persistência. Ao meu irmão Saulinho em especial, que mesmo vivendo uma grande fase em sua vida, me ajudou em cada etapa dessa conquista, apoiando e incentivando nos momentos difíceis.

À Minha avó Jandira, que em seus plenos 75 anos sempre me pergunta sobre meu trabalho, se interessou em saber sobre o que é e qual a utilidade, por me ensinar o quanto trabalhar e estudar nos mantém vivos e saudáveis.

Às minhas amigas Juliandra e Amanda, pelas palavras de incentivo, por todos os trabalhos e artigos que desenvolvemos juntas, a todo apoio mesmo a muitos quilômetros de distância, pelos momentos de descontração, pelos abraços e consolos.

Aos amigos estudantes e professor Paul Voroney que tive o imenso prazer de conhecer no Canadá, no meu período de treinamento sanduíche na Universidade de Gueph. Em especial a Ricardo e Fabiele, que me ajudaram em todos os momentos dessa incrível experiência.

Ao meu coorientador Professor Dr. Paulo Henrique Caramori, por quem tenho enorme carinho e admiração. Primeiramente por me aceitar como sua estagiária a 10 anos atrás, pela honra de ser sua orientada de mestrado, onde me deu a possibilidade de explorar e me aventurar como pesquisadora, em um trabalho que nos rendeu três bons artigos. Pelas palavras de incentivo, sempre me animando, por despertar em mim o gosto pela pesquisa, com as palavras certas na hora das correções, pelos ensinamentos, pela amizade e, principalmente, por

acreditar em mim.

Ao meu orientador Professor Dr. Cássio Egidio Cavenaghi Prete pela sua ajuda e colaboração.

Ao professor Dr. Marcelo Augusto Aguiar e Silva, por ser um exemplo de professor que eu me espelho muito. Por me aceitar em seu grupo de estudo e dividir sua experiência comigo.

Aos Professores Carlos Sanquetta (UFPR) e Jorim das Virgens filho (UEPG), aos pesquisadores Pablo R. Nitsche (IAPAR), Marcos Wrege (EMBRAPA) e Wilian da Silva Ricce (EPAGRI) e ao George Yada Junior (IAPAR), pelo apoio.

Aos meus amigos e colegas de trabalho da Agrometeorologia do Instituto Agronômico do Paraná, pelas conversas e risadas, fazendo com que todo o trabalho fosse menos árduo, e a todos os operários de campo que possibilitaram a execução desse enorme trabalho.

Aos técnicos agrícolas do IAPAR, Sr. João, Sr. Luis Carlos (Jacaré) e Sr. Jorge, que foram muito mais que profissionais, foram verdadeiros amigos, sempre dispondo tempo para me acompanhar, dando muita importância ao meu trabalho e dividindo comigo todos os seus conhecimentos.

Ao Instituto Agronômico do Paraná e seus funcionários, por possibilitarem a realização deste trabalho.

À Universidade Estadual de Londrina e Pós graduação em Agronomia pela formação.

À University of Guelph pela oportunidade de treinamento.

À CAPES pelo apoio Financeiro.

Muito obrigada!

Me recordo de cada flor que veio à
tona só porque tive coragem de cuidar
da semente. Só porque não me
acovardei, mesmo que tantas vezes
com todo medo do mundo”.

Ana Jácomo.

ZARO, Geovanna Cristina. **Adaptação e mitigação dos efeitos do aquecimento global na cafeicultura por meio de sistemas agroflorestais**. 2018. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

RESUMO

O Planeta Terra está passando por uma fase de mudanças climáticas aceleradas pelas atividades humanas, com elevado potencial de impactos negativos nas atividades agrícolas. A cultura do café arábica é uma das que poderão ser mais afetadas, devido ao efeito negativo das temperaturas elevadas. O uso de sistemas agroflorestais com cafeeiros é uma alternativa para buscar formas de adaptação e mitigação do aquecimento sobre a cultura do café, através da melhoria do ambiente de produção e fixação do carbono na biomassa e no solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar medidas de mitigação e adaptação dos efeitos do aquecimento global por meio de sistemas agroflorestais de cafeeiros com seringueira. O primeiro estudo teve foco na mitigação e visou avaliar os estoques de carbono na biomassa e no solo. Um experimento de consórcio de café com seringueira implantado no centro experimental do IAPAR em Londrina, com dezesseis anos de idade, foi utilizado para determinar o carbono fixado na biomassa e o carbono estocado no solo. Comparou-se a contribuição do café e do consórcio café+seringueira. O experimento foi montado em blocos casualizados, com dois tratamentos (café a pleno sol e consorciado com seringueira), em 4 repetições. As seringueiras foram plantadas em filas duplas de 4,0 m x 2,5 m, espaçadas de 16 m entre filas duplas. Tanto as árvores como os cafeeiros foram amostrados através do processo destrutivo, quantificando a biomassa da parte aérea, serrapilheira, raízes e o carbono presente no solo. Foram amostradas 10 árvores de seringueira e 24 plantas de café por tratamento. Para as determinações de carbono e densidade do solo foi coletado solo em trincheiras de 0,70 m de profundidade, com amostras nas camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,30; 0,30-0,50 e 0,50-0,70 m, em três repetições. Os resultados foram submetidos a análise de variância e as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey a 5% de significância. Verificou-se que a introdução do sistema agroflorestal propiciou aumentos significativos no estoque de carbono fixado na biomassa e no solo. O café a pleno sol contribuiu em média com 148,34 Mg ha⁻¹, enquanto que o sistema café + seringueira contribuiu em média com 195,60 Mg ha⁻¹. O segundo estudo foi direcionado à possibilidade de adaptação do café arábica ao aquecimento com o uso de sistema agroflorestal de café e seringueira. Medições microclimáticas mostraram que as temperaturas foliares e do ar no sistema café+seringueira foram atenuadas em média entre 1,4 e 2,3 °C, podendo contribuir para reduzir os efeitos do aquecimento global na cafeicultura. Atenuações de 1 e 2 °C nas temperaturas médias foram utilizadas para fazer o zoneamento de risco climático do cafeeiro no Paraná cultivado em sistemas agroflorestais com seringueiras, considerando os cenários de aquecimento previstos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC). Os resultados obtidos neste estudo possibilitaram identificar os benefícios dos sistemas agroflorestais para a cultura do cafeeiro com relação a sua adaptação para permanecer produzindo.

Palavras chave: Café arábica. Seringueira. Mudanças climáticas. Fixação de carbono. Zoneamento climático.

ZARO, Geovanna Cristina. **Adaptation and mitigation of the effects of global warming on the coffee crop through agroforestry systems.** 2018. 100 p. Thesis (Doctoral Degree in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

ABSTRACT

The Planet Earth is undergoing a phase of climate change induced by human activities, with a high potential for negative impacts on agricultural activities. The cultivation of Arabica coffee could be one of the most affected due to the negative effect of high temperatures. The use of agroforestry systems with coffee is an alternative to adapt and mitigate warming impacts, by improving the production environment and fixation of carbon in biomass and soil. The objective of this work was to evaluate measures of mitigation and adaptation of the effects of global warming through agroforestry systems of coffee with rubber tree. The first study focused on mitigation and aimed to evaluate carbon stocks in biomass and soil. A coffee and rubber consortium experiment with 16 years, at the IAPAR experimental center in Londrina, Brazil, was used to determine the carbon fixation in the biomass and the carbon stored in the soil. The contribution of coffee and the coffee + rubber consortium was compared. The experiment was assembled in randomized blocks, with two treatments (coffee in full sun and in consortium with rubber trees), in 4 replicates. The rubber trees were planted in double rows of 4.0 m x 2.5 m, spaced 16 m between double rows. Both the trees and the coffee plants were sampled through the destructive process, quantifying the biomass of the aerial part, liter, roots and the carbon present in the soil. Ten rubber trees and 24 coffee plants were sampled per treatment. For determinations of carbon and soil density, soil was collected in trenches of 0.70 m depth, with samples in the layers of 0.0-0.10; 0.10-0.30; 0.30-0.50 and 0.50-0.70 m, in three replicates. The results were submitted to analysis of variance and the averages were compared by means of the Tukey test at 5% of significance. It was found that the introduction of the agroforestry system led to significant increases in the carbon stock in the biomass and soil. The coffee contributed on average with 148.34 Mg ha⁻¹, while the coffee + rubber system contributed on average with 195,60 Mg ha⁻¹. The second study was directed to the possibility of adaptation of the Arabica coffee to global warming in agroforestry system of coffee and rubber tree. Microclimatic measurements showed that leaf and air temperatures in the coffee + rubber system were attenuated on average between 1.4 and 2.3 °C and could contribute to reduce the effects of global warming on coffee crops. Attenuations of 1 and 2 °C in the mean temperatures were used to make the climatic risk zoning of coffee in Paraná, cultivated in agroforestry systems with rubber trees, considering the warming scenarios predicted by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The results obtained in this study made it possible to identify the benefits of agroforestry systems for coffee cultivation in relation to the effects of global warming.

Key words: Arabica coffee. Rubber tree. Climate change. Carbon fixation. Climatic zoning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 –	Concentração de CO ₂ em testemunhos de gelo até 1950 e na estação de Mauna Loa, Havaí a partir deste data	19
Figura 3.1 –	Esquema ilustrativo da parcela de café consorciada com seringueira	42
Figura 3.2 –	Distribuição dos valores de diâmetro à altura do peito (DAP,cm) da população de seringueira da área experimental.	45
Figura 3.3 –	Densidade do solo (em kg m ⁻³) em diferentes profundidades de café consorciado com seringueira (SerXcaf) e café a pleno sol (Cafesol) com respectivos desvios padrões. Londrina, Paraná, Brasil, dezembro de 2016.....	50
Figura 4.1 –	(A) Filas duplas de seringueira consorciadas com os cafeeiros. (B) Estação meteorológica automática instalada entre as filas duplas de seringueira espaçadas a 16m	57
Figura 4.2 –	Rede de estações meteorológicas automáticas do Simepar utilizadas nos cenário de aquecimento	58
Figura 4.3 –	Diagramas de caixa das diferenças médias de temperatura entre o tratamento a pleno sol comparado com consórcio de seringueira em filas duplas espaçadas de 16 m (pl x 16 m) e entre duas linhas de seringueiras (pl x somb), a 0,5 m de altura, das 10 – 16 h (A), 22 – 06 h (B) e 24 h (C). Londrina, junho/2016 a junho/2018.....	61
Figura 4.4 –	Diagramas de caixa das diferenças médias de temperatura entre o tratamento a pleno sol comparado com consórcio de seringueira em filas duplas espaçadas de 16 m (pl x 16 m) e entre duas linhas de seringueiras (pl x somb), a 1,0 m de altura, das 10 – 16 h (A), 22 – 06 h (B) e 24 h (C). Londrina, junho/2016 a junho/2018.....	63

Figura 4.5 –	Diagramas de caixa das diferenças médias de temperatura entre o tratamento a pleno sol comparado com consórcio de seringueira em filas duplas espaçadas de 16 m (pl x 16 m) e entre duas linhas de seringueiras (pl x somb), a 1,5 m de altura, das 10 – 16 h (A), 22 – 06 h (B) e 24 h (C). Londrina, junho/2016 a junho/2018.....	65
Figura 4.6 –	Diagramas de caixa das diferenças médias de temperatura foliar entre o tratamento a pleno sol comparado com consórcio de seringueira em filas duplas espaçadas de 16 m (pl x 16 m) e entre duas linhas de seringueiras (pl x somb), das 10 – 16 h (A), 22 – 06 h (B) e 24 h (C). Londrina, junho/2016 a junho/2018.....	67
Figura 4.7 –	Regressão entre Temperatura média do ar de 24 horas (T24) e temperatura média do ar das 10 às 16 horas (T10-16) para as estações meteorológicas de Londrina, Apucarana, Maringá, Paranavaí e Umuarama, no Estado do Paraná	71
Figura 4.8 –	Simulações dos cenários climáticos para as temperaturas 1,7, 2,6, 3,1 e 4,8 °C para Londrina, PR	72
Figura 4.9 –	Simulações dos cenários climáticos para as temperaturas 1,7, 2,6, 3,1 e 4,8 °C para Paranavaí, PR.....	73
Figura 4.10 –	Zoneamento Agrícola atual do Café Arábica para o Estado do Paraná	73
Figura 4.11 –	Impacto dos quatro cenários de mudanças climáticas sobre o zoneamento do café a pleno sol no Paraná, referente ao período 2018-2058.....	75
Figura 4.12 –	Impacto dos quatro cenários de mudanças climáticas sobre o zoneamento do café a pleno sol no Paraná, referente ao período 2059-2099.....	77
Figura 4.13 –	Zoneamento do café arábica com sistemas agroflorestais (SAFs) com a redução de 1 °C (SAF1) e 2 °C (SAF2), nos cenários de aquecimento de 1,7, 2,6, 3,1 e 4,8 °C no Paraná, referente ao período 2018-2058.....	80

- Figura 4.14** – Zoneamento do café arábica com sistemas agroflorestais (SAFs) com a redução de 1 °C (SAF1) e 2 °C (SAF2), nos cenários de aquecimento de 1,7, 2,6, 3,1 e 4,8 °C no Paraná, referente ao período 2059-209982
- Figura 4.15** – Porcentagem da área que permanece em cultivo a pleno sol e em sistema agroflorestal com atenuação de 1 °C, considerando os cenários de aquecimento de 1,7 °C, 2,6 °C, 3,1 °C e 4,8 °C, nos períodos de 2018 – 2058 e 2059 – 2099.....84
- Figura 4.16** – Porcentagem da área que permanece em cultivo a pleno sol e em sistema agroflorestal com atenuação de 2 °C, considerando os cenários de aquecimento de 1,7 °C, 2,6 °C, 3,1 °C e 4,8 °C, nos períodos de 2018 – 2058 e 2059 – 2099.....85

LISTA DE TABELAS

- Tabela 3.1** – Biomassa do consórcio café com seringueira e do café a pleno sol, por componentes da planta (Mg ha^{-1}) e razão parte aérea/raiz Londrina, dezembro de 201646
- Tabela 3.2** – Teor (%), estoque de carbono (Mg ha^{-1}) por componentes da planta e valor de CO_2 equivalente por ano, nos sistemas: consórcio café seringueira e café a pleno sol. Londrina, Paraná, Brasil, dezembro de 2016.....49
- Tabela 3.3** – Teor (%) e volume de carbono (Mg C ha^{-1}) no solo pelo método da camada equivalente, em diferentes profundidades (m), de consórcio café seringueira e café a pleno sol. Londrina, Paraná, Brasil, dezembro de 2016.....51
- Tabela 3.4** – Estoques de Carbono (Mg ha^{-1}) da biomassa, do solo e total e valor de CO_2 equivalente por ano dos sistemas: consórcio café seringueira e café a pleno sol. Londrina, Paraná, Brasil, dezembro de 201651
- Tabela 4.1** – Temperatura média do ar das 10 -16h (Dia), 22 - 06h (Noite) e 24 horas(24h) a 0,5 m, 1 m, 1,5 m de altura do solo e em folhas de cafeeiros, nas quatro estações do ano. Cafeeiros a pleno sol (1), consorciado com seringueira a 16 metros (2) e sombreado por seringueira (3).....70

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	MUDANÇAS CLIMÁTICAS	17
2.1.1	Estratégias de Combate às Mudanças Climáticas: Adaptação e Mitigação	20
2.1.2	Estratégias do Brasil.....	22
2.2	A CULTURA DO CAFÉ	22
2.2.1	Alterações Fisiológicas em Cafeeiros Sombreados	24
2.2.2	Impactos das Mudanças Climáticas na Cultura do Café	25
2.3	A CULTURA DA SERINGUEIRA.....	27
2.4	SISTEMAS AGROFLORESTAIS	28
2.4.1	Sistemas Agroflorestais de Café com Outras Espécies	30
2.4.1.1	Sistema agroflorestal de café com seringueira.....	32
2.4.2	Fixação de Carbono em Sistemas Agroflorestais.....	33
2.4.3	Fixação de Carbono no Solo	34
2.4.4	Estoque de Biomassa e Carbono	35
2.4.4.1	Biomassa.....	35
2.4.4.1	Carbono.....	36
3	ARTIGO A - FIXAÇÃO DE CARBONO EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL DE CAFÉ COM SERINGUEIRA	38
3.1	RESUMO	38
3.2	ABSTRACT.....	38
3.3	INTRODUÇÃO	39
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	41
3.4.1	Área de Estudo.....	41
3.4.2	Amostragem da Biomassa das Seringueiras e Cafeeiros	41
3.4.3	Amostragem do Solo	43
3.4.5	Estoques de Carbono na Biomassa e Solo.....	43
3.4.6	Estoque de Carbono Total.....	44
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45

3.5.2	Biomassa de Café Consorciado com Seringueira e Café a Pleno Sol	45
3.5.3	Estoques de Carbono na Biomassa de Café Consorciado com Seringueira e Café a Pleno Sol	47
3.5.4	Estoque de Carbono no Solo	50
3.6	CONCLUSÕES	52
4	ARTIGO B: ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO PARA O CAFÉ ARÁBICA CONSORCIADO COM SERINGUEIRA NO ESTADO DO PARANÁ	53
4.1	RESUMO	53
4.2	ABSTRACT.....	53
4.3	INTRODUÇÃO	54
4.4	MATERIAL E MÉTODOS	55
4.4.1	Análise Microclimática	55
4.4.2	Alterações no Zoneamento de Risco Climático	57
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.5.1	ANÁLISE MICROCLIMÁTICA	59
4.5.1.1	Relação entre temperatura média diária e temperatura média 10 - 16 horas... ..	71
4.5.1.2	Simulações do PGECLIMA_R.....	71
4.5.2	Simulações dos Impactos dos Cenários Climáticos para Café a Pleno Sol	73
4.5.3	Simulações dos Impactos dos Cenários Climáticos para Café em Sistema Agroflorestal com Seringueira.	79
4.6	CONCLUSÕES	85
5	CONCLUSÕES GERAIS	86
	REFERÊNCIAS.....	87

1 INTRODUÇÃO

O aumento das atividades industriais e as mudanças no uso do solo vêm provocando alterações no clima em escala global. A partir da década de 50 do século XX as mudanças vêm ocorrendo de forma mais acelerada, seguindo as taxas de incremento na emissão de gases de efeito estufa (GEE) e de crescimento populacional. Dentre as alterações já constatadas, destacam-se o aumento das temperaturas em todo o planeta e a frequência de eventos extremos (chuvas, ondas de calor, vendavais, etc).

O café arábica (*Coffea arabica* L.) é muito sensível a temperaturas elevadas, devido à sua origem nas regiões de clima ameno da Etiópia e Sudão. A cultura foi introduzida no Brasil em ambiente de pleno sol, inicialmente no Sudeste do país e depois no Norte do Paraná. No início da exploração, os solos recém-desmatados eram muito férteis e ricos em matéria orgânica. Com o passar dos anos houve a degradação dos solos e o aumento da irregularidade no clima, tornando a cultura mais vulnerável a eventos extremos de calor e seca, com reflexos no potencial produtivo.

Alternativas de manejo da lavoura têm sido pesquisadas para adaptação do café a essa nova realidade, bem como prepará-la para um ambiente de clima modificado num futuro próximo. Dentre essas alternativas, o uso de sistemas agroflorestais destaca-se como uma das práticas mais promissoras. Como o cafeeiro arábica se originou em ambiente sombreado, a planta apresenta boa tolerância a baixa luminosidade. Esta característica tem sido explorada em diversos estudos de consorciação do cafeeiro com outras espécies de hábitos de crescimento arbustivo e arbóreo. A finalidade desses trabalhos é encontrar um ponto de equilíbrio entre o nível de sombreamento e a produtividade do sistema, de forma a torná-lo economicamente viável.

A seringueira (*Hevea sp*) é uma excelente opção para cultivo consorciado com o cafeeiro. Além de contribuir para amenizar os extremos térmicos no cafezal, a produção do látex representa uma fonte adicional de renda para o produtor. Com a ocorrência do aquecimento global, é possível adotar sistemas de consórcio de café com seringueira, visando melhorar o ambiente para o cafeeiro e aumentar a produtividade do sistema, preservando e melhorando o solo e fixando

carbono.

Os sistemas agroflorestais contribuem significativamente na fixação do carbono, principalmente quando são introduzidas espécies lenhosas e madeiras de porte alto.

Nesta tese foram testadas as seguintes hipóteses:

1) Sistemas agroflorestais de café com seringueira possibilitam maior fixação de carbono atmosférico na biomassa e no solo comparado ao cultivo a pleno sol, contribuindo para mitigar os efeitos do aquecimento global. 2) Em cafezais arborizados há atenuação das temperaturas diurnas, o que possibilita adaptar os cultivos aos efeitos previstos do aquecimento global.

Para verificar a hipótese 1, foram realizados trabalhos de campo em um sistema agroflorestal de café com seringueira em Londrina, PR, com o objetivo de avaliar medidas de mitigação dos efeitos do aquecimento global por meio de sistemas agroflorestais de café com seringueira. A hipótese 2 foi verificada por meio de medições de temperatura no interior de cafezais arborizados com seringueira.

Os seguintes objetivos específicos foram enfocados: 1) Quantificar o carbono fixado na biomassa e no solo em sistema agroflorestal de café com seringueira. 2) Avaliar as alterações microclimáticas que ocorrem em cafezais consorciados com filas duplas de seringueiras espaçadas de 16 m. 3) Realizar o zoneamento agroclimático de cafezais arborizados com seringueira considerando a atenuação das temperaturas elevadas, para cenários atuais e previstos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O tema Mudanças Climáticas vem sendo abordado de forma mais intensa a partir da década de 70 do século XX. O clima vem sofrendo mudanças aceleradas desde meados do século passado, que continuam ao longo do século XXI (IPCC, 2014). As análises e simulações em computadores com grande capacidade de processamento aponta para aumento nas temperaturas médias e alterações nos regimes de chuva.

As atividades humanas resultam em emissões de GEE como: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), entre outros. Esses gases se acumulam na atmosfera, fazendo com que as concentrações aumentem com o tempo. O CO_2 é o principal gás responsável por reter a maior parte do calor e consequentemente teve grande contribuição para o aquecimento nas últimas décadas (FORSTER et al., 2007) e no futuro.

As emissões de CO_2 na atmosfera aumentaram significativamente nos últimos 20 anos, de 6,3 Gt de carbono (C) em 1994 para 8,7 Gt C em 2009 (BODEN; ANDRES; MARLAND, 2013), isto é, 39% ao longo desse período. Cada ano, um adicional aproximado de 2 Gt C é liberado como CO_2 em resposta à mudança do uso da terra, incluindo o desmatamento e queima de florestas ou degradação de solos e perda de carbono biológico do solo (SOC) (SOMMER; BOSSIO, 2014).

No ano de 1988 o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) criaram o (IPCC), para avaliar as evidências em torno das alterações do clima com base no conhecimento científico disponível. O IPCC é um colegiado de cientistas designados pelos países membros, que atua sob os auspícios das Nações Unidas (UN). É composto por milhares de cientistas de todo o mundo, cuja missão é revisar e avaliar as mais recentes informações científicas, técnicas e sócio-econômicas relacionadas a mudanças climáticas produzidas e sintetizá-las em documentos e relatórios (IPCC, 2014). O IPCC não é responsável direto pela condução de pesquisas ou monitoramento do clima.

Desde a criação do IPCC o tema Mudanças Climáticas vem sendo

tratado de forma organizada e com a devida prioridade, diante das perspectivas de um futuro de incertezas para as novas gerações. Foram realizadas várias reuniões dos países signatários e elaborados relatórios. A seguir são listadas algumas das atividades mais importantes.

O primeiro relatório do IPCC foi divulgado em 1990, no qual se informou que a temperatura global havia aumentado aproximadamente 0,5 °C desde o início da era industrial. Teve o poder de fomentar a discussão e novas pesquisas sobre o tema (IPCC, 1990).

Em 1992 foi realizada no Rio de Janeiro a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO-92). Teve como um dos principais objetivos estabelecer metas para a estabilização do nível de concentração de gases do efeito estufa na atmosfera (ONU, 1992).

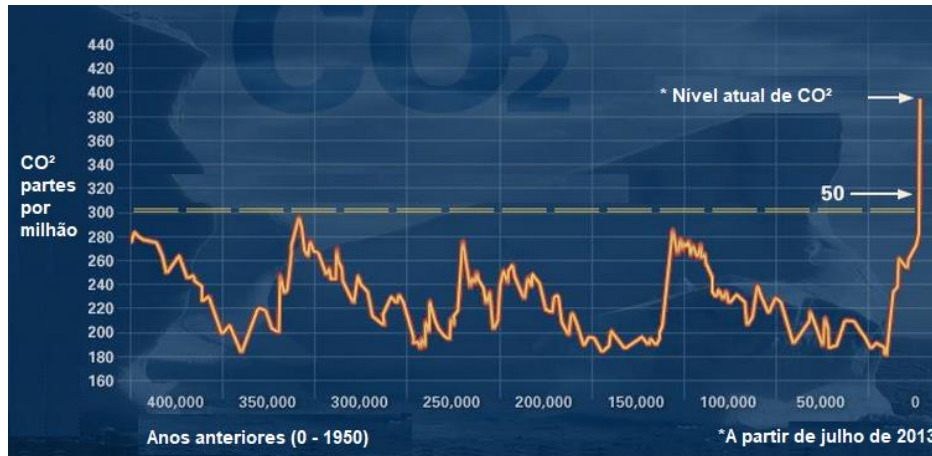
Em 1995 foi publicado o segundo relatório de avaliação do IPCC, no qual se constatou que os níveis de EE continuavam aumentando devido a atividades humanas, com reflexos nas mudanças climáticas (IPCC, 1995).

Em 1997 foi assinado o Protocolo de Quioto, no Japão. Foi estabelecido o compromisso dos países industrializados para a redução em média de 5% da emissão dos principais GEE em relação às emissões do ano de 1995. Para cumprir suas metas, os países desenvolvidos poderiam comprar créditos de carbono dos países em desenvolvimento (ONU, 1997).

O quarto relatório do IPCC foi publicado em 2007, comprovando evidências de aumento dos gases causadores do efeito estufa e alterações climáticas (IPCC, 2007). No mesmo ano o IPCC foi agraciado com o prêmio Nobel da Paz, pela relevância do seu trabalho.

Pela primeira vez desde que se iniciaram as medições em 1958, a concentração média diária de CO₂ na atmosfera medida no observatório de Mauna Loa, no Havaí, ultrapassou 400 partes por milhão (ppm) no ano de 2013 (Figura 2.1).

Figura 2.1 – Concentração de CO₂ em testemunhos de gelo até 1950 e na estação de Mauna Loa, Havaí a partir desta data.



Fonte: Nasa (2013).

O CO₂ é o principal GEE, o seu acréscimo na atmosfera intensifica o aumento da temperatura e, conseqüentemente, as mudanças climáticas. Sendo assim, torna-se necessários mecanismos para mitigar esse gás, reduzindo as emissões e aumentando o sequestro de C em biomassa ou solos (SOMMER; BOSSIO, 2014).

O quinto relatório do IPCC foi publicado em 2014 e representa a visão mais atual sobre as mudanças climáticas globais. As principais conclusões deste relatório foram as seguintes (IPCC, 2014):

- Houve aumento do forçamento radiativo de 2,69 W m⁻² na atmosfera (razão entre a quantidade de energia solar que entra e sai do nosso planeta, indicando o quanto ficou armazenado no sistema terrestre devido à presença dos GEE);
- Aumento médio global das temperaturas medidas sobre terra e oceanos de 0,85 °C entre 1880 e 2012;
- As três últimas décadas têm sido sucessivamente mais quentes em todo o planeta Terra;
- A troposfera vem se mantendo mais aquecida desde a segunda metade do século XX;
- A precipitação mostra tendências de aumento ou diminuição, conforme a região geográfica;

- O número de dias frios diminuiu e o número de dias quentes aumentou em escala global;
- Aumento na ocorrência de eventos extremos (chuvas, secas, ondas de calor, vendavais);
- Aumento nos níveis dos oceanos e sua acidificação;
- Derretimento das geleiras.

Foram simulados quatro cenários de concentrações de GEE, possíveis de acontecer até o ano de 2100. Dependendo do cenário, o aquecimento projetado para o final deste século pode variar entre 1,7 e 4,8 °C (IPCC, 2014).

A COP 21 (Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2015), realizada em Paris em 2015, representou um grande passo em direção ao controle das emissões, visando manter o aquecimento abaixo de 2°C em relação ao período pré-industrial até o final do século XXI. Todos os países membros firmaram metas de reduções que terão que ser implementadas. Nesse contexto as ações que visam reduzir emissões e sequestrar o carbono atmosférico passam a ganhar grande importância.

2.1.1 Estratégias de Combate às Mudanças Climáticas: Adaptação e Mitigação

Existem dois caminhos paralelos a seguir com relação às mudanças climáticas: adaptação e mitigação.

Adaptação - O conceito de adaptação pode ser definido de acordo com IPCC (2007) como “Ajuste nos sistemas naturais ou humanos em resposta aos estímulos esperados do clima e seus efeitos, com a finalidade de moderar danos ou explorar oportunidades de benefícios”. Vários tipos de adaptação podem ser distinguidos, incluindo adaptação preventiva e reativa, adaptação privada e pública, e adaptação autônoma e planejada. Adaptação se refere a todas as respostas às mudanças climáticas que podem ser usadas para reduzir a vulnerabilidade, ou para auferir vantagens de novas oportunidades que podem surgir como resultado de mudanças climáticas (BURTON et al., 1996). Vulnerabilidade às mudanças climáticas pode ser definida como “O quanto um sistema é suscetível ou incapaz de se ajustar aos efeitos adversos das mudanças climáticas, incluindo variabilidade climática e seus extremos. Vulnerabilidade é uma função do tipo, magnitude e taxa de variação climática a que um sistema está exposto, sua sensibilidade e sua

capacidade adaptativa” (IPCC, 2007).

Dentre as medidas de adaptação na agricultura, pode-se citar o desenvolvimento de variedades de plantas mais rústicas, resistentes a pragas e doenças e tolerantes a estresses ambientais (altas temperaturas, secas, excessos de chuvas), e atenuação do excesso de temperatura por meio de cultivos consorciados. Neste contexto os sistemas agroflorestais representam uma excelente oportunidade de adaptação, devido ao seu potencial de reduzir os extremos térmicos e promover a produção sustentável.

Mitigação – O termo mitigação, no contexto das mudanças climáticas se refere a todas as medidas destinadas a reduzir as emissões de GEE, bem como medidas de fixação do CO₂ atmosférico (ROGNER et al., 2007). No contexto deste trabalho, o carbono estocado pelo sistema agroflorestal de café com seringueira representa uma forma importante de mitigação, por meio do sequestro do CO₂ e acúmulo do carbono na biomassa e no solo.

Diante das evidências do aquecimento global, é urgente desenvolver atividades de mitigação e adaptação para reduzir os seus efeitos. As culturas agrícolas mais importantes do mundo incluindo trigo, soja e batata entre outras 22 commodities, poderão sofrer severas perdas decorrentes das mudanças climáticas projetadas (ABHISHEK RAJ, 2016; THORNTON, 2012). O setor agrícola enfrentará sérios desafios devido à sensibilidade das culturas ao déficit hídrico e estresse por altas temperaturas.

Estratégias de mitigação podem incluir o uso de novas tecnologias, energias renováveis, mudança em práticas de manejo, adotando o conceito de agricultura inteligente, incluindo práticas agrícolas mais eficientes e diferentes práticas agroflorestais para reduzir o impacto do aquecimento global. No atual cenário de mudanças climáticas, práticas agroflorestais vêm surgindo como uma opção viável para combater os impactos negativos das mudanças climáticas (SINGH; JHARIYA; RAJ, 2013).

Temperaturas mais elevadas podem provocar aumento na demanda evaporativa, causando estresse hídrico (RAMIREZ-VILLEGAS; CHALLINOR, 2012), além de aumentar o processo de respiração da planta, em detrimento da fotossíntese, com conseqüente redução na produtividade. Outro aspecto importante é que, com o aumento das temperaturas, o número de gerações de insetos pragas aumentará, bem como a proliferação de doenças vegetais (IPCC, 2007).

2.1.2 Estratégias do Brasil

Na COP 15 (Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2009), realizada em Copenhague – Dinamarca em 2009, o Brasil assumiu o compromisso de reduzir as emissões dos GEE, entre 36,1% e 38,9%, comparado aos níveis de 2005, até o ano de 2020 (ELZEN; 2011; HOF; ELZEN ROELFSEMA, 2013). Visando alcançar esta redução, pela Lei nº 12.187 de dezembro de 2009 (BRASIL, 2009), foi criada a Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC), que instituiu os planos setoriais de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas, tendo em vista uma economia de baixo consumo de carbono (BRASIL, 2010).

Dentre as estratégias da PNMC, foi desenvolvido o Plano de Agricultura de Baixo Carbono (ABC), com o intuito de promover a redução de emissões de GEE na agricultura, através do incentivo de sistemas de produção mais sustentáveis como por exemplo: Sistema Plantio Direto, fixação biológica de nitrogênio, recuperação de pastagens degradadas, florestas plantadas e sistemas agroflorestais (SAF) (BRASIL, 2011).

O Brasil, na COP 21, se comprometeu novamente a reduzir as emissões de GEE em 43% abaixo dos níveis de 2005, até 2030. Para chegar a esta meta, o país pretende aumentar a participação de energia sustentável na sua matriz energética com participação de 18% até 2030, e restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas. No setor agropecuário, fortalecer o plano de Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC) como a principal estratégia para o desenvolvimento sustentável na agricultura, restaurar 15 milhões de hectares de pastagens degradadas até 2030 e aumentar em 5 milhões de hectares os sistemas de integração lavourapecuária-florestas (ILPF) até 2030 (BRASIL, 2016).

2.2 A CULTURA DO CAFÉ

O café (*Coffea arabica* L.) é a bebida mais popular do mundo e a segunda “commodity” mais negociada, depois do petróleo (DAVIS et al., 2012), sendo um produto de grande importância para a economia dos países produtores. O café arábica é a principal espécie utilizada na produção de café, responsável por

70% da produção comercial (ICO, 2012). Nas safras de 2014 e 2015 a produção brasileira de café foi de 44 a 45 milhões de sacas beneficiadas de 60 kg, com faturamento em torno de 20 bilhões de reais . A safra de 2016 foi a segunda maior da história, com 51,37 milhões de sacas beneficiadas de 60 kg (CONAB, 2016).

A espécie *Coffea arabica* teve sua origem nos sub bosques das florestas tropicais da Etiópia e Sudão, em altitudes de 1.500-2.800 m. Nestas regiões, a temperatura média do ar varia entre 18 e 22 °C, com precipitação bem distribuída, entre 1.600 a 2.000 mm (SYLVAIN, 1955; CAMARGO, 2010). O cafeeiro arábica possui baixa irradiância de saturação, variando de 300 a 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (KUMAR; TIESZEN, 1980; FAHL et al., 1994), devido a sua origem em ambiente sombreado. Em ambiente de sombra moderada o cafeeiro encontra condições ideais de vegetação e produção estável.

Em condições de elevada irradiância, quando cultivado exposto a pleno sol, se não houver nutrição adequada ou ocorrer deficiência hídrica o crescimento é paralisado. Como o cafeeiro produz somente nos ramos que cresceram no ano anterior, a produtividade será menor, caracterizando o conhecido ciclo bienal de produção do cafeeiro (RESENDE et al., 2001; MARTINEZ et al., 2003).

As condições ambientais afetam a cultura do café durante as suas fases fenológicas. As variações no posicionamento geográfico (latitude, longitude) condicionam diferenças no fotoperíodo, com consequências no ciclo da cultura. A combinação de altitude e latitude propicia condições meteorológicas distintas, afetando os regimes térmicos e hídricos e refletindo na produtividade e qualidade da bebida (DAMATTA, 2004).

O ciclo fenológico produtivo do cafeeiro é de dois anos. Compreende no primeiro ano uma fase de crescimento vegetativo e preparação das gemas florais, para entrar no ciclo de produção propriamente dito no ano seguinte, iniciando com a abertura das flores até a maturação dos frutos. Camargo e Camargo (2001) subdividiram o ciclo fenológico completo do cafeeiro em seis fases: 1) vegetação e gemas foliares; 2) indução e maturação das gemas florais; 3) florada; 4) granação dos frutos; 5) maturação dos frutos; 6) repouso e senescência dos ramos terciários e quaternários.

Pezzopane et al. (2003) descreveram uma escala das fases fenológicas reprodutivas do cafeeiro com base em números: 0 (gema dormente); 1

(gema intumescida); 2 (abotoado); 3 (florada); 4 (pós-florada); 5 (chumbinho); 6 (expansão dos frutos); 7 (grão verde); 8 (verde-cana); 9 (cereja); 10 (passa); 11 (seco).

No estado do Paraná, Caramori et al. (2001) realizaram o zoneamento de risco climático da cultura do café, considerando os seguintes parâmetros para identificar as áreas aptas ao cultivo: temperatura média anual entre 19 e 24 °C; risco de geadas fortes inferior a 25%; deficiência hídrica anual inferior a 150 mm. Com tais critérios, de uma maneira geral as áreas localizadas em latitudes inferiores a 24 °S, no Norte do estado, apresentam condições aptas. Dentro dessas áreas existem condições microclimáticas que devem ser verificadas em cada propriedade agrícola para a escolha das áreas ideais de plantio.

Com temperatura média anual acima de 23 °C, o desenvolvimento e maturação dos frutos são acelerados, muitas vezes levando a perda de qualidade. A exposição contínua a temperaturas diárias elevadas pode resultar em escaldadura das folhas e depauperamento (DAMATTA; RAMALHO, 2006). A temperatura do ar acima de 32 °C durante a floração, associada com uma estação seca prolongada, pode causar aborto das flores (CAMARGO, 2010).

Devido ao risco de geadas, a cultura do café migrou para áreas de temperaturas mais elevadas e com deficiência hídrica pronunciada. Esta condição tem sido mais prejudicial à cultura do que as geadas, pois os prejuízos são mais frequentes. Para minimizar esses estresses, é frequente o uso da irrigação e do sombreamento moderado das lavouras, tornando o ambiente mais adequado ao café arábica, porém aumentando os custos de produção (DAMATTA; RENA, 2002).

2.2.1 Alterações Fisiológicas em Cafeeiros Sombreados

Os resultados obtidos nos trabalhos com cafezais arborizados variam e estão ligados diretamente aos fatores que afetam os processos fisiológicos do cafeeiro, como por exemplo o clima, condições experimentais, idade da planta, genótipo e principalmente a densidade do sombreamento.

O sombreamento em cafeeiros pode causar alterações em estruturas morfofisiológicas das plantas. Segundo resultados apresentados por Nascimento et al. (2006) o nível de radiação que chega às plantas pode afetar as características morfológicas e anatômicas das folhas, interferindo diretamente sobre

o desenvolvimento, função e estrutura foliar. Neste mesmo estudo foram observadas significativas reduções na taxa fotossintética, na temperatura foliar, na condutância estomática e na relação entre a fluorescência variável e fluorescência máxima (F_v/F_m) com aumento de sombreamento.

No entanto, a exposição de plantas de café a altos níveis de radiação solar e com altas temperaturas, leva à redução da taxa fotossintética (MORAIS et al., 2003), além de causar dano fotooxidativo às folhas de café, que pode ser facilmente observado em cafés cultivados a pleno sol (DAMATTA, 2004).

Baliza et al. (2012) avaliaram características fisiológicas e desenvolvimento de cafeeiros em diferentes níveis de sombreamento; com relação à fisiologia, os cafeeiros apresentaram melhor desempenho fotossintético abaixo de 35, 50 e 65% de sombreamento no período chuvoso. No entanto, no período seco, as plantas submetidas a 50% de sombreamento apresentaram maior assimilação de CO_2 .

Outra característica observada em cafeeiros sombreados quando comparados com cafeeiros a pleno sol é uma redução no número de ramos plagiotrópicos (MORAIS et al. 2003; KANTEN; VAAST, 2006). Este comportamento é confirmado por Larcher (2000), que reporta que as plantas que se desenvolvem sob alta radiação investem em crescimento de ramos. Baliza et al. (2012) também constataram um aumento na altura dos cafeeiros sombreados, mas com redução do diâmetro e número de ramos plagiotrópicos. Portanto, a síntese aumentada de fotoassimilados eleva o crescimento vegetativo (MELO et al., 2008).

Assim, o uso de árvores pode ser uma boa opção para a redução das altas temperaturas e excesso de radiação, mas a interceptação da radiação pelas copas deve ser contralada, para que não haja sombra excessiva que pode levar a reduções de produtividade (MOREIRA et al., 2018).

2.2.2 Impactos das Mudanças Climáticas na Cultura do Café

Analisando os cenários projetados de mudanças climáticas globais, pode ocorrer um grande impacto sobre a produção de café em áreas tradicionais cafeeiras no Brasil (MOREIRA et al., 2018). Assumindo que não haja mudanças genéticas nas cultivares atualmente disponíveis e que permaneça o cultivo a pleno sol em condições não irrigadas, o aumento das temperaturas poderá reduzir o cultivo

pelo fato da espécie ser adaptada a temperaturas amenas.

Assad et al. (2004) realizaram simulações considerando cenários de aquecimento de 1,0 a 5,8 °C. Os valores de aumento de temperatura foram acrescentados às séries históricas e foram novamente calculados os balanços hídricos e analisados os novos limites térmicos de acordo com os critérios: risco de geada (temperatura mínima no abrigo inferior a 1 °C) com probabilidade inferior a 25%; temperatura média anual entre 18 °C e 22 °C para lavouras não irrigadas e até 23 °C para cafeicultura irrigada; deficiência hídrica anual inferior a 150 mm ano⁻¹. O estudo não considera a possibilidade de aumento de ocorrência de eventos extremos como excesso de chuvas, ondas de calor e a adoção de práticas de adaptação como a arborização. Os autores concluíram que com o aumento de 1 °C, 3 °C e 5,8 °C na temperatura média anual do planeta, o cultivo do café arábica nos estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Paraná será drasticamente reduzido nos próximos 100 anos, se mantidas as condições genéticas e fisiológicas das atuais variedades.

Pinto et al. (2008) avaliaram os impactos das mudanças climáticas na cultura do café utilizando o modelo climático PRECIS, e concluíram que se não houver alguma ação de adaptação para o aquecimento a 5,8 °C previsto para 2100, as mudanças climáticas inviabilizariam a cafeicultura na região Sudeste do Brasil (Minas Gerais e Estado de São Paulo).

Andrade et al. (2012) realizaram o zoneamento do café robusta para o estado do Paraná e concluíram que para espécie *Coffea canephora* o cultivo na região noroeste e parte das regiões oeste e norte do Paraná é favorável para esta espécie, nas condições atuais de clima. Avaliaram também alguns cenários previstos pelo IPCC em 2007 e apresentaram como resultado uma ampliação do potencial de cultivo do café robusta no estado no cenário de aumento de 1,8 °C e no segundo cenário com 4 °C o estado passa a ter novas regiões com restrições ao cultivo do café Robusta, devido às altas temperaturas, mas abre também a possibilidade de novas áreas de cultivo.

Essas previsões têm gerado grande preocupação para cientistas e produtores ligados à produção de café brasileira (CAMARGO, 2010). Resultados de impactos divulgados sobre o aquecimento global, chegaram a apresentar cenários onde as reduções podem atingir valores tão altos quanto 95% nos estados brasileiros Goiás, Minas Gerais e São Paulo, e 75% no Paraná (ASSAD et al., 2004).

A variabilidade na precipitação, longos períodos de seca e eventos climáticos extremos estão se tornando mais comuns em várias áreas produtoras de café do mundo (SCHROTH et al., 2009; ERICKSEN et al., 2011). As mudanças climáticas tendem a aumentar a incidência de pragas e doenças, que também podem causar uma redução de safra e aumentar os custos de produção (OVALLE-RIVERA et al., 2015).

Outro aspecto importante é a possibilidade de perda na qualidade do café decorrente do aumento das temperaturas. Em condições de temperaturas mais elevadas, as etapas de formação do fruto são aceleradas e alguns atributos de qualidade não são agregados, a produção sob sombreamento pode melhorar a qualidade dos frutos, em virtude do prolongamento do período de amadurecimento, o que está relacionado com alterações no metabolismo de trigonelina, ácido clorogênico e carboidratos (VAAST et al., 2006; DAL MOLIN et al., 2008). Considerando ainda os cenários de possíveis aumentos nas chuvas e a possibilidade de aumentarem os períodos com chuvas intensas (IPCC, 2014), poderá haver também prejuízos na qualidade, principalmente nas áreas localizadas no extremo sul das regiões aptas ao cultivo, normalmente mais chuvosas (CAVIGLIONE et al., 2000).

Camargo (2010) conclui que é necessário aplicar algumas estratégias de mitigação para a cultura do café visando atenuar o impacto das temperaturas desfavoráveis, sugerindo sistemas de arborização com diferentes espécies de árvores para uso como: grevílea robusta, cedrinho, macadâmia, seringueira, banana prata, abacate e coco anão, entre outras.

2.3 A CULTURA DA SERINGUEIRA

A seringueira pertence ao gênero *Hevea*, da família Euphorbiaceae e compreende onze espécies, das quais a *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg. é a mais plantada comercialmente. Sua origem foi na região Amazônica brasileira (GONÇALVES; ORTOLANI; CARDOSO, 1997; MORENO et al., 2003). São árvores de porte médio a grande, podendo atingir até 50 m de altura e 1 m a 1,5 m de diâmetro (PIREZ; SECCO; GOMES, 2002). O principal produto extraído da seringueira é o látex, que é utilizado para produção da borracha natural.

Devido ao interesse na borracha natural pelas indústrias

automobilísticas, houve uma grande expansão da cultura para várias regiões do Brasil e América Central. Em 1913 uma doença causada pelo fungo *Microcyclus ulei*, denominada de “mal-das-folhas”, tornou-se um grande problema nas plantações, reduzindo a produção de látex e levando ao abandono de seringais (ROGERS; PETERSON, 1978; MATTOS et al., 2003). Devido a esta epidemia e à falta de políticas adequadas, o Brasil se obrigou a importar aproximadamente dois terços das suas necessidades de látex de países do sudeste asiático, que respondem por 98% da produção mundial (MORCELI, 2004).

O Brasil possui tecnologia que viabiliza a exploração comercial das seringueiras, mas existe a necessidade do plantio de seringais em áreas livres do ataque do fungo, que devem ser definidas por zoneamento de áreas climaticamente desfavoráveis (FURTADO; TRINDADE, 2005). A área plantada no Brasil é de aproximadamente 212 mil ha (IBGE, 2013).

Camargo, Marin e Camargo (2003) realizaram o zoneamento climático da seringueira no Brasil, considerando restrições por temperatura, risco de ocorrência do mal das folhas e deficiência hídrica. As áreas aptas sem restrição ao cultivo localizam-se no Sudeste, Centro-Oeste e Norte do Paraná. As áreas da Amazônia são inaptas para o cultivo de clones suscetíveis devido a incidência severa do mal-das-folhas em monocultivos.

A madeira da seringueira também contribui para agregar valor de mercado, depois do ciclo produtivo do látex, podendo ser destinada para lenha, carvão e outros produtos como compensados, MDF, chapas de cimento-madeira e móveis. Recentemente também a borracha de pneus usados tem sido utilizada em misturas como asfalto e pavimentação de estradas. Pesquisas recentes têm sido direcionadas para melhoramento de clones, visando a produção de látex e madeira (SANTANA; EIRA, PASTORE, 2001; OKINO et al., 2004; MORAIS, 2014).

2.4 SISTEMAS AGROFLORESTAIS

O início dos sistemas agrofloretais (SAFs) se deu em meados de 1977 através do "Conselho Internacional de Pesquisa em Agrofloresta", em Nairóbi-Quênia. Na América Latina, teve início ao mesmo tempo por diversos projetos financiados pela Alemanha no Centro de Pesquisa e Ensino Superior em Agricultura Tropical (CATIE), com sede na Costa Rica, que foi a instituição pioneira que liderou

o desenvolvimento agroflorestal na América Latina. Os SAFs possuem um grande potencial em estocar C acima e abaixo do solo, devido à grande quantidade de materiais orgânicos que são adicionados em superfície e em profundidade. A quantidade de carbono estocado varia de acordo com o tipo de sistema, composição de espécies, idade das espécies e de seus componentes, localização geográfica, fatores ambientais e manejo (JOSE, 2009; MONTAGNINI; NAIR, 2004; MUÑOZ; BEER, 2001; OELBERMANN, VORONEY, 2007).

Os SAFs podem ser definidos como sistemas de manejo sustentado do solo, por meio da combinação de espécies florestais com cultivos agrícolas e/ou animais, de forma simultânea ou consecutiva, utilizando a mesma área de terreno e práticas de manejo adotadas pela população local, visando benefícios ambientais e econômicos entre seus diferentes componentes (MEDRADO, 2000; KUMAR; NAIR, 2011). Os SAFs constituem um conjunto de técnicas de uso e manejo dos recursos naturais, envolvendo as interações entre o clima, o solo, a vegetação e o homem (VALE et al., 2006). Comparado com o monocultivo, os SAFs se aproximam mais dos sistemas naturais, conferindo maior estabilidade da produção e sustentabilidade ecológica (DANTAS, 1994). Trabalhos de pesquisas sobre as funções de produção e proteção ambiental dos SAFs forneceram as bases necessárias para eleger esses sistemas como formas sustentáveis de produção (NAIR; GARRITY, 2012).

MACEDO (2000) destaca as principais vantagens físicas e biológicas dos SAFs: redução dos riscos ao produtor pela heterogeneidade de seus componentes; exploração racional dos recursos naturais por meio da combinação de espécies com diferentes exigências hídricas, nutricionais e de luminosidade; maior controle da erosão; maior aproveitamento dos fertilizantes pela presença de sistemas radiculares que exploram várias camadas do solo; estímulo ao controle biológico de pragas e doenças; e fixação de carbono, contribuindo para mitigar o aquecimento global (OELBERMANN; VORONEY; GORDON, 2004; TORRES et al. 2014).

Os SAFs têm o potencial de agregar valor à produção, por meio da exploração dos produtos de duas ou mais espécies em consórcio, seguindo os princípios da produção sustentável. O cultivo associado de árvores e arbustos com cultivos agrícolas e pastagens contribui para explorar o potencial de uso do solo, mantendo ou melhorando as propriedades físicas e químicas do solo e recuperando o seu potencial produtivo. Além de aumentar a produção de alimentos, madeira,

serviços ambientais e melhorar a qualidade de vida dos produtores, também contribuem para adaptação e mitigação dos impactos das mudanças climáticas (RODRIGUES et al., 2007; MBOW et al., 2014a, 2014b).

Nas últimas décadas, as pesquisas têm revelado que os SAF podem aumentar ou manter a produtividade dos sistemas agrícolas, protegendo os recursos naturais e favorecendo os sistemas ambientais, melhorando a polinização, controle e prevenção de pragas, fixação de carbono e, conservando a saúde do solo, qualidade da água e biodiversidade. Os SAFs têm sido uma ferramenta para a "intensificação sustentável" de uso dos solos, que baseia-se na biologia e agroecologia dos sistemas de produção (MUSHLER, 2016). Os SAFs não são capazes de neutralizar todos os problemas, mas fornecem muitos princípios fundamentais para o desenvolvimento de sistemas agrícolas produtivos, ao mesmo tempo que favorecem a sustentabilidade ambiental (FAO, 2013).

A associação de árvores com cultivo agrícola provoca modificações no microclima, devido à interceptação da radiação solar incidente e redução dos ventos e conseqüente alteração dos balanços energético e hídrico. De uma maneira geral, ocorre redução da radiação solar global e fotossintética, diminuição dos ventos, atenuação dos extremos térmicos (redução das máximas e aumento das mínimas), diminuição da radiação líquida durante o dia e redução das perdas radiativas durante a noite, minimizando os danos de geadas (CARAMORI et al., 2004; 2006).

O sucesso no cultivo de SAFs depende de se estabelecer a população ideal da espécie arbórea que permita a passagem da quantidade ideal de radiação solar para a cultura no dossel inferior, de forma a maximizar a produção econômica do sistema. Em particular, diversos estudos foram realizados em sistemas agroflorestais de café com espécies arbóreas manejadas, os quais resultaram na adoção dessa prática na América Central (CATIE, 1999; 2001).

2.4.1 Sistemas Agroflorestais de Café com Outras Espécies

Diversos estudos mostram que, com a introdução de espécies de porte mais alto que o cafeeiro, ocorre atenuação das temperaturas mais elevadas durante o dia. A magnitude dessa atenuação depende da população das árvores associadas ao cafezal e da densidade das suas copas. A interceptação por árvores

deve ser moderada, já que a sombra excessiva pode levar a reduções no rendimento da colheita (MOREIRA et al., 2018). Diversas espécies de hábitos de crescimento arbustivo e arbóreo, incluindo *Grevillea robusta*, *Leucena leucocephala*, *Mimosa scabrella* (bracatinga) e *Cajanus cajan* (guandu) têm sido estudadas (CARAMORI; ANDROCIOLI FILHO; LEAL, 1996; BAGGIO et al., 1997; CARAMORI; LEAL; MORAIS, 1999; MORAIS et al., 2006).

Em geral têm sido observadas reduções das temperaturas máximas de 3 a 5 °C devido a interceptação da radiação solar incidente. Em estudos realizados com coqueiro-anão-verde, bananeira e macadâmia foi relatado uma redução nas temperaturas diurnas, na incidência de ventos nas copas dos cafeeiros e redução de radiação fotossintética sobre as plantas de café. Nos casos em que há decréscimo da radiação incidente acima de 20%, pode haver perdas na produção de café (DAMATTA, 2004; PEZZOPANE; PEDRO JUNIOR; GALLO, 2007; PEZZOPANE et al., 2010; PEZZOPANE et al., 2011).

Estudos realizados por Moreira et al. (2018) em sistema agroflorestal de café com macaúba mostraram aumento de produtividade em cafés sombreados quando comparados a pleno sol. Houve aumento da atividade fotossintética com temperaturas máximas inferiores a 30 °C. Os autores concluíram que este sistema de café com macaúba pode ser uma estratégia de adaptação a futuras variações climáticas e mudança relacionada a altas temperaturas e redução das chuvas.

A implantação e formação das lavouras de café tem sido muito difícil sem o uso de irrigação em lavouras expostas a pleno sol. Os solos degradados, com baixo teor de matéria orgânica e menor retenção de água nas camadas superficiais, expostos a temperaturas elevadas, fazem com que as plantas jovens de cafeeiro sofram rápida desidratação e morte, resultando em elevada porcentagem de replantio. A irregularidade das chuvas e ocorrência de veranicos tornam esse quadro ainda mais complicado.

Com a finalidade de minimizar esses problemas, desenvolveu-se a técnica do túnel de guandu (HUGO; CARAMORI, 2004; CARAMORI; HUGO, 2004) para implantação da lavoura de café. Nesse sistema, faz-se todo o preparo das covas para plantio do cafeeiro na primavera e o guandu gigante é semeado nas entrelinhas dos cafeeiros em outubro. As plantas são conduzidas com desbaste de ramos baixos, de maneira que por volta de fevereiro formam um túnel cobrindo as linhas de café. Nessa fase faz-se o plantio do cafeeiro, em ambiente sombreado.

Devido à redução da radiação solar incidente, a demanda evaporativa se torna muito baixa, viabilizando o pegamento total das mudas. No inverno seguinte o sistema oferece proteção contra geadas aos cafeeiros (CARAMORI et al., 1999; MORAIS et al., 2006), evitando perdas. Passado o inverno os guandus são podados, permitindo a penetração de luz e o desenvolvimento dos cafeeiros.

Outra vantagem dos sistemas arborizados é a maior capacidade de fixação do carbono pelas árvores associadas ao café, pois o carbono fixado por espécies perenes permanece na biomassa por um maior período comparado com cultivos de ciclos anuais (HAGER, 2012).

2.4.1.1 Sistema agroflorestal de café com seringueira

O SAFs de café com seringueira já vêm sendo utilizados comercialmente nas regiões produtoras, com resultados muito promissores. O sistema de plantio em filas duplas de seringueira tem sido preconizado pela menor competição, maior agilidade na sangria e facilidade de efetuar as operações no cafezal (PEREIRA et al., 2000). Através do cultivo com arranjo de plantas adequado, este sistema contribui para uma maior proteção do cafeeiro contra ventos frios, geadas e altas temperaturas, além de possibilitar agregar uma fonte de renda extra para os cafeicultores (NASCIMENTO et al., 2006).

A introdução de árvores de seringueira provoca alterações no microclima do cafeeiro, com reflexos na fisiologia e morfologia das plantas proporcionais ao nível de competição. Oliveira et al. (2004, 2006) avaliaram características anatômicas e trocas gasosas em plantio de café com seringueira, com o intuito de verificar alterações fisiológicas nas plantas em consórcio. Concluíram que houve redução na radiação solar e nas temperaturas, diminuindo assim a demanda evaporativa e favorecendo o processo fotossintético do cafeeiro. Esse sistema de cultivo não alterou a anatomia foliar dos cafeeiros na fase inicial de implantação, indicando baixa competição por luz.

Segundo Valentini et al. (2010) o sistema de plantio de café com seringueira reduz a amplitude térmica durante todo o ano, com aumento nas temperaturas mínimas durante o inverno de até 2 °C, e redução das temperaturas máximas no verão de até 3 °C nos dias mais quentes. Essa reduções foram registradas durante a primavera e verão, quando ocorrem a floração e frutificação,

estágios fenológicos críticos para o cafeeiro.

A revisão do conhecimento acumulado sobre a cafeicultura e seu cultivo em sistemas agroflorestais mostra que é possível produzir de forma sustentável, adaptando o cultivo a ambientes mais aquecidos e contribuir para mitigar os efeitos do aquecimento global por meio do sequestro do CO₂ e imobilização do carbono na biomassa e no solo.

2.4.2 Fixação de Carbono em Sistemas Agroflorestais

O processo ocorre por meio da absorção do CO₂ atmosférico no processo de fotossíntese e a consequente fixação do carbono em reservatórios estáveis, como a madeira e o solo (BARRETO; FREITAS; PAIVA, 2009; ATANGANA et al., 2014). Os SAFs têm recebido muita atenção em relação à capacidade de capturar CO₂ atmosférico e armazenar C em plantas e no solo (NAIR, 2012). Além de atuar como fonte e sumidouros de CO₂ atmosférico, também protege a biodiversidade e a conservação do solo (SRIVASTAVA et al., 2016; JOSÉ, 2009).

Com a criação do conceito de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) na Conferência de Kyoto em 1997 (ONU, 1997), abriu-se a perspectiva para os países desenvolvidos investirem em projetos de fixação de carbono em países em desenvolvimento. Por esse mecanismo os países emissores podem abater o CO₂ sequestrado do total de suas emissões, enquanto que os países em desenvolvimento recebem por realizar esse serviço ambiental.

O maior potencial de fixação de carbono é das espécies florestais, pois grande parte do C é armazenado nos tecidos lenhosos (ATANGANA et al., 2014). Os SAFs também têm um grande potencial de fixação de carbono na biomassa e no solo, por serem constituídos de pelo menos uma espécie arbórea em consórcio com outras espécies, cultivados dentro dos princípios da sustentabilidade (VALE et al., 2006). Segundo Nair et al. (2010) os sistemas agroflorestais têm um potencial de armazenar um total de 0,29 a 15,21 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ acima do solo, e 30 a 300 Mg C ha⁻¹ até 1 m de profundidade no solo, em diferentes SAFs de diversos locais do mundo.

A seringueira é uma espécie arbórea com grande capacidade de fixar CO₂ da atmosfera, através do acúmulo de carbono na biomassa, borracha natural e no solo. O que potencializa a fixação de carbono pela seringueira, quando

comparado às demais espécies arbóreas, é que uma tonelada de borracha seca possui aproximadamente 880 kg de carbono. Uma tonelada de carbono equivale a 3,67 Mg CO₂ equivalente, que é a moeda de troca no mercado de carbono. Assim, uma tonelada de borracha seca corresponde a 3,22 Mg CO₂ equivalente (MORAIS, 2014).

Árvores de seringueira com 15 anos de idade retiraram anualmente da atmosfera 16,6 Mg C ha⁻¹, enquanto áreas com pastagens absorveram 14,3 Mg C ha⁻¹ (OKINO, 2009). A vantagem da seringueira é que o carbono fixado nos tecidos lenhosos permanece fixado, enquanto que a biomassa da pastagem é decomposta e parte do CO₂ é reciclado.

Cotta et al. (2008) mediram o carbono fixado em um sistema agroflorestal de seringueira com 34 anos e cacau com 6 anos na Bahia, obtendo 91,5 Mg C ha⁻¹ no sistema, sendo 84,7 Mg C ha⁻¹ estocados na seringueira, 5,2 Mg C ha⁻¹ no cacaueiro e 1,6 Mg C ha⁻¹ na serapilheira. Morais (2014) mediu 23 Mg C ha⁻¹ em uma plantação de seringueira com 17 anos em Manaus, valor superior aos obtidos em florestas primárias da região.

O total de carbono fixado depende do local (clima, fertilidade, manejo), do clone e da densidade populacional. Medições na África em Gana e no Mato Grosso, Brasil, em plantações com 14 anos identificaram 135 e 153 Mg C ha⁻¹ fixado em todo o sistema (biomassa mais solo) (WAUTERS et al., 2008). Maggiotto et al. (2014) mediram em torno de 90 Mg C ha⁻¹ de carbono fixado em uma plantação de seringueira com 15 anos de idade no Norte do Paraná. Petsri et al. (2013) observaram que o acúmulo de carbono continuou crescendo em plantações com até 25 anos na Tailândia, atingindo 128,4 Mg C ha⁻¹.

No SAFs de café com seringueira o total de carbono fixado pode ser inferior ao de uma plantação solteira de seringueira, devido ao menor potencial de fixação do cafeeiro. No entanto, considerando os benefícios do cultivo consorciado, essa pode ser uma vantagem adicional para se adotar este sistema.

2.4.3 Fixação de Carbono no Solo

A fixação de carbono em solos agrícolas tem sido bastante discutido como uma maneira promissora para mitigação das mudanças climáticas (LAL, 2011; SMITH et al., 2008). As discussões estão baseadas no volume de C armazenado,

bem como na ampla cobertura de áreas agrícolas, que ocupam 37% da superfície terrestre. O C encontrado nos solos de 1 MOF (Metal-Organic Framework) é estimado em cerca de 2000 e 2500 Gt, enquanto cerca de 60% são orgânicos (SOC) e cerca de 40% inorgânicos (JANZEN, 2004; SOMMER; DE PAUW, 2011). Portanto, a quantidade de C nos solos, é maior que a quantidade de C na biomassa (por exemplo, duas vezes a vegetação e três vezes a da atmosfera) (LAL, 2008; SOMMER; BOSSIO, 2014; SRIVASTAVA et al., 2016).

O total de fixação de carbono em sistemas agroflorestais tende a ser superior em solos férteis e úmidos quando comparado a áreas áridas, semiáridas e degradadas. Este sistema se mostra mais eficiente na busca por recursos disponíveis, assim favorece um maior crescimento da biomassa e pode resultar numa maior entrada de carbono no solo (LORENZ; LAL, 2014).

Em SAFs as árvores possuem sistemas radiculares extensos que crescem profundamente no solo e armazenam C em camadas mais profundas (NAIR et al., 2010). O carbono derivado das raízes tem uma estabilização mais rápida no solo, por interações físico-químicas com outras partículas, comparado ao carbono derivado da parte aérea (RASSE et al., 2005).

A fixação de C no solo varia muito dependendo do sistema agroflorestal (NAIR et al., 2009). Por exemplo, Gama-Rodrigues et al. (2010) encontraram concentrações bastante elevadas, com um total de 302 Mg C ha⁻¹ a 1,00 m, para sistemas agroflorestal de cacau de 30 anos no Brasil. Rocha et al. (2014) obtiveram de 128,81 a 190,58 Mg C ha⁻¹ em 0,40 m de um Latossolo em Minas Gerais, com sistemas agroflorestal de melíferas, madeireiras, frutíferas e medicinais. Moraes et al. (2011) comprovaram que na região semiárida cearense sistemas agroflorestais aumentam os teores de C orgânico do solo, quando comparado a sistema convencional de cultivo com totais de C orgânico variando de 8,0 a 25,7 g kg⁻¹.

Em sistemas de cultivo com seringueiras, Maggiotto et al. (2014) mediram em torno de 79,3 Mg C ha⁻¹ de carbono sequestrado em até 0,60 m de solo, em uma plantação de seringueira com 15 anos de idade no Noroeste do Paraná.

Para estimar o estoque de C do solo, o método que tem sido mais utilizado é através da abertura de trincheiras, onde são coletadas amostras de solo deformadas para análises do teor de C em laboratório, e amostras indeformadas

para determinação da densidade do solo.

2.4.4 Estoque de Biomassa e Carbono

2.4.4.1 Biomassa

Os métodos de determinação e estimativa da biomassa dividem-se em diretos e indiretos.

Os métodos indiretos são baseados em estimativas por meio de equações alométricas ou sensores remotos. Normalmente se determina a biomassa de alguns indivíduos e posteriormente se correlaciona com as variáveis Diâmetro à Altura do Peito (DAP), Altura e Volume (SANQUETTA; BALBINOT, 2004). Os métodos diretos são realizados com determinação, enquanto que os indiretos são baseados em estimativas. Normalmente se realizam medições em algumas plantas, que são escolhidas com critérios estatísticos e depois se ajustam modelos de estimativa para grandes áreas (SANQUETTA; BALBINOT, 2004).

A determinação direta da biomassa requer o corte e medição das plantas, uma vez definidos os indivíduos representativos da população. Pode-se pesar toda a planta, com ou sem as raízes, ou separar os componentes caule, galhos, ramos, folhas, frutos, realizando-se a pesagem do material verde no campo. A seguir retira-se amostras para pesagem e secagem em estufas, a fim de determinar a massa seca e o carbono presente nos componentes (SANQUETTA; BALBINOT, 2004).

A determinação da biomassa das raízes normalmente é a parte mais trabalhosa, devido à necessidade de arrancar o material. Uma alternativa é realizar uma escavação superficial no entorno do tronco, recolher as raízes superficiais e depois retirar a raiz principal com correntes acopladas ao hidráulico de um trator (OLIVEIRA et al., 2006).

A serrapilheira (material vegetal caído sob as copas não decomposto) pode ser medido com a colocação aleatória de caixas de 0,5 x 0,5 m sob a copa da árvore amostrada (SANQUETTA; BALBINOT, 2004; OLIVEIRA et al., 2006 (b)).

2.4.4.1 Carbono

Para determinação do carbono total, tanto no solo como na biomassa vegetal, podem ser utilizados dois métodos, de combustão úmida ou seca. O teor de C é quantificado através da conversão em CO₂ das substâncias orgânicas presentes na amostra quando ocorre a combustão (GATTO et al., 2009). O método de via úmida de Walkley e Black (1934) (WB) ainda é o mais utilizado em laboratórios devido à sua simplicidade, requerimento de instrumentação simples e baixo custo. Entretanto, problemas ambientais devido o uso de cromo (BRUNETTO et al., 2006), têm estimulado a substituição desse procedimento por outros que geram menor quantidade de resíduos potencialmente tóxicos.

Existem diferentes métodos por via seca que vêm sendo aplicados para análise de carbono. Um deles é de análise elementar, no qual normalmente são quantificados os elementos C, H, N, S e O. Este método é baseado na oxidação das amostras em alta temperatura (900 a 1000°C). As amostras são finamente moídas e colocadas em compartimento que não contenha carbono. Após combustão total, os gases contendo cada elemento são separados e as concentrações medidas por diferentes tipos de detectores que variam de acordo com o equipamento. Os tipos mais comuns são detectores de condutividade térmica e de infravermelho (SATO, 2013; ELEMENTAR, 2007).

Gatto et al. (2009) demonstraram que o método que utiliza o analisador elementar é considerado o de maior exatidão, devido aos baixos valores de desvio padrão obtidos. Os autores verificaram alta correlação entre os métodos de dicromatometria com a análise elementar, principalmente com o método WB.

3 ARTIGO A - FIXAÇÃO DE CARBONO EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL DE CAFÉ COM SERINGUEIRA

3.1 RESUMO

Com as fortes evidências sobre mudanças climáticas e o aquecimento global, há um grande interesse em conhecer os estoques de carbono na biomassa vegetal e no solo dos sistemas de cultivo. O café, por ser uma espécie perene, supõe-se ter condições de fixar o carbono de maneira mais duradoura do que os cultivos anuais. O consórcio em sistemas agroflorestais pode aumentar esse potencial, tornando o sistema de cultivo mais sustentável e uma boa alternativa de mitigação do aquecimento global. Neste trabalho foram determinados os estoques de carbono presentes na biomassa vegetal e no solo, em um sistema agroflorestal de café com seringueira. O experimento foi conduzido em Londrina, PR, na fazenda experimental do IAPAR (Instituto agrônomo do Paraná), em cafeeiros consorciados com seringueira com 16 anos. Foram avaliados cafeeiros plantados a pleno sol e em consórcio com seringueiras plantadas em filas duplas de 4,0 x 2,5 m e espaçadas de 16 m entre filas duplas, em um esquema experimental em blocos ao acaso, com quatro repetições. Foram amostradas 10 árvores de seringueira e 6 plantas de café por repetição, perfazendo um total de 24 cafeeiros. A biomassa foi determinada pelo método destrutivo, separando-se a parte aérea e as raízes. Amostras de solo foram coletadas por camadas até a profundidade de 0,70 m e o carbono no solo foi determinado por combustão total. Os resultados comprovam incremento do carbono fixado no sistema agroflorestal, comparado com o cultivo a pleno sol. O carbono total na biomassa e no solo até 0,70 m de profundidade foi de 148,34 Mg ha⁻¹ para o café a pleno sol, enquanto o consórcio café e seringueira foi de 195,6 Mg ha⁻¹. Conclui-se que o sistema agroflorestal de café com seringueiras em filas duplas apresenta potencial de fixação de carbono superior ao café a pleno sol.

Palavras Chave: estoques de carbono, biomassa vegetal, carbono do solo, mitigação, aquecimento global.

3.2 ABSTRACT

With the certainty of climate change and global warming, there is a great interest in knowing the carbon stocks in the biomass and in the soil of the cropping systems. Coffee, as a perennial species, can immobilize carbon more permanently than the annual crops. The association in agroforestry systems can increase this potential, making the cropping system more sustainable and a good alternative to help mitigate global warming. In this work the carbon stocks present in the biomass and the soil were determined in an agroforestry system of coffee with rubber tree. The field experiment was conducted in Londrina, PR, Brazil, at the experimental farm of IAPAR (Agronomic Institute of Paraná), in a coffee plantation consorted with rubber

trees with 16 years in the field. Coffee trees were planted in full sun and in a consortium with rubber trees planted in double rows of 4.0 x 2.5 m and spaced 16 m between double rows, in a randomized blocks experimental design with four replications. Ten rubber trees and six plants of coffee were sampled per replication, making a total of 24 coffee trees. The biomass was determined by the destructive method, separating the aerial part and the roots. Soil samples were collected by layers up to a depth of 0.70 m and soil carbon was determined by dry combustion. The results showed a significant increase of the carbon fixation in the agroforestry system due to the contribution of the rubber trees, compared to the coffee cultivation in full sun. Considering the total carbon in the biomass and in the soil up to 0.70 m, the coffee in full sun presented an average of 148.34 Mg ha⁻¹, while the coffee + rubber trees consortium had 195.6 Mg ha⁻¹. It is concluded that the agroforestry system of coffee with rubber trees in double rows presents potential of carbon fixation significantly superior to the coffee in full sun.

Keywords: carbon stocks, biomass, soil carbon, mitigation, global warming.

3.3 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e a segurança alimentar são dois temas amplamente discutidos em todo o mundo. Segundo dados do IPCC (IPCC, 2014) o aquecimento projetado para o final deste século pode variar entre 1,7 e 4,8 °C. O aumento de CO₂ atmosférico é uma das grandes preocupações dos cientistas, por ser o principal gás que contribui para as mudanças climáticas. Dentre as opções de mitigação dos efeitos do aquecimento global, a retirada do CO₂ da atmosfera e sua fixação na biomassa vegetal e no solo são alternativas preconizadas.

A conversão dos sistemas agrícolas convencionais em sistemas agroflorestais (SAFs) é uma prática recomendada pelo IPCC (IPCC, 2001), na qual árvores são plantadas entre as culturas agrícolas com a intenção de sequestrar o CO₂ atmosférico. A fixação de carbono ocorre com a absorção de CO₂ pelo processo de fotossíntese e a sua imobilização em biomassa e reservatórios estáveis, como a madeira e o solo (BARRETO et al., 2009; SHIBU; SOUGATA, 2012; ATANGANA et al., 2014). Os SAFs também têm o potencial de aumentar a fertilidade e reduzir a erosão dos solos, melhorar a qualidade da água e ampliar a biodiversidade (NAIR et al., 2009).

As condições ambientais afetam a cultura do café durante as suas fases fenológicas. As variações no posicionamento geográfico (latitude, longitude)

condicionam diferenças no fotoperíodo e radiação solar incidente, com consequências no ciclo da cultura. A combinação de altitude e latitude propicia condições climáticas distintas, afetando os regimes térmicos e hídricos e refletindo na produtividade e qualidade da bebida (DAMATTA, 2004).

Diversos estudos mostram que a introdução de espécies de porte mais alto que o cafeeiro proporciona a atenuação das temperaturas mais elevadas durante o dia. A magnitude dessa atenuação depende da população das árvores associadas ao cafezal e da densidade das suas copas. Diversas espécies de hábitos de crescimento arbustivo e arbóreo têm sido estudadas em consórcio com café no Brasil e no mundo: Guandu (*Cajanus cajan*), Grevilea (*Grevillea robusta*), Banana (*Musa*), Seringueira (*Hevea brasiliensis*), Coqueiro-Anão (*Cocos nucifera var. nana*) são algumas delas (CARAMORI; ANDROCIOLI FILHO; LEAL, 1996; BAGGIO et al., 1997; CARAMORI; LEAL; MORAIS, 1999; MORAIS et al., 2006; VALENTINI et al., 2010; PARTELLI et al., 2014; MEYLAN et al., 2017). Em geral têm sido observadas reduções das temperaturas máximas de 3 a 5 °C devido à interceptação da radiação solar incidente.

Os SAFs de café com seringueira já vêm sendo utilizados comercialmente nas regiões produtoras de café, com resultados muito promissores. O sistema de plantio em filas duplas de seringueira tem sido preconizado pela menor competição entre plantas, maior agilidade na sangria do latex e facilidade de efetuar as operações no cafezal. Promove mudanças nas condições microclimáticas, reduzindo o nível de irradiância, atenuando temperaturas elevadas, e aumentando a umidade relativa do ar (PEREIRA et al., 2000; VALENTINI et al., 2010; PARTELLI et al., 2014).

A redução do CO₂ atmosférico pode ocorrer pela diminuição das emissões ou por sua captura e fixação na biomassa vegetal ou no solo (SOMMER; BOSSIO, 2014). Os estoques de carbono na biomassa e no solo dependem das espécies vegetais, das condições de solo, do clima e do cultivo. Assim, o presente estudo teve como objetivo quantificar os estoques de carbono na biomassa vegetal e no solo de um sistema agroflorestal de café com seringueira, comparado ao cultivo de cafeeiros expostos a pleno sol, em uma região de transição climática do Sul do Brasil, com o intuito de promover práticas agrícolas sustentáveis, favorecer a mitigação do aquecimento global, e aumentar a resiliência dos agroecossistemas às mudanças climáticas.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Área de Estudo

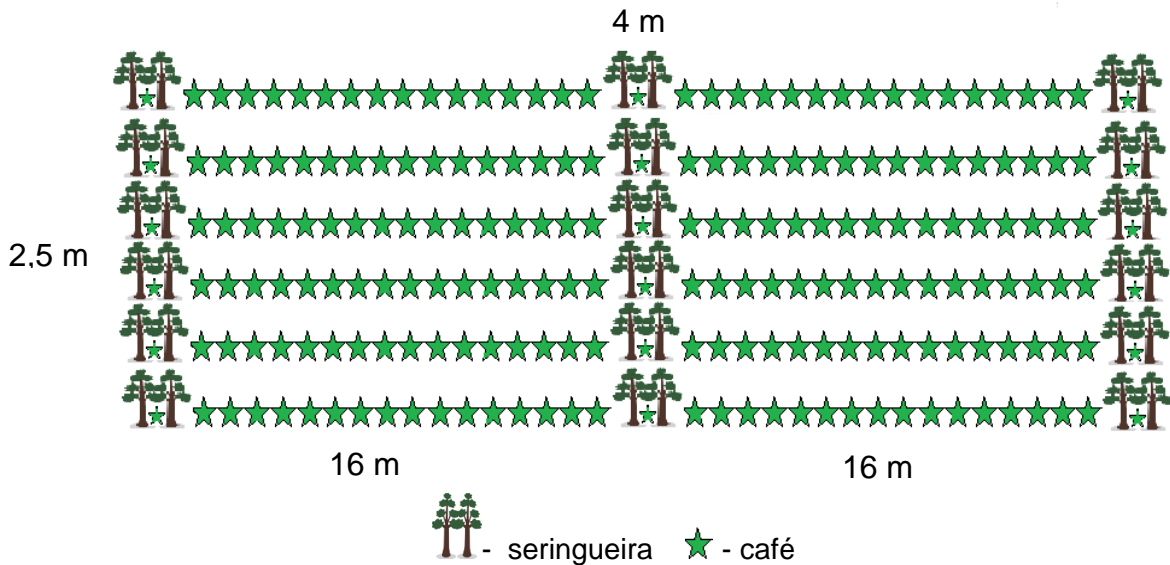
O trabalho foi desenvolvido na estação experimental do IAPAR em Londrina (altitude 610 m, latitude 23°23'S e longitude 50°11'W). O clima da região é típico Cfa, descrito como clima subtropical úmido, com verão quente, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é 21,1°C, a média do mês mais quente é de 23,9°C (janeiro) e a média do mês mais frio é 16,9°C (julho). A precipitação média anual é 1.641mm, sendo dezembro, janeiro e fevereiro os meses mais chuvosos e junho, julho e agosto os meses mais secos (IAPAR, 2017).

A coleta de dados para quantificação da biomassa e carbono vegetal foi em novembro de 2016, realizada numa área de 16 anos de cultivo de café (cultivar IAPAR 59) arborizado com seringueira (clone PB 235), no período de 2001 a 2017. O experimento foi montado em delineamento em blocos ao acaso com dois tratamentos e quatro repetições: plantio consorciado de café com seringueira e café a pleno sol (Figura 3.1). As seringueiras foram implantadas no sistema de filas duplas espaçadas de 4,0 x 2,5 m e 16 m entre filas duplas, com uma população de 500 plantas ha⁻¹. Os cafeeiros foram plantados no espaçamento de 2,5 x 0,8 m com uma planta por cova, perfazendo uma população de 4.500 plantas ha⁻¹. Em área contígua implantou-se simultaneamente uma parcela de cafeeiros expostos a pleno sol para comparação, com uma população de 5.000 plantas ha⁻¹. O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico (EMBRAPA, 2013).

3.4.2 Amostragem da Biomassa das Seringueiras e Cafeeiros

A escolha das 10 árvores de seringueira foi feita com base na análise dos valores de diâmetro à altura do peito (DAP) da população de 140 plantas componentes do experimento. Desta população foram escolhidas duas árvores por intervalos de desvio padrão (s) da média, da seguinte maneira: -2s, -1s, média, +1s e +2s. Assim, os resultados são representativos da população de seringueiras componentes do experimento. Esse procedimento foi descrito por Sanquetta; Balbinot (2004). O valor médio de DAP foi de 21,6 cm, com desvio padrão de 4,3 cm.

Figura 3.1 - Esquema ilustrativo da parcela de café consorciada com seringueira.



Fonte: Próprio autor.

Foram amostradas 6 plantas de café por repetição, com desenvolvimento normal e representativas da população de cafeeiros no experimento, distribuídas aleatoriamente nas linhas entre as filas duplas, perfazendo um total de 24 plantas por tratamento. O mesmo número de plantas foi amostrado nas parcelas a pleno sol.

Na determinação da biomassa foi utilizado o método direto e destrutivo de árvores, quantificando a biomassa dos componentes da parte aérea (tronco, folhas e galhos) e do sistema radicular (raiz pivotante e raízes laterais) (TEIXEIRA; OLIVEIRA, 1999; SANQUETTA, 2002; SANQUETTA et al., 2004).

As árvores de seringueira e cafeeiros foram derrubadas, desfolhadas e suas folhas, ramos e troncos foram pesados no local. Para os cafeeiros, foram separados folhas, ramos plagiotrópicos e ramos ortotrópicos. As árvores de seringueiras foram coletadas da mesma forma, considerando os componentes folhas, tronco, galhos e ramos. Em seguida, foi retirada e pesada uma amostra representativa desses componentes para determinação da massa de matéria seca e análise de teor de carbono. O tronco da seringueira foi seccionado e pesado para quantificação da biomassa.

A quantificação da biomassa das raízes da seringueira e do cafeeiro foi realizada pelo método de abertura de trincheiras, descrito por Carmo et al. (2004). A coleta das raízes de café e de seringueira foi realizada com escavadeira acoplada ao hidráulico do trator. Em seguida abriu-se uma trincheira em volta de cada planta

de cafeeiro, procedendo a coleta das raízes visíveis. O mesmo procedimento foi seguido para as árvores de seringueira, com abertura de trincheira de aproximadamente 1,5 m de profundidade. Retirou-se o solo aderido às raízes e fez-se a pesagem de plantas individuais diretamente no campo.

A biomassa da serrapilheira foi quantificada por coleta do material orgânico não decomposto na superfície do solo, segundo procedimentos propostos por Sanquetta (2002). Para isso, utilizou-se um quadrado de área interna de 0,25 m², disposto em torno das plantas selecionadas. Depois de coletadas as amostras da serrapilheira, o material foi misturado e pesado. Em seguida, foram retiradas e pesadas subamostras desse material para determinação da massa seca.

Após a coleta e pesagem das amostras úmidas de todos os componentes das árvores de seringueira, de cafeeiro e da serrapilheira, estas foram levadas para o laboratório e colocadas em estufa de circulação forçada de ar, a uma temperatura de 65 °C, até peso constante. Após pesagem, foi realizada moagem das amostras para obtenção de teor de carbono.

3.4.3 Amostragem do Solo

Foram retiradas amostras deformadas e indeformadas de solo nas profundidades: 0,0 - 0,10, 0,10 - 0,30, 0,30 - 0,50, 0,50 - 0,70 m em quatro repetições, utilizando as trincheiras abertas para coleta da seringueira e cafeeiro. Nas coletas indeformadas usou-se cilindros de Kopecky com bordas contantes e volume interno de 50 cm³. As amostras de solo foram encaminhadas para o laboratório, onde foram realizadas análises de densidade do solo (EMBRAPA, 2013) e de carbono total. Para quantificação do carbono na biomassa vegetal e no solo, foi utilizado o analisador de carbono LECO CR-12 por combustão.

3.4.5 Estoques de Carbono na Biomassa e Solo

A biomassa seca das seringueiras, cafeeiro e serrapilheira foi determinada através do método da proporcionalidade utilizado por Teixeira et al. (1994), Soares et al. (1996), Teixeira e Oliveira (1999), Carmo et al. (2004) e Cotta et al. (2008). Para isso, empregou-se a seguinte fórmula:

$$MS(T) = MU(T) MS(A) / MU(A)$$

em que:

MS(T) = massa de matéria seca total, em kg;

MS(A) = massa de matéria seca das amostras, em kg;

MU(A) = massa de matéria úmida das amostras, em kg;

MU(T) = massa de matéria úmida total, em kg.

Por meio da soma das médias da biomassa seca dos componentes das árvores, obteve-se a biomassa total de uma seringueira e de um cafeeiro. Em seguida, esse valor foi extrapolado para 1 ha, considerando-se, no consórcio, uma densidade de 500 seringueiras e 4.500 plantas ha⁻¹ de café. No caso cafeeiro a pleno sol, 5.000 plantas ha⁻¹. A biomassa média da serrapilheira também foi extrapolada para 1 ha. Assim, a biomassa seca total em 1 ha do consórcio foi determinada pela soma da biomassa seca das árvores e da serrapilheira.

O estoque de carbono no solo foi mensurado por camadas, em Mg ha⁻¹, pelo método da camada equivalente, conforme descrito por Silva et al. (2013), considerando-se o teor de carbono (g dm⁻³), a densidade do solo e a espessura da camada em 1 ha⁻¹, permitindo assim a comparação dos teores obtidos.

3.4.6 Estoque de Carbono Total

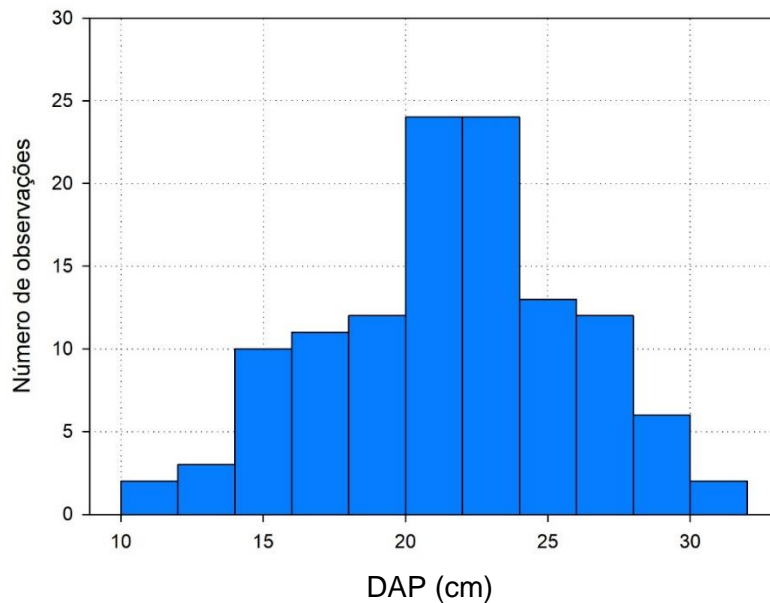
Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas e determinadas as contribuições dos componentes da planta (folhas, tronco, galhos e ramos), serrapilheira e solo, para o carbono total fixado no sistema.

O carbono fixado foi computado por tratamento (seringueira + café e café pleno sol), em esquema de blocos ao acaso com quatro repetições. Os dados foram submetidos aos testes de normalidade, homocedasticidade e em seguida à Análise de Variância pelo teste F e comparação de médias pelo teste Tukey a 5% de significância.

A partir dos teores do estoque de carbono total, realizou-se a conversão em CO₂ equivalente (CO_{2eq}), pela multiplicação do teor de carbono pela relação 44/12, ou seja, 1 t de carbono corresponde a 3,67 t de CO_{2eq} (IPCC, 2006).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 3.2 - Distribuição dos valores de diâmetro à altura do peito (DAP, em cm) da população de seringueira da área experimental.



Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk. $p = 0,745$

Fonte: Próprio autor.

Os dados de DAP foram ajustados a uma distribuição normal (Figura 3.2), na qual houve significância ao nível de 95% pelo teste de Shapiro- Wilk, indicando ajuste satisfatório dos dados à distribuição Normal.

3.5.2 Biomassa de Café Consorciado com Seringueira e Café a Pleno Sol

Entre os resultados dos valores de biomassa por componentes da planta, biomassa da parte aérea, raiz e os totais dos tratamentos café consorciado com seringueira e café a pleno sol (Tabela 3.1), observou-se que os ramos ortotrópicos não diferiram entre os tratamentos. Entretanto, a biomassa dos ramos plagiotrópicos foi superior no café a pleno sol. Isso ocorreu porque cafeeiros cultivados a pleno sol apresentam maior número de ramos plagiotrópicos do que cafeeiros cultivados em sombreamento. Este comportamento é confirmado por Larcher (2000), que reporta que as plantas que se desenvolvem sob alta radiação investem em crescimento de ramos. Outros autores também observaram maior

crescimento de ramos em cafeeiros a pleno sol, como relatado por Morais et al. (2003) e Kanten; Vaast (2006).

Tabela 3.1 - Biomassa do consórcio café com seringueira e do café a pleno sol, por componentes da planta (Mg ha^{-1}) e razão parte aérea/raiz. Londrina, dezembro de 2016.

	Consórcio Café Seringueira	Café a pleno sol
Componentes das Plantas	Café *	Café *
Ramo Ortotrópico	23,69 a	37,58 a
Ramo Plagiotrópico	7,60 b	13,09 a
Folhas	5,43 a	7,29 a
Serrapilheira	1,79 a	1,45 a
Grão	1,51 a	1,49 a
Total parte aérea	39,99 b	60,90 a
Raiz	6,76 a	9,33 a
Razão parte aérea/raiz	5,92	6,53
Total Café	46,75 b	70,23 a
	Seringueira*	
Tronco Principal	60,89	
Serrapilheira	0,16	
Folhas	3,26	
Galhos	39,70	
Total parte aérea	104,01	
Raiz	23,33	
Razão parte aérea/raiz	4,46	
Total Seringueira	127,34	
Total do Sistema	174,09	70,23

*Foram considerados $4.500 \text{ plantas ha}^{-1}$ no consórcio e $5.000 \text{ plantas ha}^{-1}$ no café a pleno sol. No consórcio contabilizaram-se 500 seringueiras por hectare. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: Próprio autor.

As outras variáveis analisadas, como folha, serrapilheira, grãos e raízes não diferenciaram estatisticamente. A biomassa da parte aérea dos cafeeiros a pleno sol foi estatisticamente superior aos cafeeiros consorciados com seringueira, bem como a razão parte aérea/raiz, corroborando Larcher (2000). Essa diferença deve-se à contribuição de grande parte dos ramos plagiotrópicos, ortotrópicos e a soma dos outros componentes da planta que, embora não diferindo estatisticamente, apresentaram maiores valores médios.

Os valores de matéria seca em cafeeiros sombreados e a pleno sol foram de 46,75 Mg ha⁻¹ e 70,23 Mg ha⁻¹ respectivamente, tendo um valor médio de acúmulo anual de 3,11 e 4,68 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Esses valores estão próximos aos relatados por Silva et al. (2013) que encontraram um total de 18,42 Mg ha⁻¹ (4,60 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) em cafeeiros com 4 anos de idade da cultivar Catuaí, plantados a pleno sol em Minas Gerais.

Neste experimento a quantidade total de biomassa obtida nas seringueiras foi de 127,34 Mg ha⁻¹, onde a maior parte da biomassa se concentrou nos troncos e galhos (Tabela 3.1). Esse valor está próximo do encontrado por Fernandes et al. (2007), em Minas Gerais, que aferiram 126,46 Mg ha⁻¹, e menor do que observado por Cunha et al. (2000) com plantações de seringueiras com 12 anos em Brasília, cuja quantidade de biomassa obtida foi de 160,8 Mg ha⁻¹, e por Cotta et al. (2008) na Bahia, que obtiveram 169,22 Mg ha⁻¹, em seringueiras consorciadas com árvores de cacau, e por Maggiotto et al. (2014), que relataram em torno de 146,29 Mg ha⁻¹ de biomassa em seringueira com 15 anos de idade no Noroeste do Paraná.

As diferenças observadas podem ser atribuídas a diversos fatores como densidade e arranjo populacional, temperatura, disponibilidade hídrica e adubação e idade das plantas. A duração do experimento é determinante no acúmulo de biomassa, sendo importante fazer comparações entre plantações com o mesmo período de condução (MAGGIOTTO et al., 2014). No Norte do Paraná o acúmulo de biomassa durante o período de inverno pode ter sido parcialmente mais afetado por temperaturas baixas, quando comparadas à região Noroeste paranaense e do Mato Grosso.

Apesar da biomassa total do café a pleno sol ser superior que a do café consorciado, a biomassa total do consórcio café com seringueira foi, aproximadamente, 2,5 vezes maior, já que a biomassa da seringueira foi maior dentro do sistema.

3.5.3 Estoques de Carbono na Biomassa de Café Consorciado com Serigueira e Café a Pleno Sol

As porcentagens do estoque de carbono fixado por componente das plantas de café consorciado, pleno sol e seringueira variaram de 42 a 46%

aproximadamente (Tabela 3.2). Esses valores estão próximos de valores de carbono da biomassa de florestas tropicais reportados por Silveira et al. (2008), que apresenta uma faixa entre 46 e 52%. Além disso, Wauters et al. (2008) encontraram valores próximos aos do presente estudo, em plantio de seringueira com 14 anos em Mato Grosso.

Estimou-se um estoque de carbono arbóreo de 20,61 Mg C ha⁻¹ em cafeeiros sombreados e 30,48 Mg C ha⁻¹ em cafeeiros a pleno sol. A maior parte do carbono encontra-se na parte aérea e o restante no sistema radicular, sendo que o ramo ortotrópico apresentou maior acúmulo de carbono, seguido pelos ramos plagiotrópicos (Tabela 3.2). Esses resultados são semelhantes aos observados por Silva et al. (2013) e Dossa et al. (2008), que observaram maior estoque de carbono na parte aérea do cafeeiro.

Os valores totais de carbono no tratamento café a pleno sol foram maiores que no consorciado, em consequência da maior quantidade de biomassa neste tratamento. Entretanto, ao se analisar o total do consórcio, verificou-se 75,80 Mg C ha⁻¹ de estoque de carbono, também 2,5 vezes superior que o cultivo a pleno sol, devido à contribuição das seringueiras.

Os cafeeiros sombreados armazenaram uma média de 1,29 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, enquanto os cafeeiros a pleno sol armazenaram 1,90 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹. Esses valores são inferiores aos encontrados por Silva et al. (2013), que constataram 2,3 Mg C·ha⁻¹ ano⁻¹ em Minas Gerais e superiores aos 1,00 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ encontrados por Pinoargote et al. (2017) em cafeeiros a pleno sol na Nicarágua.

Da mesma forma foi considerando o estoque de carbono arbóreo da seringueira, resultante de 1 ha do consórcio, verificando 55,19 Mg C ha⁻¹, que se aproximam de estudos semelhantes, como realizado por Cotta et al. (2008) que encontraram 84,7 Mg C ha⁻¹ estocados em seringueira de 34 anos de cultivo na Bahia e Morais (2014), que mediram 23 Mg C ha⁻¹ em uma plantação de seringueira com 17 anos em Manaus.

Semelhante ao acúmulo de biomassa, a diferença no armazenamento de carbono entre os diversos autores citados e este trabalho, é devido ao acúmulo de carbono que pode variar nos diferentes tipos de solos, climas e tratos culturais do clone, idade e densidade populacional.

Tabela 3.2 – Teor (%), estoque de carbono (Mg ha^{-1}) por componentes da planta e valor de CO_2 equivalente por ano, nos sistemas: consórcio café seringueira e café a pleno sol. Londrina, Paraná, Brasil, dezembro de 2016.

Componentes das Plantas	Consórcio Café Seringueira		Café a pleno sol	
	% C	C (Mg ha^{-1})	% C	C (Mg ha^{-1})
Ramo Ortotrópico	44,04	10,43	42,83	16,10
Ramo Plagiotrópico	43,01	3,25	42,92	5,62
Folhas	43,08	2,34	43,76	3,19
Serrapilheira	44,10	0,78	43,60	0,63
Grão	43,17	0,65	42,58	0,64
Raiz	46,46	3,14	46,16	4,31
Total Café		20,61		30,48
	Seringueira*			
	% C	C (Mg ha^{-1})		
Tronco Principal	43,65	26,58		
Serrapilheira	44,10	0,07		
Folhas	46,24	1,51		
Galhos	43,31	17,19		
Raiz	42,17	9,84		
Total Seringueira		55,19		
Total do Sistema		75,80		30,48
$\text{CO}_{2\text{eq}}$ ano⁻¹		17,38		6,99

*Foram considerados 4.500 cafeeiros por hectare no consórcio e 5.000 no café a pleno sol. No consórcio contabilizaram-se 500 seringueiras por hectare. O CO_2 equivalente foi calculado segundo IPCC (2006).

Fonte: Próprio autor.

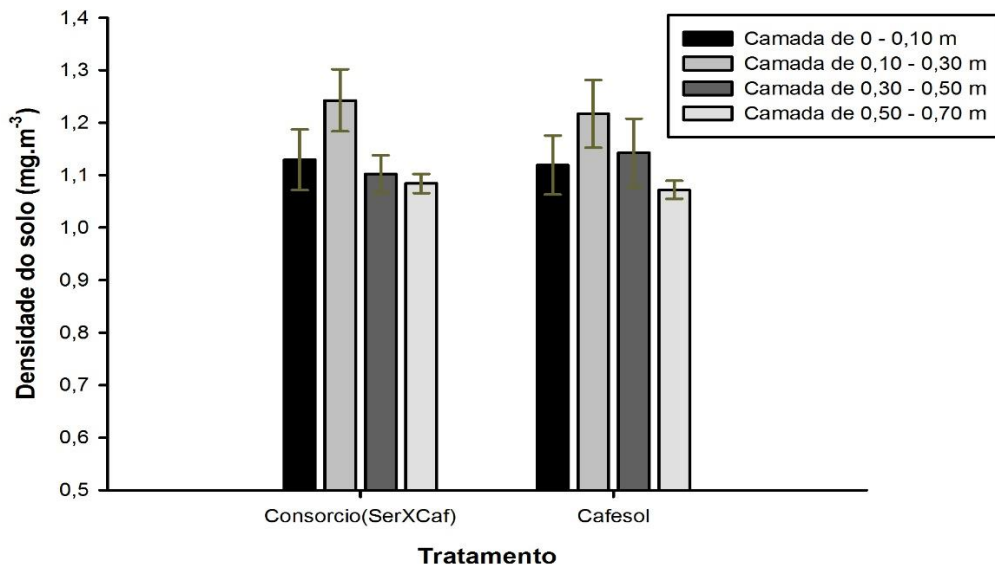
Considerando os estoques de carbono totais na biomassa, o $\text{CO}_{2\text{eq}}$ no consórcio café e seringueira foi superior ao café a pleno sol, com 17,38 e 7,00 Mg ha^{-1} , respectivamente. O valor de CO_2 equivalente verificado no café a pleno sol é muito próximo do valor encontrado por Silva et al. (2013), de 8,00 $\text{Mg CO}_{2\text{eq}} \text{ha}^{-1}$. O maior potencial de fixação de carbono é das espécies florestais, resultante do armazenamento de C nos tecidos lenhosos (ATANGANA et al., 2014).

Observa-se a superioridade do sistema agroflorestal em relação ao cultivo de café a pleno sol na fixação de carbono e na mitigação do aquecimento global, em concordância com estudos desenvolvidos por Rodrigues et al. (2007) e Mbow et al. (2014a, 2014b). No atual cenário de mudanças climáticas, práticas agroflorestais surgem como uma opção viável para combater os impactos negativos das mudanças climáticas (SINGH; JHARIYA; RAJ, 2013).

3.5.4 Estoque de Carbono no Solo

A determinação da densidade do solo foi necessária para se estimar o carbono estocado por volume de solo. Os valores médios para o café consorciado e a pleno sol de densidade do solo variaram entre 1.10 e 1.25 kg m⁻³ (Figura 3.3), considerados normais para o desenvolvimento radicular do café. Matiello et al. (2002) relatam o valor de 1,45 kg m⁻³ como restritivo ao desenvolvimento radicular do café conilon. A camada 0,10 - 0,30 m apresentou valores mais elevados, possivelmente devido ao uso histórico da área com equipamentos mecanizados, sem, entretanto, se constituir em fator limitante ao desenvolvimento radicular do cafeeiro.

Figura 3.3 - Densidade do solo (em kg m⁻³), em diferentes profundidades de café consorciado com seringueira (SerXCaf) e café a pleno sol (Cafesol), com respectivos desvios padrões. Londrina, Paraná, Brasil, dezembro de 2016.



Fonte: Próprio autor.

Com relação aos valores de porcentagem e estoque de carbono no solo, dos tratamentos consórcio café seringueira e café a pleno sol (Tabela 3.3), não houve diferenças significativas nas diferentes camadas até 0,70 m. Entretanto, deve-se destacar que o coeficiente de variação observado foi elevado, em função da variabilidade espacial e tamanho amostral limitado.

Pode-se observar que na profundidade de 0,10 - 0,30 m o volume total de carbono foi superior às demais profundidades. Valores próximos foram observados por Cerri et al. (2017) na mesma profundidade. Como os teores foram corrigidos pelo método da camada equivalente, essa diferença não pode ser justificada pela densidade do solo e pela espessura da camada. Entretanto, uma maior deposição de materiais orgânicos na camada superficial do solo das áreas avaliadas pode contribuir para esses valores mais elevados até 0,30 m. Segundo Pavan et al. (1992), a matéria orgânica de uma lavoura cafeeira é a principal entrada de C orgânico no sistema. Logo, resíduos vegetais de plantas daninhas, folhas e ramos do cafeeiro caídos naturalmente ou desprendidos durante a colheita, compostos orgânicos liberados pelas raízes, e decomposição de raízes e microrganismos mortos serão decompostos e agregados ao solo.

Tabela 3.3 - Teor (%) e estoque de carbono (Mg C ha⁻¹) no solo pelo método da camada equivalente, em diferentes profundidades (m), de consórcio café seringueira e café a pleno sol. Londrina, Paraná, Brasil, dezembro de 2016.

Profundidade	Consórcio café seringueira			Café a pleno sol		
	%C	Estoque	(V%)	%C	Estoque	(V%)
0-0, 0,10	2,22	26,26	20,20	1,90	21,30	0,91
0,10-0,30	1,75	44,52	14,84	1,70	41,45	7,27
0,30-0,50	1,16	25,99	33,68	1,40	32,28	19,80
0,50-0,70	0,96	20,74	21,54	1,06	22,83	11,07
Total		117,51			117,86	

* %C = Teor de carbono; CV (V%) = Coeficiente de variação.

Fonte: Próprio autor.

Comparado com o monocultivo, os SAFs se aproximam mais dos sistemas naturais, conferindo maior estabilidade da produção e sustentabilidade ecológica (DANTAS, 1994). Trabalhos de pesquisas sobre as funções de produção e proteção ambiental dos SAFs forneceram as bases necessárias para eleger esses sistemas como formas sustentáveis de produção (NAIR; GARRITY, 2012).

Os SAFs têm sido uma ferramenta para a "intensificação sustentável" de uso dos solos, que baseia-se na biologia e agroecologia dos sistemas de produção (MUSHLER, 2016). Fornecem muitos princípios fundamentais para o desenvolvimento de sistemas agrícolas produtivos, ao mesmo tempo que favorecem a sustentabilidade ambiental (FAO, 2013).

3.6 CONCLUSÕES

- 1) A biomassa total, o teor de carbono e o estoque de carbono da biomassa do sistema agroflorestal café com seringueira foram superiores ao café a pleno sol, devido a presença da seringueira.
- 2) Teor e estoque de carbono no solo foram semelhantes para o consórcio café seringueira e o café pleno sol.
- 3) O estoque de carbono total do sistema e CO₂ equivalente foram superiores no consórcio café seringueira, validando a superioridade dos sistemas agroflorestais na fixação de carbono e na mitigação do aquecimento global.

4 ARTIGO B: ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO PARA O CAFÉ ARÁBICA CONSORCIADO COM SERINGUEIRA NO ESTADO DO PARANÁ

4.1 RESUMO

A adaptação às mudanças climáticas é uma maneira de conviver com um cenário futuro de temperaturas mais elevadas. No caso do café arábica, os sistemas agroflorestais com espécies de hábito arbóreo é uma prática promissora para reduzir o excesso de calor durante o dia. Os objetivos deste estudo foram: 1) avaliar as alterações térmicas que ocorrem em cafezais consorciados com filas duplas de seringueiras; e 2) realizar uma análise de cenários futuros de aquecimento, considerando o cultivo a pleno sol e em consórcio com filas duplas de seringueiras no Norte do Paraná. As alterações microclimáticas foram medidas em cafezal consorciado com filas duplas de seringueira espaçadas de 16 m comparadas com o cultivo a pleno sol, nas alturas de 0,50 m, 1,00 m e 1,50 m na entrelinha dos cafeeiros, de junho de 2016 a junho de 2018. Os resultados foram analisados para as quatro estações do ano, concluindo-se que o sistema consorciado apresenta uma redução média das temperaturas entre 10 e 16 horas de 1,4 a 2,3 °C em relação ao cultivo a pleno sol. Foram simulados aumentos de temperaturas de 1,7, 2,6, 3,1 e 4,8 °C, de acordo com cenários previstos pelo IPCC, de 2018 até 2099, utilizando o gerador climático PGECLIMA_R. No cultivo a pleno sol há uma redução progressiva das áreas tradicionais aptas ao cultivo no Estado do Paraná, conforme as temperaturas simuladas. As medições do ambiente microclimático mostraram que a seringueira em filas duplas espaçadas de 16 m apresentou temperaturas médias entre 1,4 e 2,3 °C mais baixas durante o ano. Considerando atenuações médias de temperatura de 1 e 2 °C é possível manter condições de produção em grande parte da região tradicional de cultivo. Conclui-se que o sistema agroflorestal de café com seringueira pode contribuir para adaptação ao cultivo em um futuro ambiente mais aquecido.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, *Hevea brasiliensis*, estratégias de mitigação, novas práticas de cultivo, aquecimento global.

4.2 ABSTRACT

Adapting to climate change is a way to cope with a likely future scenario of higher temperatures. In the case of arabic coffee, agroforestry systems with woody species are a promising practice to reduce excess heat during the day. The objectives of this study were: 1) to evaluate the microclimatic changes that occur in diurnal temperatures in coffee plantations consorted with double rows of rubber trees; and 2) to carry out an analysis of future warming scenarios, considering the cultivation in full sun and in consortium with double rows of rubber trees in the North of Paraná, Brazil. The microclimatic changes were measured in intercropped coffee trees with double rows of rubber trees spaced 16 m compared to full sun cultivation, at the heights of 0.50 m, 1.00 m and 1.50 m between two rows of coffee trees, from June 2016 to June 2018. The results were analyzed for the four seasons of the year, concluding

that the intercropping system shows an average temperature reduction between 10 and 16 h from 1.4 to 2.3 °C in relation to full sun. Temperature increases of 1.7, 2.6, 3.1 and 4.8 °C were simulated according to scenarios predicted by the IPCC, from 2018 to 2099, using the climatic generator PGECLIMA_R. In the cultivation under full sun there is a progressive reduction of the traditional areas suitable for cultivation in the State of Paraná, according to the simulated temperatures. Measurements of the microclimate showed that the rubber tree in double rows spaced 16 m showed mean temperatures between 1.4 and 2.3 °C lower during the year. Considering mean temperature attenuations of 1 and 2 °C, it is possible to maintain production conditions in a large part of the traditional growing region. It is concluded that the agroforestry system of coffee with rubber tree can contribute to adaptation of the coffee crop in a future warmer environment.

Key words: *Coffea arabica*, *Hevea brasiliensis*, consortium, air temperature, global warming.

4.3 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas globais são uma realidade e poderão causar grandes impactos nas áreas agrícolas de todo o planeta (IPCC; 2014). A cultura do café será atingida pelo aumento previsto das temperaturas. Alguns estudos, baseados em cenários futuros, têm demonstrado que as regiões produtoras tradicionais do Brasil poderão se tornar inaptas ao cultivo do café arábica com a tecnologia utilizada atualmente (ASSAD et al., 2004).

A espécie *Coffea arabica* L., por ter se originado em sub-bosques requerer ambientes amenos, com chuvas concentradas no período de crescimento e reprodutivo e períodos secos na colheita. Temperaturas acima de 30°C no período de floração e pegamento dos frutos provocam o abortamento. Além disso, temperaturas elevadas durante o período reprodutivo aceleram o desenvolvimento dos frutos, intensificando a demanda por nutrientes, aumentando o estresse hídrico e prejudicando a qualidade dos grãos e da bebida (CARAMORI et al., 2001; DAMATTA, 2004; DAMATTA; RAMALHO, 2006; DAL MOLIN et al., 2008).

O uso de sistemas agroflorestais de café com outras espécies tem sido preconizado no Brasil, como uma alternativa de diminuição dos danos de geadas nas regiões recomendadas ao cultivo, onde o risco desse fenômeno é maior (CARAMORI et al., 2004).

Com a perspectiva do aquecimento global, as temperaturas diurnas deverão se tornar limitantes ao cultivo de *C. arabica* em muitas regiões tradicionais. De acordo com os cenários apresentados pelo IPCC (2014), são previstos aquecimentos entre 1,7 e 4,8 °C até o final do século atual. Os sistemas agroflorestais podem contribuir para amenizar as temperaturas elevadas em regiões e épocas mais quentes do ano (MATSUMOTO, 2004).

O plantio de espécies arbóreas, como a seringueira, consorciadas com os cafeeiros tem gerado resultados promissores. Em particular a seringueira se destaca pela possibilidade de gerar renda adicional ao produtor e pela baixa competição com os cafeeiros, devido a suas características de ampla adaptação, rusticidade e de copa ereta e sistema radicular profundo, que não compete muito com os cafeeiros na faixa superficial do solo (PAES, 1992).

O zoneamento de risco climático é uma importante ferramenta para definição de políticas de apoio ao produtor. Conhecendo-se os riscos regionais e as necessidades de cada espécie vegetal, é possível delimitar as áreas de baixo risco e as melhores épocas de plantio durante o ano (ROSSETTI, 2001). Como o zoneamento atual se baseia em séries históricas passadas, é importante verificar os cenários futuros do clima e seus impactos sobre o zoneamento atual da cultura do café. Os resultados podem subsidiar tomadas de decisões e adoção de novas práticas de cultivo visando manter o potencial produtivo e a qualidade do café nas regiões tradicionais.

Assim, neste trabalho realizaram-se análises de alterações microclimáticas devido à introdução da seringueira consorciada com cafeeiros, e o zoneamento de risco climático da cultura a pleno sol e consorciada, contemplando cenários previstos pelo IPCC, na região tradicional de cultivo do Estado do Paraná.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Análise Microclimática

O estudo foi realizado em uma área de café consorciado com seringueira com 16 anos de idade, na fazenda experimental do IAPAR em Londrina, PR (altitude 585 m, latitude 23°23'S e longitude 50°11'W). O clima da região é típico Cfa, descrito como clima subtropical úmido, com verão quente, segundo a

classificação de Köppen. A temperatura média anual é 21,1°C, a média do mês mais quente é de 23,9°C (janeiro) e a média do mês mais frio é 16,9°C (julho). A precipitação média anual é 1.641mm, sendo dezembro, janeiro e fevereiro os meses mais chuvosos e junho, julho e agosto os meses mais secos (IAPAR, 2017).

O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 2013). A Figura 4.1 ilustra a área experimental, mostrando as filas de seringueira e a estação meteorológica instalada no interior da área consorciada. Os cafeeiros são da cultivar IAPAR 59, plantados no espaçamento de 2,5 m por 0,80 m, com uma planta por cova. As seringueiras do clone PB 235 foram plantadas em filas duplas perpendiculares às linhas de café, espaçadas de 4,0 m por 2,5 m, com espaçamento de 16 m entre as filas duplas. Em área contígua implantou-se simultaneamente uma parcela de cafeeiros expostos a pleno sol para comparação. Durante o período avaliado os cafeeiros tinham em torno de 1,5 a 2,0 m de altura e as seringueiras 18 a 20 m de altura.

Foram instaladas três estações meteorológicas automáticas, sendo uma entre as linhas das filas duplas de seringueira (sombreado), outra entre as filas duplas espaçadas de 16 m (consorciado) e outra na entrelinha dos cafeeiros a pleno sol. As medições no ambiente sombreado e a pleno sol serviram como referência para verificar as alterações no sistema consorciado, que vem sendo preconizado para o cultivo. Foram realizadas medições contínuas de temperatura do ar a 0,5 m, 1,0 m e 1,5 m de altura e a temperatura das folhas dos cafeeiros, escolhendo uma folha localizada no terço superior das plantas, com duas repetições. As temperaturas foram medidas com termopares de cobre-constantan. As temperaturas das folhas foram medidas com os termopares afixados em contato com a epiderme inferior, para evitar exposição direta do sensor. O período de coleta de dados foi de junho de 2016 a junho de 2018. As leituras foram realizadas a cada 10 segundos, obtendo-se médias a cada 15 minutos, as quais foram armazenadas em um datalogger e transferidas a planilhas para posterior análise. Os dados foram processados para se obter as temperaturas médias em 24 horas, no período diurno entre 10 e 16 horas e no período noturno entre 22 e 6 horas. As temperaturas foram agrupadas por estações do ano e foram feitas comparações entre o ambiente a pleno sol, consorciado e sombreado. Primeiramente realizou-se uma análise exploratória dos dados, obtendo-se as médias diárias, utilizou uma amostragem gráfica através de diagrama de caixa, apresentando mediana, quartis 25% - 75% e os valores máximo

e mínimo, desconsiderando outliers. As diferenças medidas nas estações localizadas sob as filas duplas de seringueiras e espaçadas de 16 m versus a pleno sol foram analisadas para cada estação do ano, por meio de comparação de médias duas a duas pelo teste t a 5% de significância.

Figura 4.1 – (A) Filas duplas de seringueira consorciadas com os cafeeiros. (B) Estação meteorológica automática instalada entre as filas duplas espaçadas de 16 m.

A



B

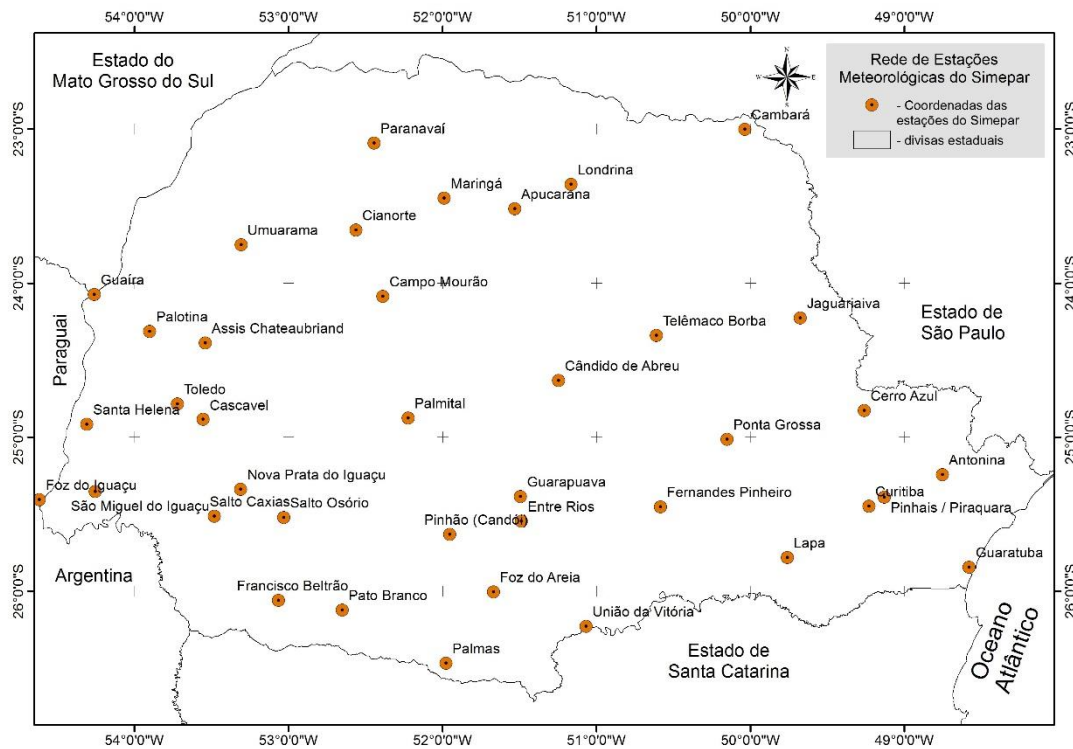


Fonte: Próprio autor.

4.4.2 Alterações no Zoneamento de Risco Climático

Para realizar o zoneamento agroclimático de risco climático para cultura do café arábica no Paraná, foram utilizadas as projeções do IPCC para cenários futuros (IPCC, 2014), considerando acréscimos de 1,7, 2,6, 3,1 e 4,8 °C. Foram utilizados dados de 35 estações meteorológicas automáticas do Simepar, nas diversas regiões do Estado, com períodos de observação de 2000 a 2017 (Figura 4.2).

Figura 4.2 – Rede de estações meteorológicas automáticas do Simepar utilizadas nos cenários de aquecimento.



Fonte: Próprio autor.

As perturbações nas séries de dados foram realizadas com o gerador PGECLIMA_R, de autoria de Jorim das Virgens Filho, da Universidade Estadual de Ponta Grossa. Essa ferramenta já foi utilizada em diversos estudos para simular alterações em séries de dados (DAS VIRGENS FILHO, 2011). O programa parte do ajuste da série de dados atuais, considerando a variabilidade provocada por fenômenos de larga escala como o El Niño Oscilação Sul e outros, projetando os valores até o final do século 21, de acordo com o aumento das temperaturas, conforme especificado pelo ator.

Os estudos de impactos partem do zoneamento de risco climático da cultura do café no Paraná, realizado por Caramori et al. (2001) e que vem sendo utilizado para orientar o cultivo. Como no presente estudo o foco é no aquecimento decorrente das mudanças climáticas, utilizou-se a temperatura média anual crítica como parâmetro para definir as áreas que poderiam se tornar inaptas ao cultivo.

O zoneamento para o clima atual se baseia nas seguintes classes de aptidão (MATIELLO et al., 2016): Aptas - áreas com temperatura média entre 19

e 23°C; Marginais - áreas com temperatura média entre 23 e 24°C; Inaptas: áreas com temperatura média superior a 24°C. Assim, estabeleceu-se que as áreas que ultrapassam temperaturas médias anuais de 24°C se tornam inaptas.

Considerando que o aquecimento prejudicial aos cafeeiros acontecerá durante o período diurno, utilizou-se as temperaturas médias diárias do período entre 10 horas e 16 horas. Para se obter o valor correspondente à temperatura média diária de 24 °C, realizou-se uma regressão entre os valores de temperatura média de 24 horas e das 10 às 16 horas com base em dados de 2000 a 2017, para as estações de Londrina, Apucarana, Maringá, Paranavaí e Umuarama, obtendo-se a temperatura média correspondente a 24°C para o horário entre 10 e 16 horas.

Com base nas temperaturas de cada estação meteorológica, foram geradas equações de regressão linear múltipla entre a temperatura média das 10 às 16 horas com altitude, latitude e longitude. O modelo digital do terreno do SRTM com resolução de 90 m sobre o Estado do Paraná foi transferido para o Sistema de Informação Geográfica ArcGis 10.2.e as equações de estimativa foram resolvidas para cada pixel, gerando os mapas de aptidão por temperatura.

Com base nos valores médios atenuados com o sistema agroflorestal de seringueira, reduziu-se os valores de temperaturas de cada um dos 4 cenários simulados, gerando mapas de zoneamento para o café em sistema agroflorestal com seringueira para os períodos de 2018-2058 e 2059-2099.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Análise Microclimática

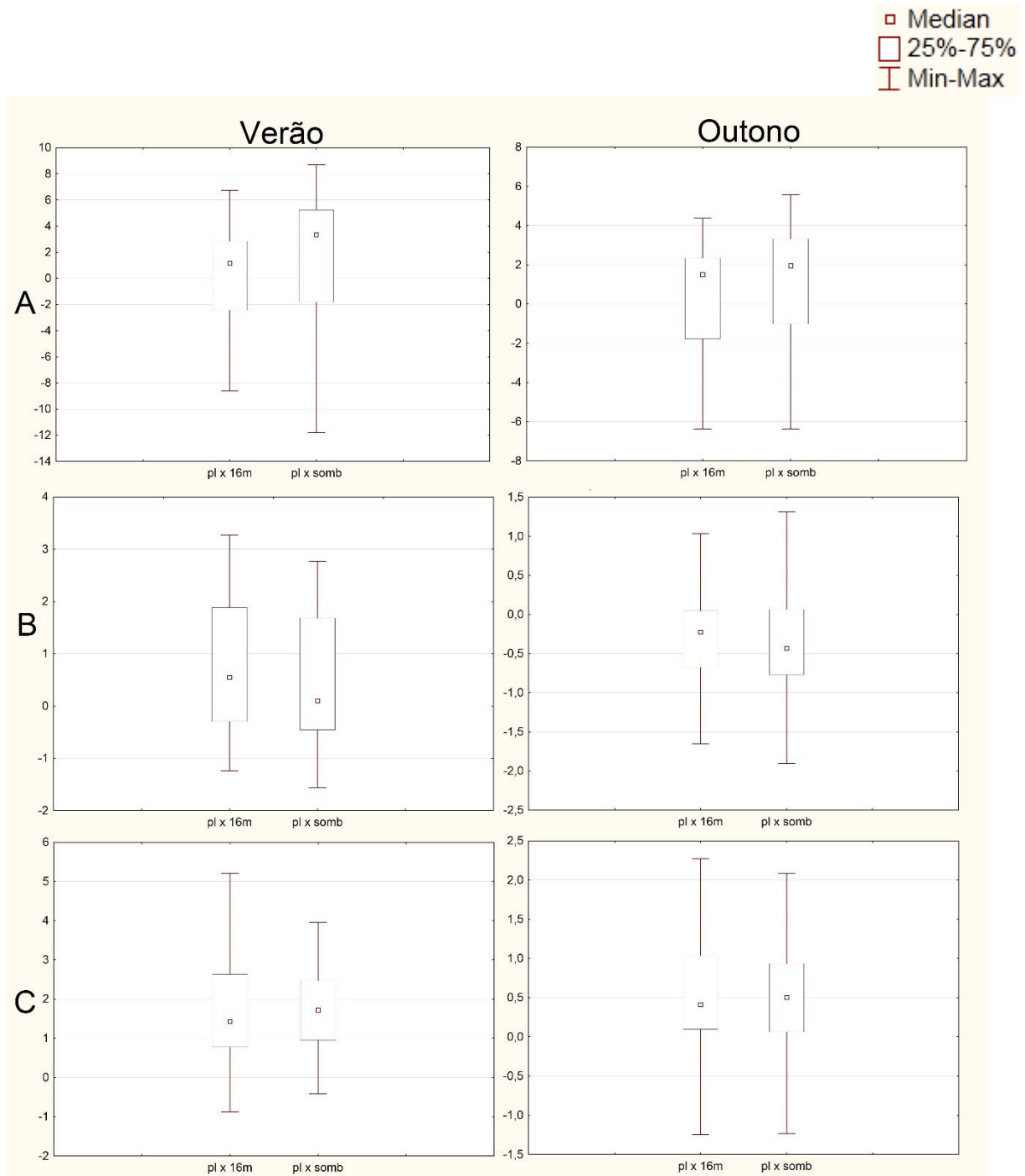
As análises exploratórias das diferenças de temperatura do ar, considerando o período diurno das 10 às 16 h, o período noturno entre 22 e 06 h, a média de 24 h, e temperaturas das folhas, por meio de diagrama de caixas, para as quatro estações do ano, são apresentadas nas figuras 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6. As comparações são feitas sempre em pares, considerando os ambientes com seringueira relativos ao cultivo a pleno sol. Os diagramas de caixa apresentam para cada um dos pares a mediana, os quartis 25% e 75%, o mínimo e o máximo. Pode-

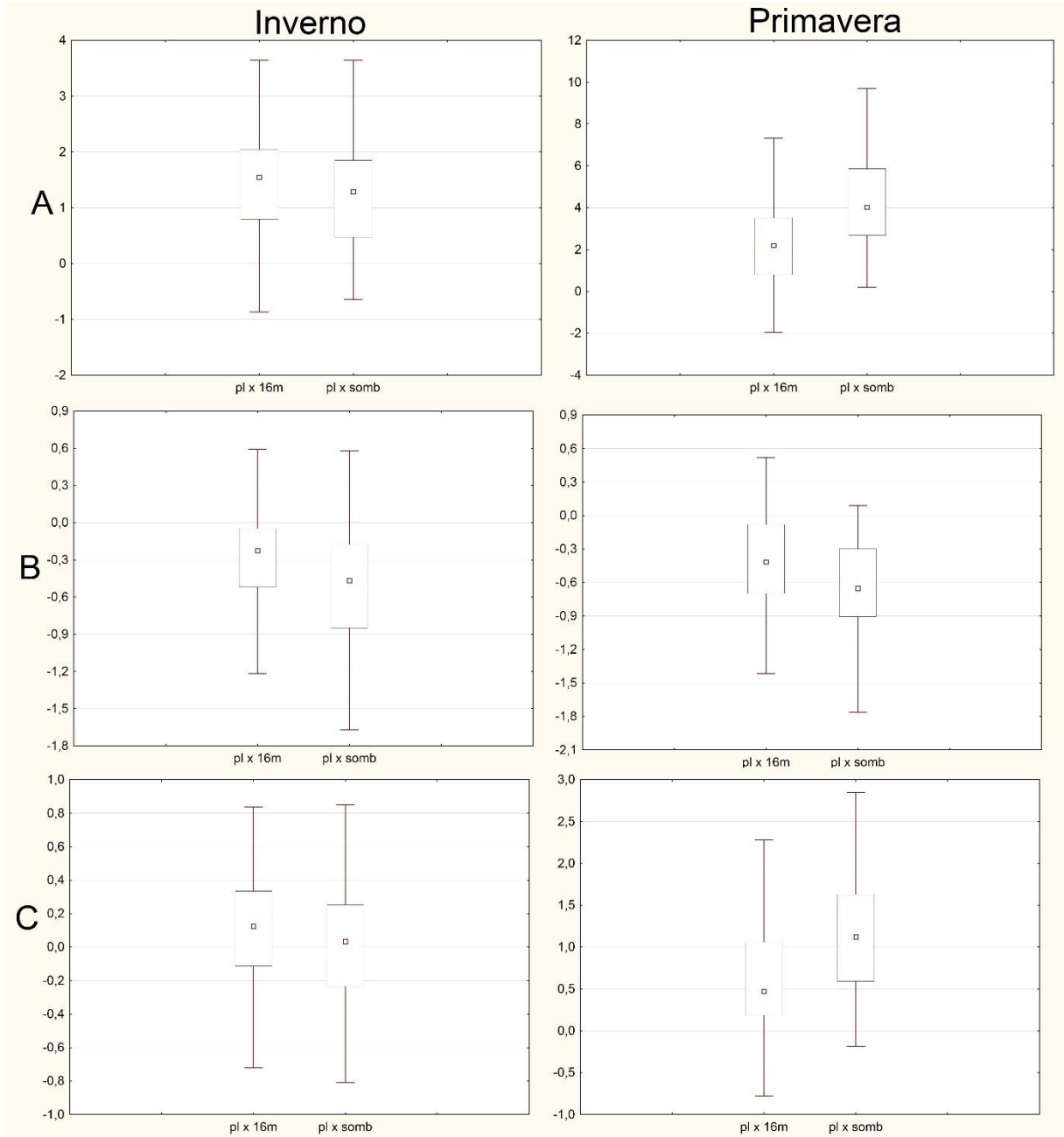
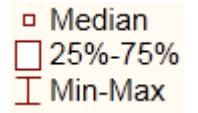
se verificar que os dois ambientes com a presença das seringueiras provocaram diferenças nas temperaturas durante todo o ano.

De uma maneira geral observa-se que durante o dia (10-16 h), as temperaturas são mais elevadas a pleno sol, resultando em diferenças positivas. Os valores da mediana mostram diferenças de temperatura do ar de 1,0 a 2,0 °C para as filas duplas de seringueiras espaçadas de 16 m, e diferenças de até 4 °C entre as filas duplas. Por outro lado, durante o período noturno, o ambiente arborizado permanece mais aquecido devido à interceptação parcial da emissão de calor pela superfície, resultando em diferenças negativas. Essas diferenças não são tão pronunciadas quanto as que ocorrem durante o dia. Assim, quando se considera a temperatura média de 24 horas, os valores são atenuados pela condição noturna, resultando em menores diferenças entre o cultivo a pleno sol e arborizado. As temperaturas foliares seguem o mesmo padrão das temperaturas do ar, como esperado, pois o aquecimento ou resfriamento do ar se dá a partir da superfície exposta.

Em cenários de mudanças climáticas, as temperaturas elevadas que ocorrem no período diurno poderão se tornar restritivas. As séries de dados históricos normalmente consideram as temperaturas médias dos períodos diurno e noturno. Entretanto, quando se analisa o ambiente em sistemas agroflorestais, os efeitos durante o dia são opostos aos efeitos durante a noite.

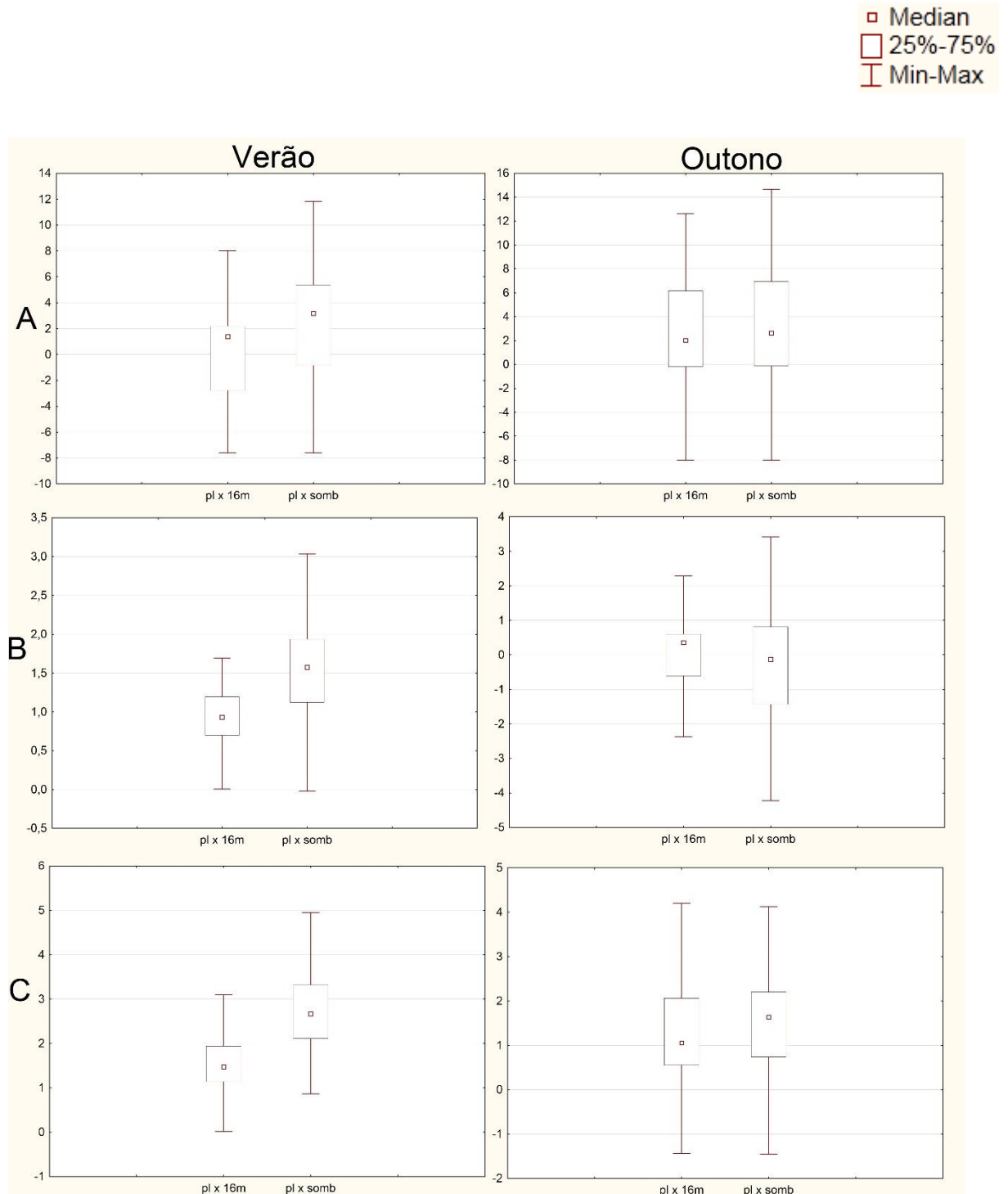
Figura 4.3 – Diagramas de caixa das diferenças médias de temperatura entre o tratamento a pleno sol comparado com consórcio de seringueira em filas duplas espaçadas de 16 m (pl x 16 m) e entre duas linhas de seringueiras (pl x somb), a 0,5 m de altura, das 10 – 16 h (A), 22 – 06 h (B) e 24 h (C). Londrina, junho/2016 a junho/2018.

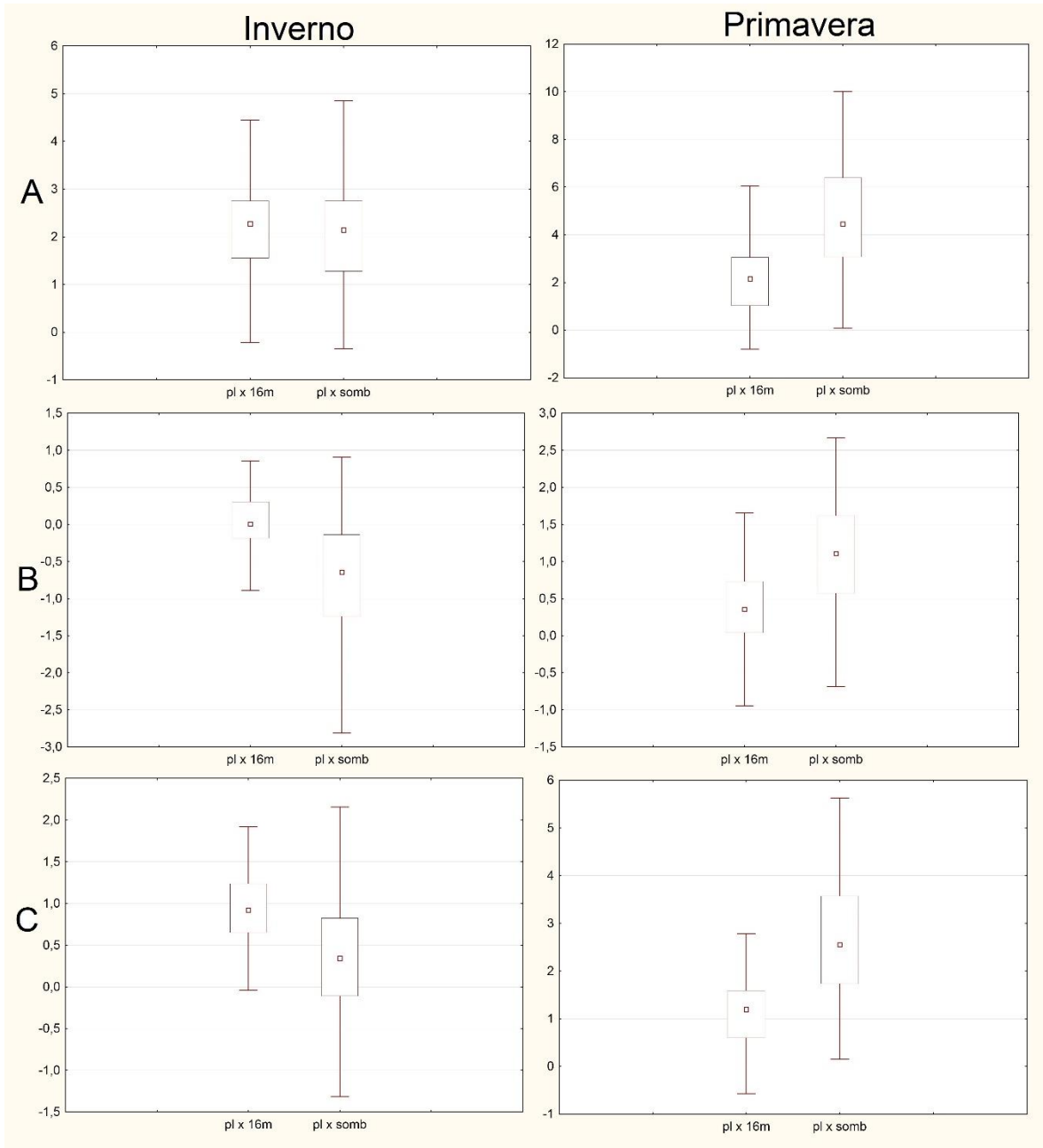
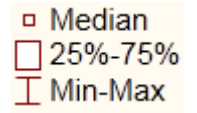




Fonte: Próprio autor.

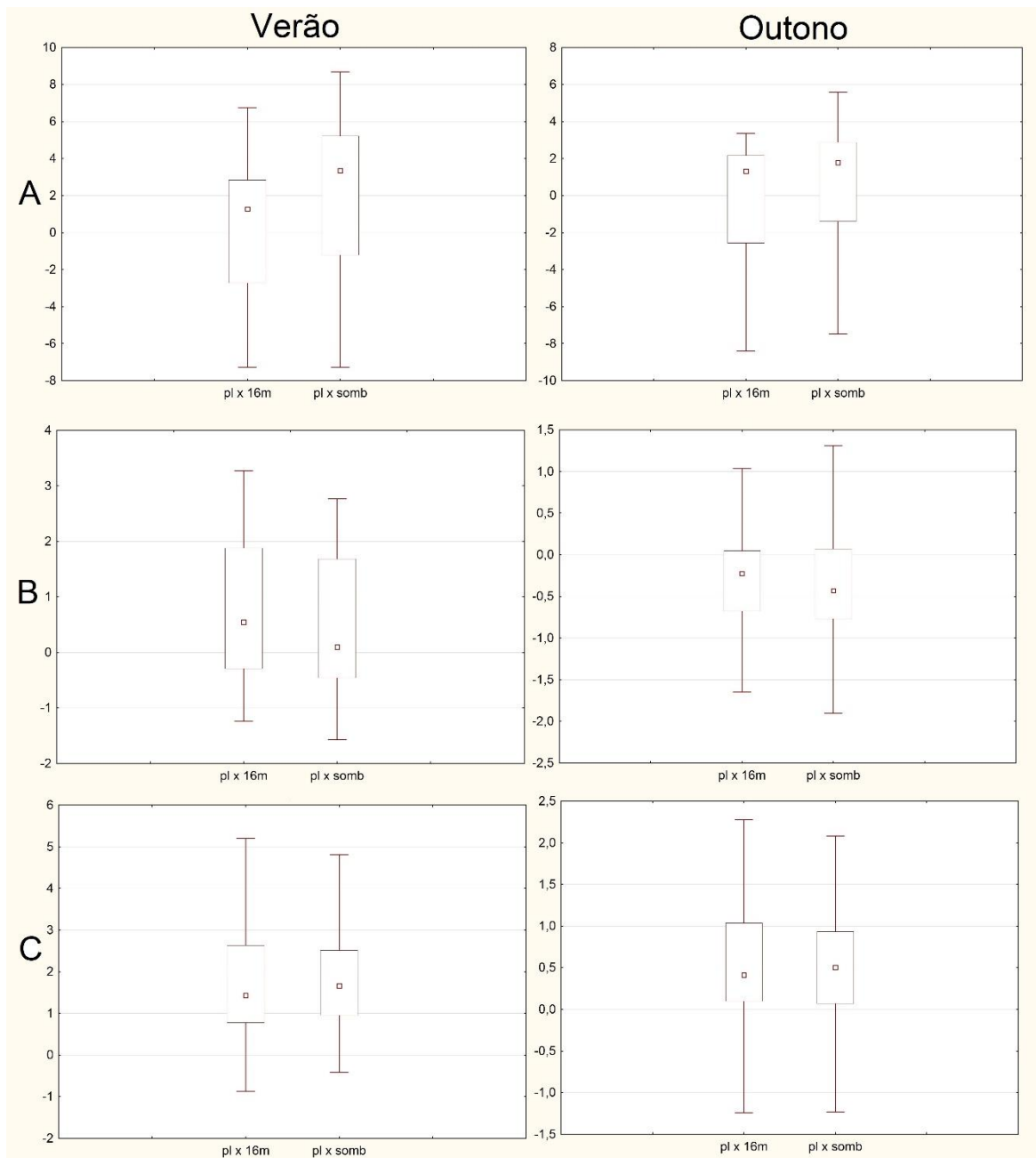
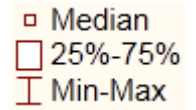
Figura 4.4 –Diagramas de caixa das diferenças médias de temperatura entre o tratamento a pleno sol comparado com consórcio de seringueira em filas duplas espaçadas de 16 m (pl x 16 m) e entre duas linhas de seringueiras (pl x symb), a 1,0 m de altura, das 10 – 16 h (A), 22 – 06 h (B) e 24 h (C). Londrina, junho/2016 a junho/2018.

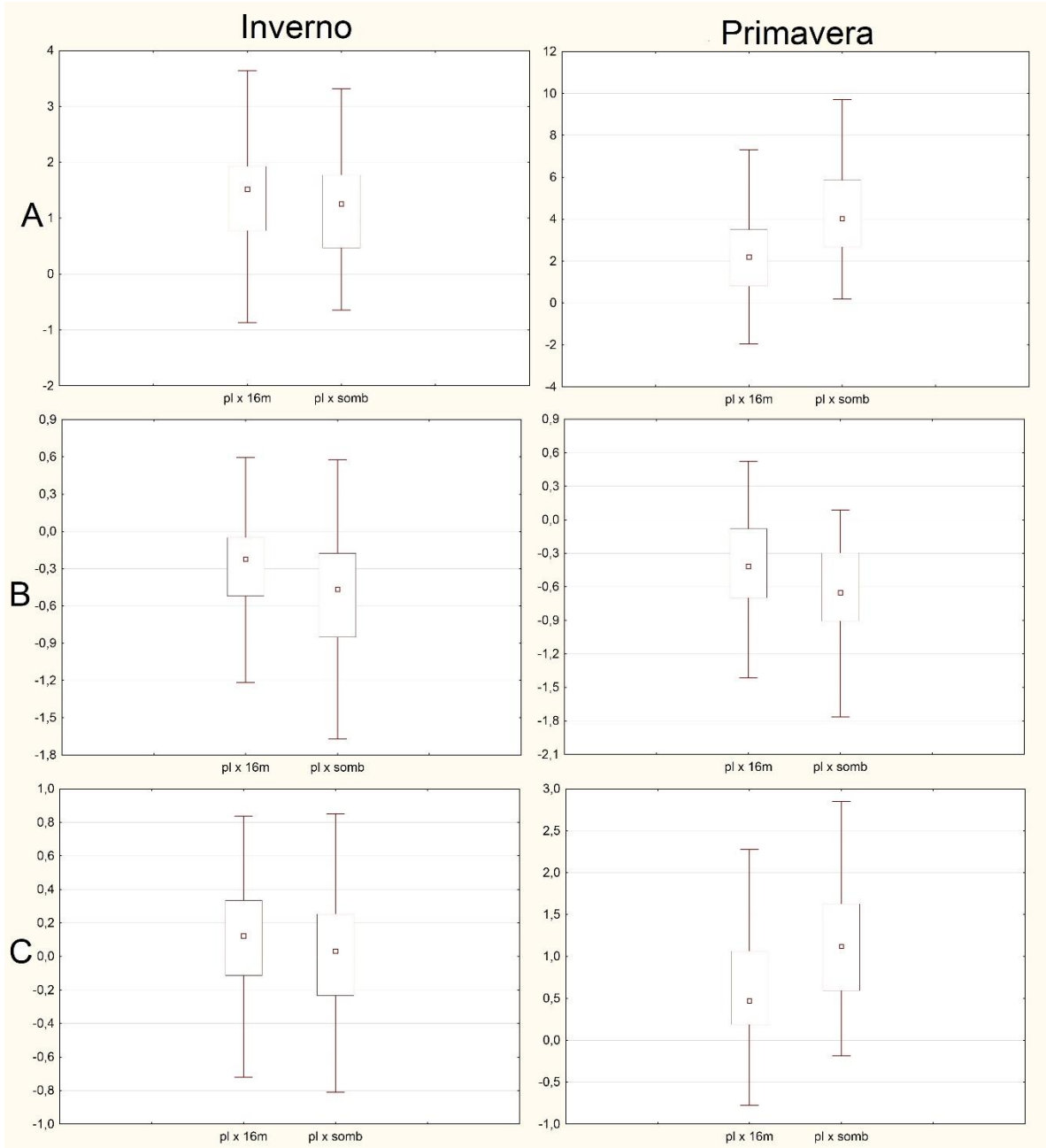
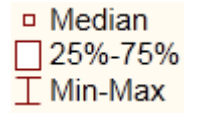




Fonte: Próprio autor.

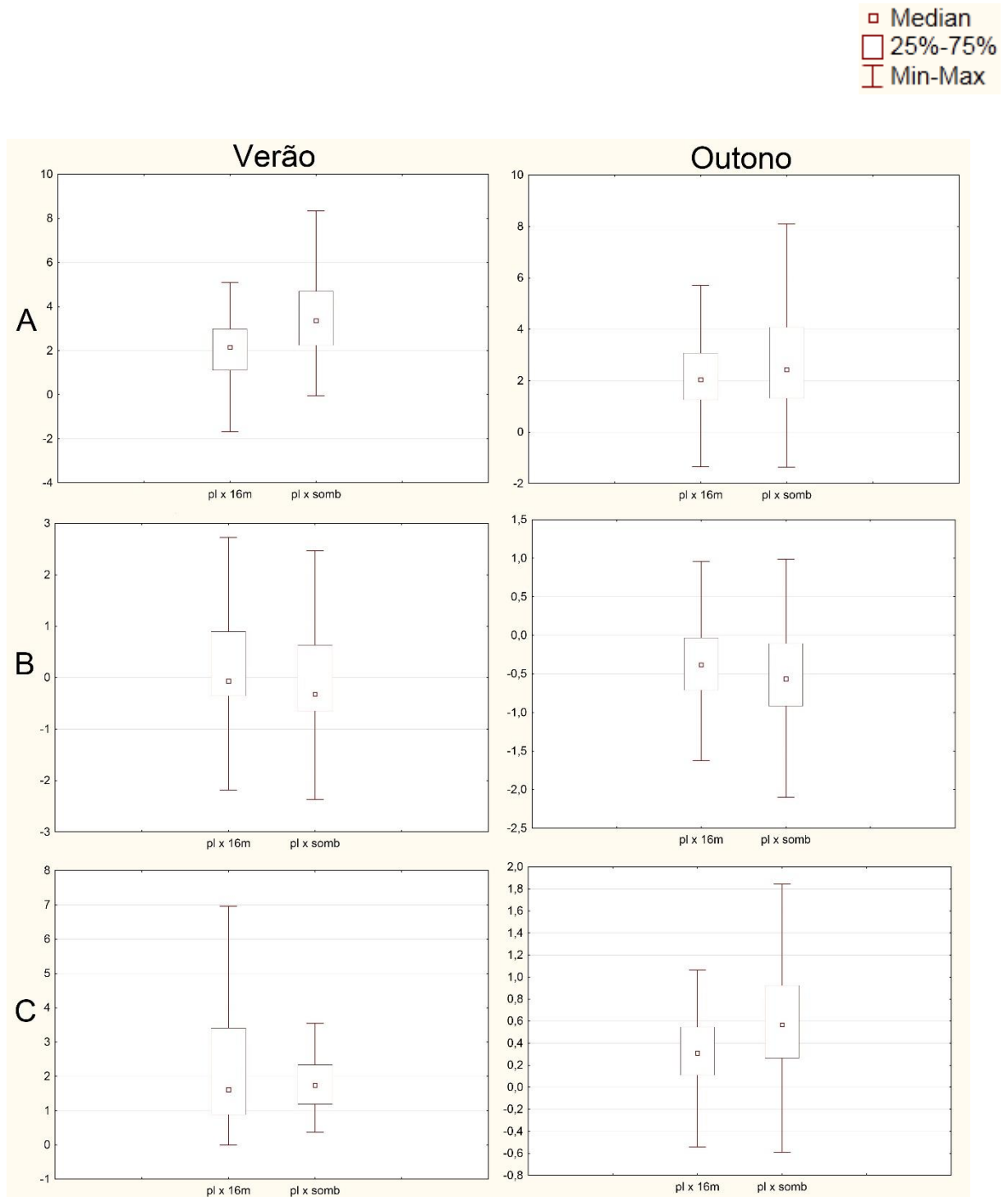
Figura 4.5 –Diagramas de caixa das diferenças médias de temperatura entre o tratamento a pleno sol comparado com consórcio de seringueira em filas duplas espaçadas de 16 m (pl x 16 m) e entre duas linhas de seringueiras (pl x symb), a 1,5 m de altura, das 10 – 16 h (A), 22 – 06 h (B) e 24 h (C). Londrina, junho/2016 a junho/2018.

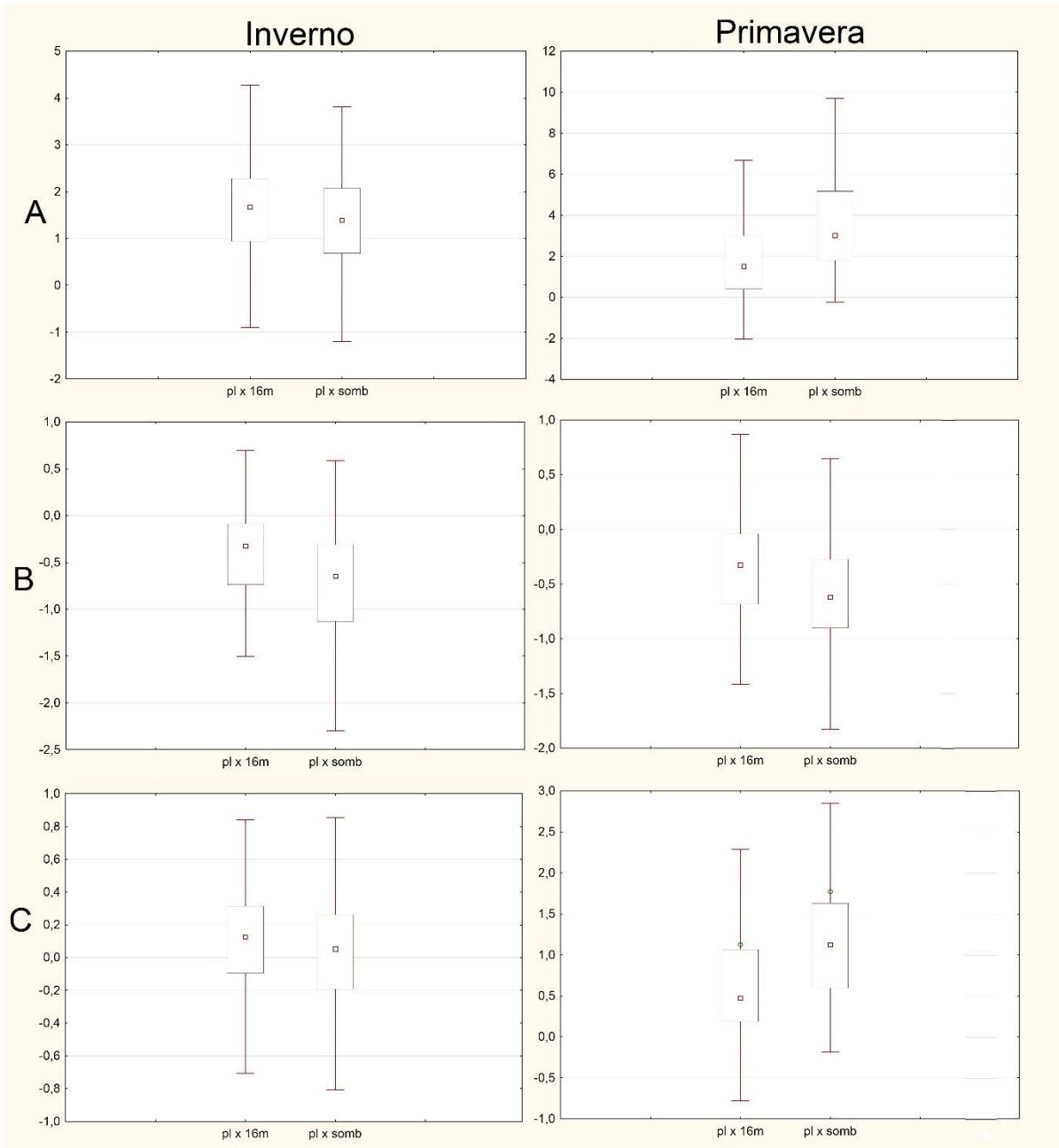
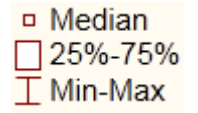




Fonte: Próprio autor.

Figura 4.6 –Diagramas de caixa das diferenças médias de temperatura foliar entre o tratamento a pleno sol comparado com consórcio de seringueira em filas duplas espaçadas de 16 m (pl x 16 m) e entre duas linhas de seringueiras (pl x symb), das 10 – 16 h (A), 22 – 06 h (B) e 24 h (C). Londrina, junho/2016 a junho/2018.





Fonte: Próprio autor.

No período diurno as árvores interceptam parte da radiação solar incidente, propiciando ambiente mais ameno. A magnitude desta interferência depende da arquitetura das copas das árvores, densidade populacional e orientação em relação ao sol.

No período noturno as copas das árvores interceptam parte da radiação de ondas longas emitida pela superfície, reduzindo a queda da temperatura. Desta forma, é mais adequado analisar separadamente os efeitos que ocorrem durante o período diurno quando se analisa o aquecimento.

A Tabela 4.1 apresenta as comparações dos valores de temperatura média do ar a 0,5, 1,0, 1,50 m de altura e na folha dos cafeeiros, nas diferentes estações do ano.

As diferenças foram significativas em grande parte das comparações, com os tratamentos em consórcio na estação do verão nas diferentes alturas do ar e na folha do cafeeiro, apresentando menores valores em relação ao cultivo a pleno sol. No outono, inverno e primavera houve diferenças significativas, com os tratamentos em consórcio somente durante o dia, onde se observa as temperaturas superiores. Na estação do inverno houve somente uma diferença significativa no período noturno, não havendo nenhuma diferença no outono no mesmo período. Isso ocorre porque o cafeeiro sombreado irradia menos ondas longas no período noturno sob as copas de seringueira. Moraes et al. (2006), estudando caracterização microclimática em cafeeiros sombreados com guandu, encontraram temperaturas do ar entre 1 e 4 °C mais altas sob a sombra do guandu no período noturno, comparadas às plantas de café expostas a céu aberto.

As diferenças médias variaram entre 1,4 e 2,3 °C ao longo do ano, sendo observadas maiores diferenças no verão e primavera. Em outros estudos realizados com coqueiro-anão-verde, bananeira e macadâmia foi relatado uma redução nas temperaturas máximas diurnas de 3 a 5 °C devido a interceptação da radiação solar incidente (PEZZOPANE; PEDRO JUNIOR; GALLO, 2007; PEZZOPANE et al., 2010; PEZZOPANE et al., 2011).

Tabela 4.1 – Temperatura média do ar das 10 – 16 h (Dia), 22 – 06 h (Noite) e média diária (24 h) a 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m de altura do solo, e das folhas de cafeeiros, nas quatro estações do ano. Cafeeiros a pleno sol (1), consorciado com seringueira em filas duplas espaçadas de 16 metros (2) e entre duas linhas das filas duplas de seringueira (3).

	0,5 m			1,0 m			1,5 m			Folha		
	Dia	Noite	24h	Dia	Noite	24h	Dia	Noite	24h	Dia	Noite	24h
Verão												
1	29,66	21,24	25,97	26,03	23,28	25,05	29,66	21,24	25,97	29,66	21,24	26,15
2	27,35*	20,87*	23,67*	23,74*	22,78*	23,25*	27,35*	20,87*	23,67*	27,35*	20,87*	23,77*
3	25,70*	20,90*	22,96*	21,88*	21,97*	21,63*	25,70*	20,90*	22,96*	25,70*	20,90*	23,25*
Outono												
1	26,71	18,15	21,45	25,85	19,45	21,78	26,71	18,15	21,46	26,72	18,15	21,46
2	24,62*	18,65	21,16	23,06*	19,30	20,88*	24,62*	18,65	21,16	25,68*	18,21	21,35
3	24,12*	18,49	20,69	20,72*	19,81	20,13*	24,12*	18,49	20,69	24,12*	18,49	20,86
Inverno												
1	23,26	12,44	16,74	18,84	15,10	16,62	23,26	12,44	16,74	23,26	12,45	16,74
2	21,85*	12,79	16,58	16,26*	15,10	15,64*	21,85*	12,79	16,58	21,85*	12,79	16,58
3	21,93*	13,00	16,28	16,44*	15,85*	16,07*	21,93*	13,00	16,28	21,93*	13,00	16,63
Primavera												
1	30,17	17,29	23,13	23,88	20,40	21,80	30,17	17,29	23,13	30,17	17,30	23,13
2	27,82*	17,44	21,99	21,69*	19,88*	20,68*	27,82*	17,44	21,99*	27,82*	17,44	21,99*
3	25,83*	17,67	21,33	19,12*	19,07*	18,99*	25,83*	17,67	21,33*	25,83*	17,67	21,35*

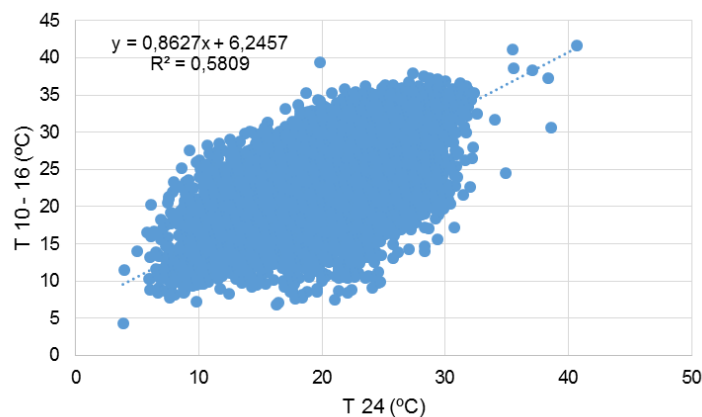
*Diferença significativa em relação ao cultivo a pleno sol pelo teste de t pareado ao nível de 5% de significância.

Fonte: Próprio autor.

4.5.1.1 Relação entre temperatura média diária e temperatura média das 10 às 16 horas.

A Figura 4.7 mostra a regressão entre Temperatura média de 24 horas e temperatura média das 10 às 16 horas. Há uma relação linear entre as duas variáveis, como esperado, com R^2 de 0,5809. O teste F mostrou significância da regressão ao nível de 1%. O coeficiente angular da reta também foi significativo ao nível de 1% de acordo com o teste t. Assim, é possível relacionar as temperaturas médias diárias como as temperaturas das 10 às 16 horas, quando o aquecimento global poderá trazer maiores prejuízos aos cafezais. Como se estabeleceu a temperatura média do ar de 24°C como limite superior tolerável para *C. arabica*, verifica-se uma correspondência de 27°C das 10 às 16 horas. Portanto, esse valor foi utilizado nas séries de dados simuladas para identificar o ponto de corte em cada um dos quatro cenários.

Figura 4.7 – Regressão entre Temperatura média do ar de 24 horas (T24) e temperatura média do ar das 10 às 16 horas (T10-16) para as estações meteorológicas de Londrina, Apucarana, Maringá, Paranavaí e Umuarama, no Estado do Paraná.



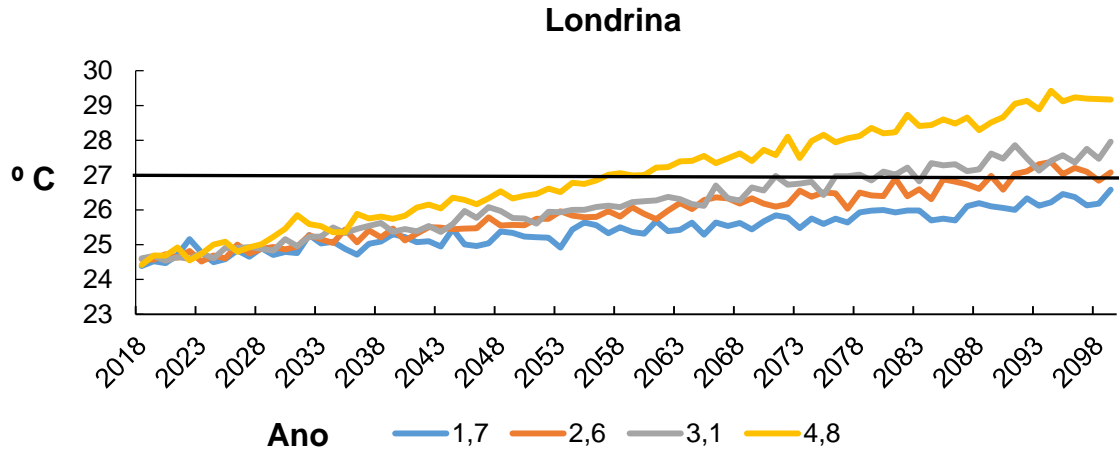
Fonte: Próprio autor.

4.5.1.2 Simulações do PGECLIMA_R

Foram organizadas as bases de dados meteorológicos históricos e realizadas as simulações com o gerador PGECLIMA_R. As Figuras 4.8 e 4.9

mostram as séries de dados perturbados para Londrina e Paranavaí, para os cenários de aquecimento de 1,7, 2,6, 3,1 e 4,8 °C.

Figura 4.8 – Simulações dos cenários climáticos para as temperaturas 1,7, 2,6, 3,1 e 4,8 °C para Londrina, PR.

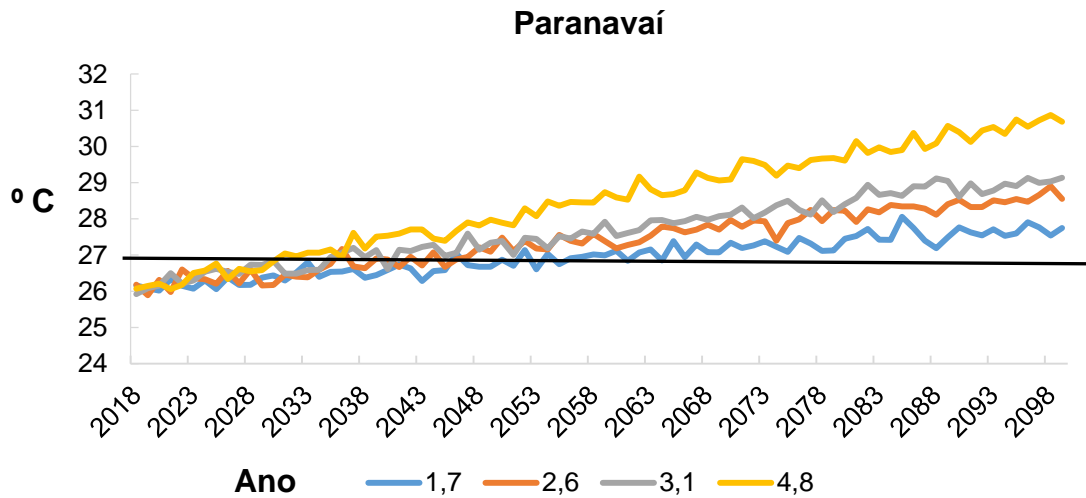


Fonte: Próprio autor.

O limite crítico de 27 °C é atingido em períodos diferentes, de acordo com a temperatura de aquecimento. Com 4,8 °C esse limite é ultrapassado em 2060; com 3,1° em 2075; com 2,6 °C em 2090; e com 1,7 °C o limite crítico não é ultrapassado até o final deste século.

Paranavaí localiza-se em uma região com temperaturas mais elevadas do que a região de Londrina. Nesse caso a situação é muito mais crítica, tornando o cultivo não recomendado mais cedo. Com 4,8 °C esse limite é ultrapassado em 2030; com 3,1° em 2040; com 2,6 °C em 2050; e com 1,7 °C em 2065. Portanto, em regiões mais quentes, como os vales dos rios Paraná e Paranapanema e no Noroeste do Estado, em algumas décadas o cultivo de café arábica poderá se tornar inviável, caso a de aquecimento se mantenha.

Figura 4.9 – Simulações dos cenários climáticos para as temperaturas 1,7, 2,6, 3,1 e 4,8 °C para Paranavaí, PR.

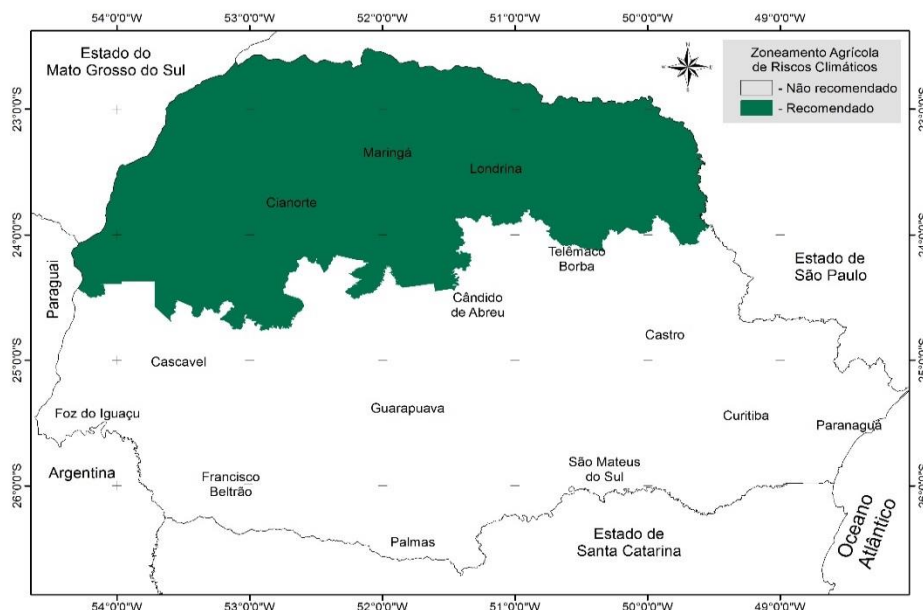


Fonte: Próprio autor.

4.5.2 Simulações dos impactos dos cenários climáticos para café a pleno sol

O zoneamento de risco climático do café arábica no Paraná foi realizado por Caramori et al. (2001), conforme Figura 4.10. A temperatura média anual de 24 °C foi utilizada como critério para o corte das áreas mais quentes ao Norte.

Figura 4.10 – Zoneamento Agrícola atual do Café Arábica para o Estado do Paraná.



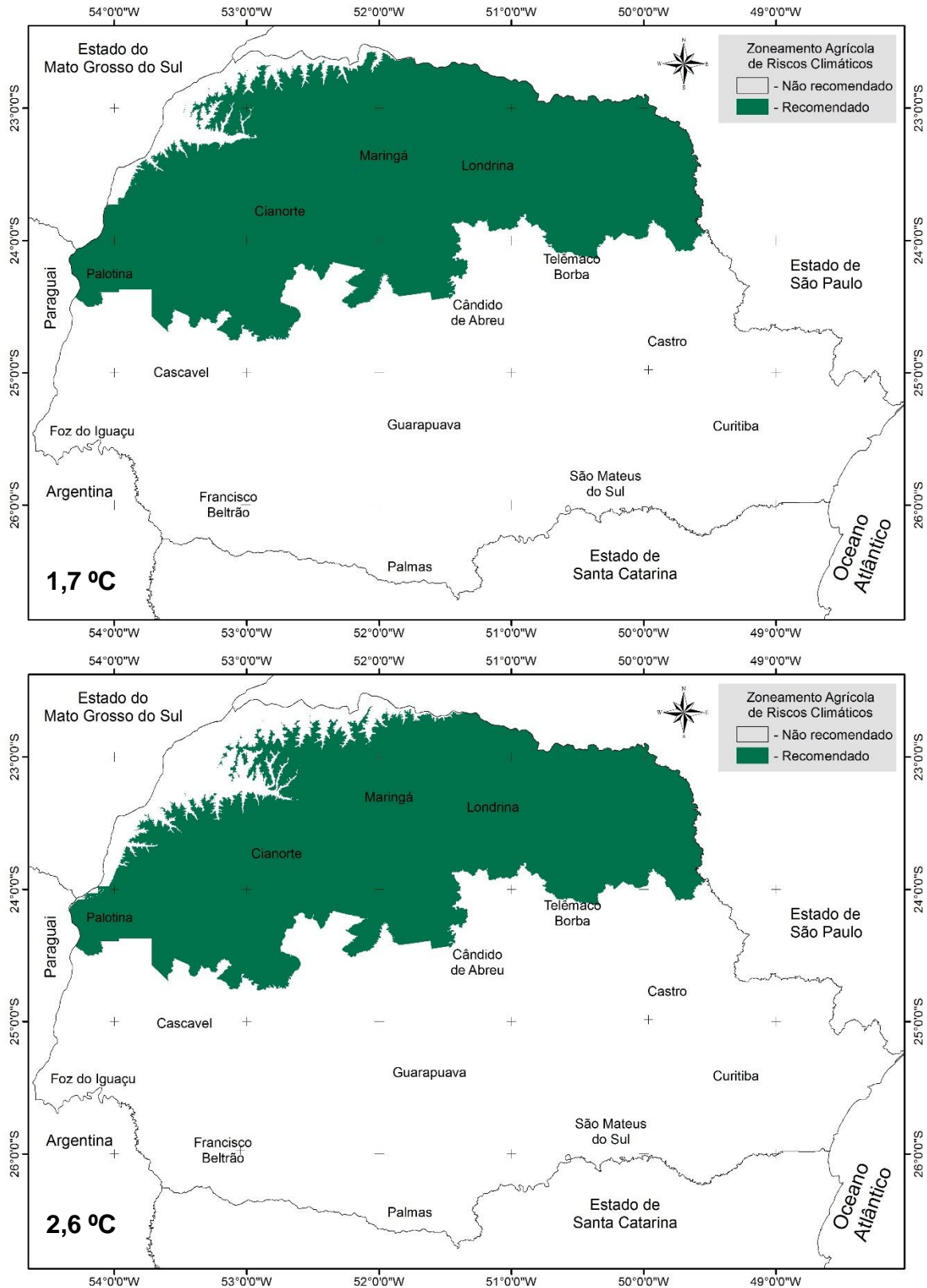
Fonte: Caramori et al.(2001).

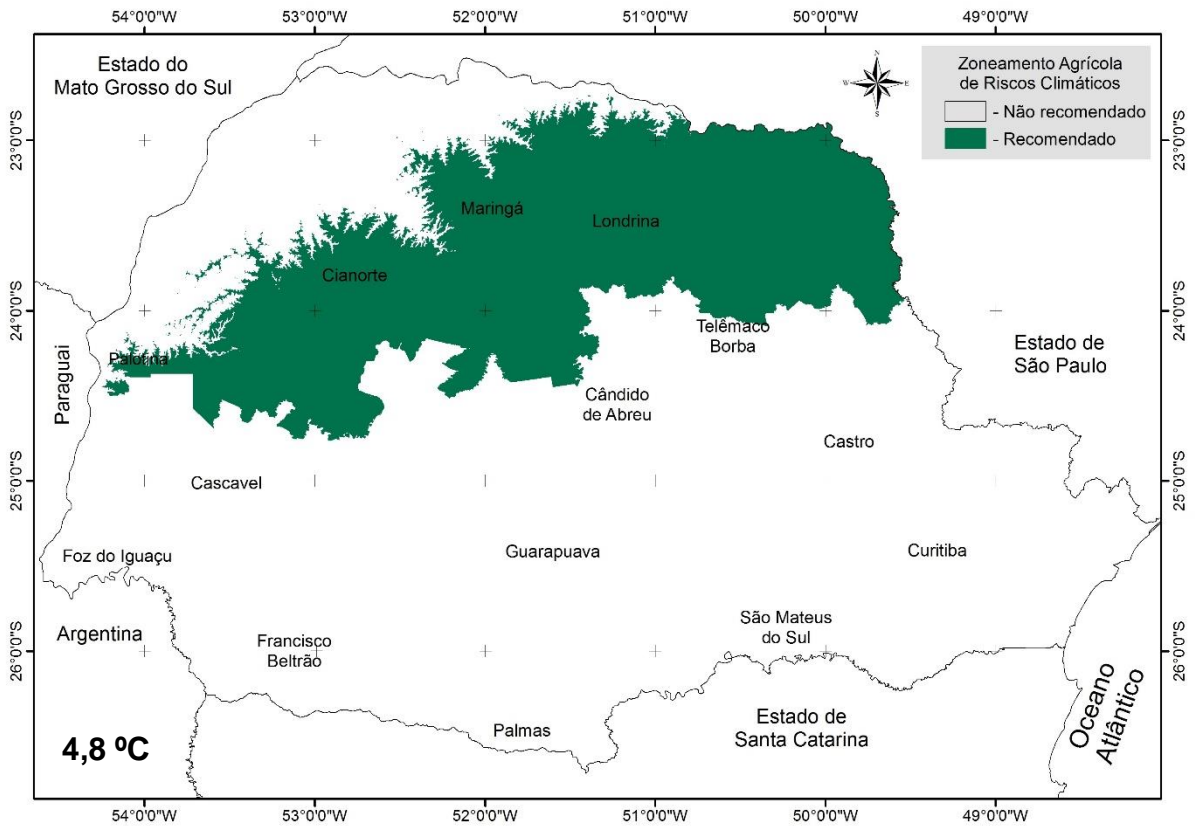
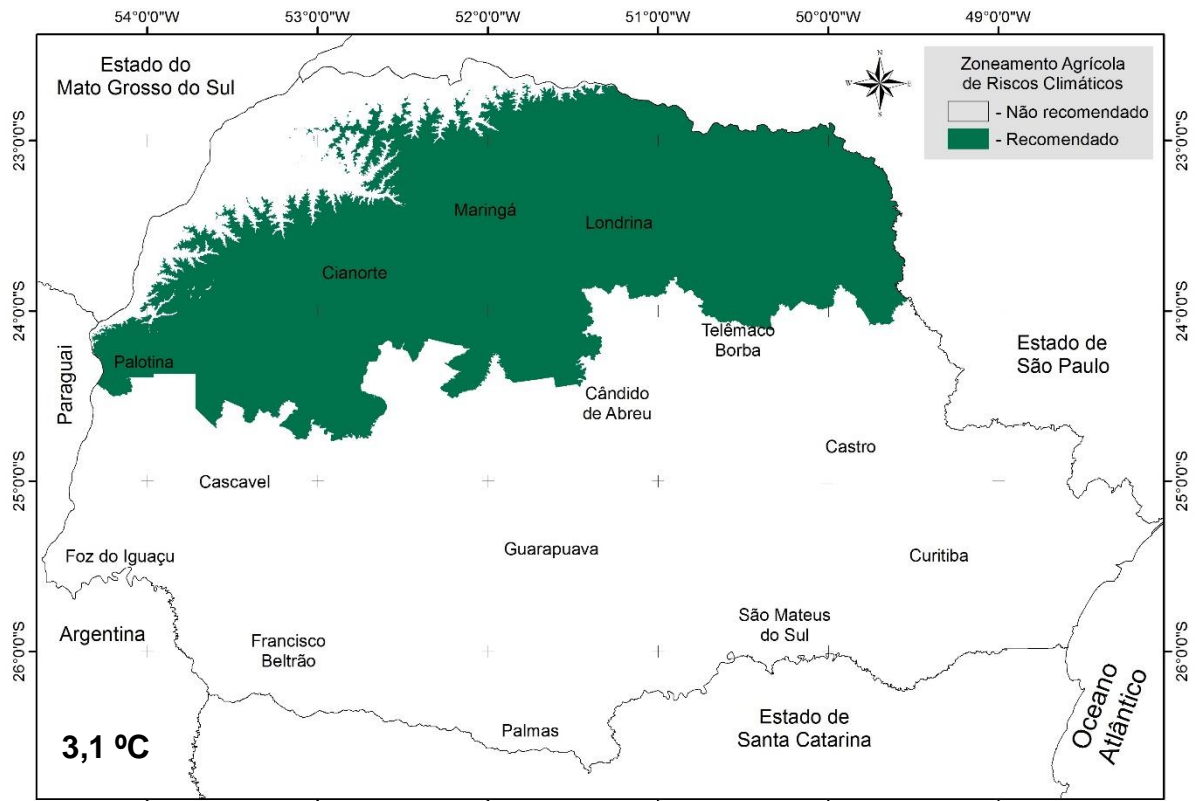
Como esse valor ainda não foi atingido, na prática o Paraná atualmente não apresenta restrições. No entanto, de acordo com diversos estudos reportados pelo IPCC (2014), as temperaturas vêm aumentando de forma acelerada e o aquecimento é inevitável. O que pode alterar é a intensidade desse aquecimento, dependendo de ações presentes e futuras voltadas à redução das emissões e sequestro do CO₂ atmosférico.

Considerando o período de 2018 a 2058 (Figura 4.11), verifica-se uma progressão da área inapta a partir do vale do rio Paraná a Oeste, evoluindo para o vale do rio Paranapanema ao Norte e região Noroeste do Estado com os cenários de aquecimento de 1,7, 2,6, 3,1 e 4,8 °C.

Para o período 2059 a 2099 (Figura 4.12) a situação se torna crítica, mostrando a inviabilização da região Noroeste já a partir de 1,7 °C e reduzindo progressivamente as áreas aptas, até praticamente inviabilizar o cultivo em todo o Estado com aumento de 4,8 °C.

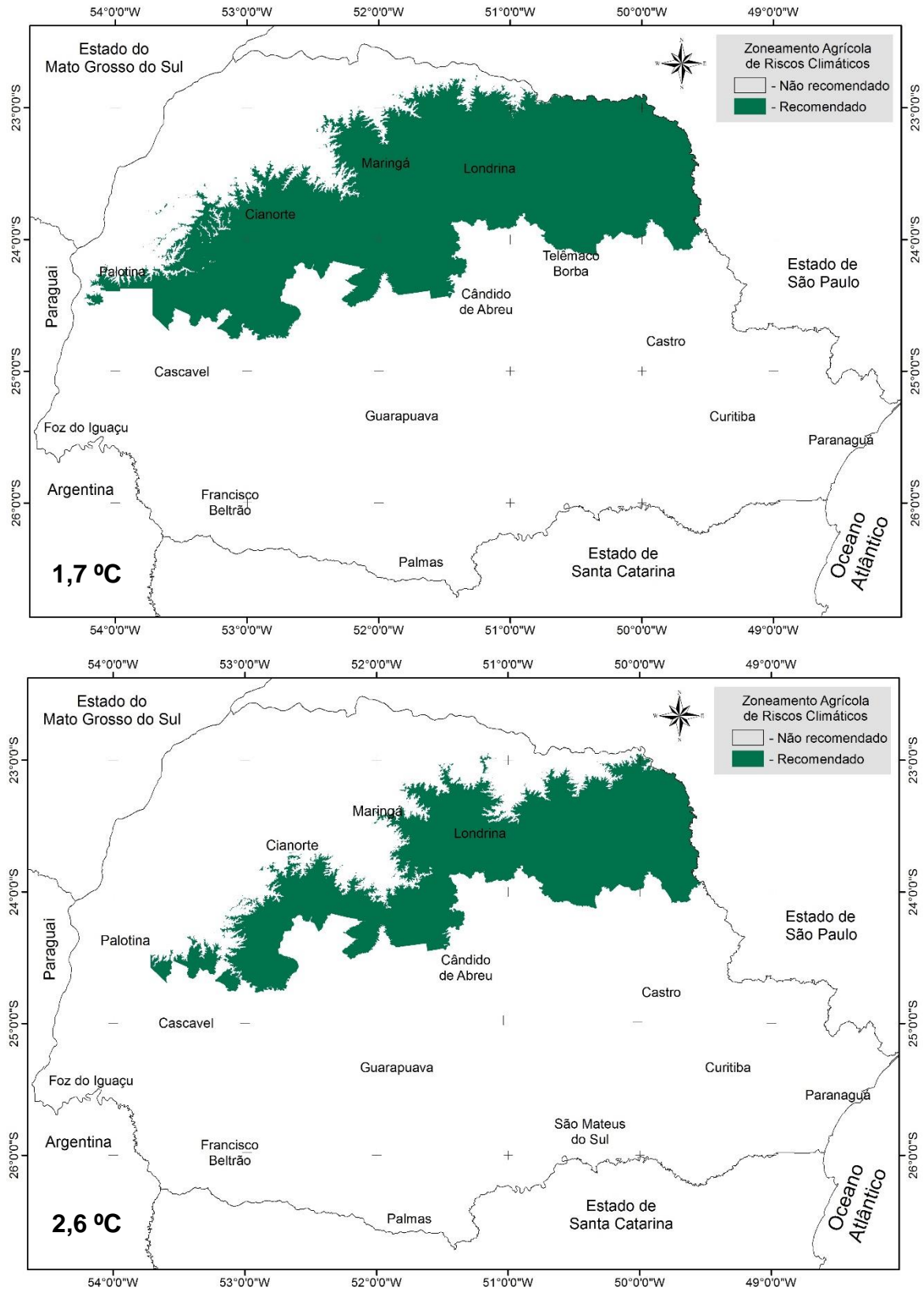
Figura 4.11 – Impacto dos quatro cenários de mudanças climáticas sobre o zoneamento do café a pleno sol no Paraná, referente ao período 2018-2058.

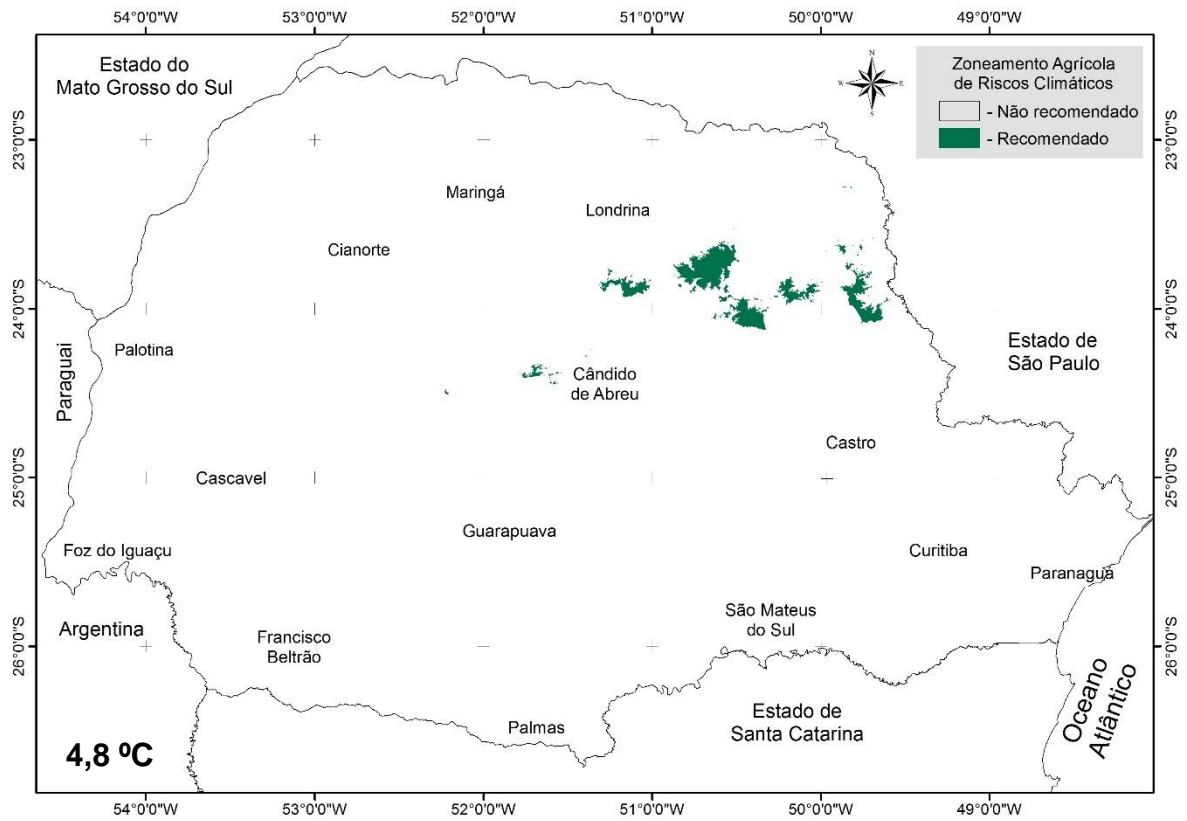
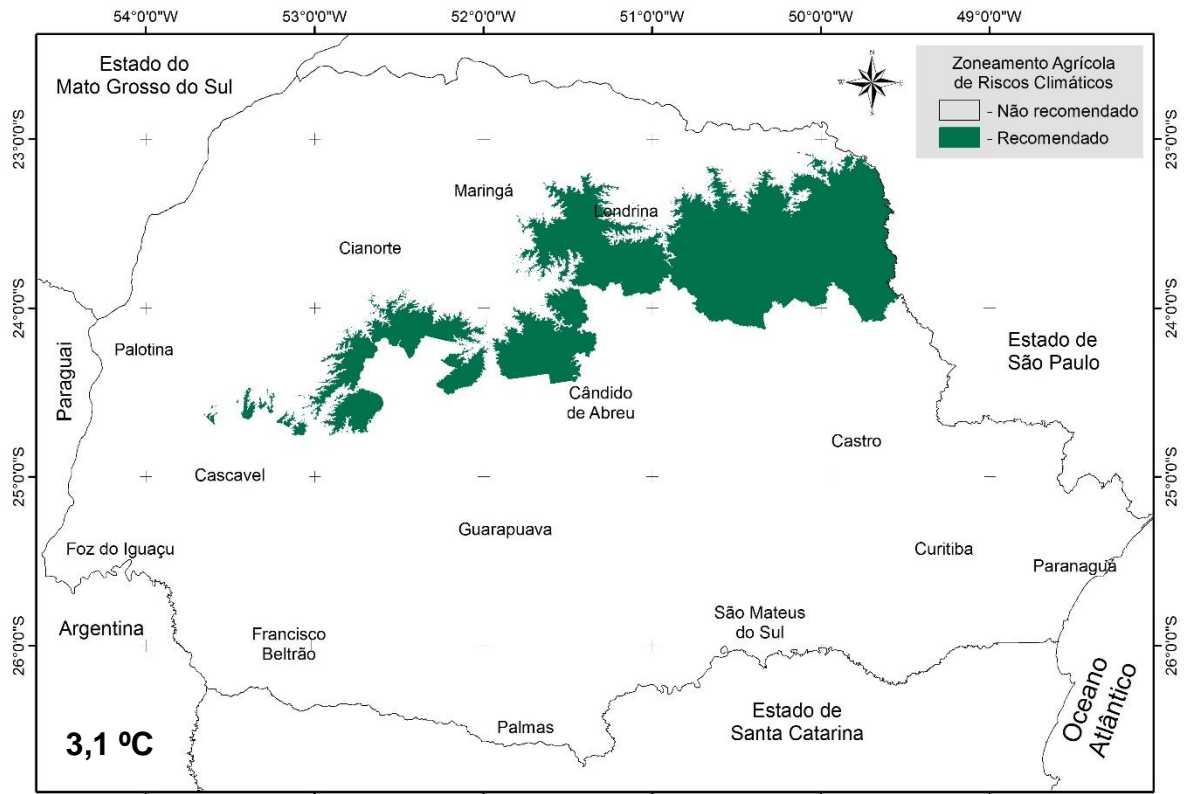




Fonte: Próprio autor.

Figura 4.12 – Impacto dos quatro cenários de mudanças climáticas sobre o zoneamento do café a pleno sol no Paraná, referente ao período 2059-2099.





Fonte: Próprio autor.

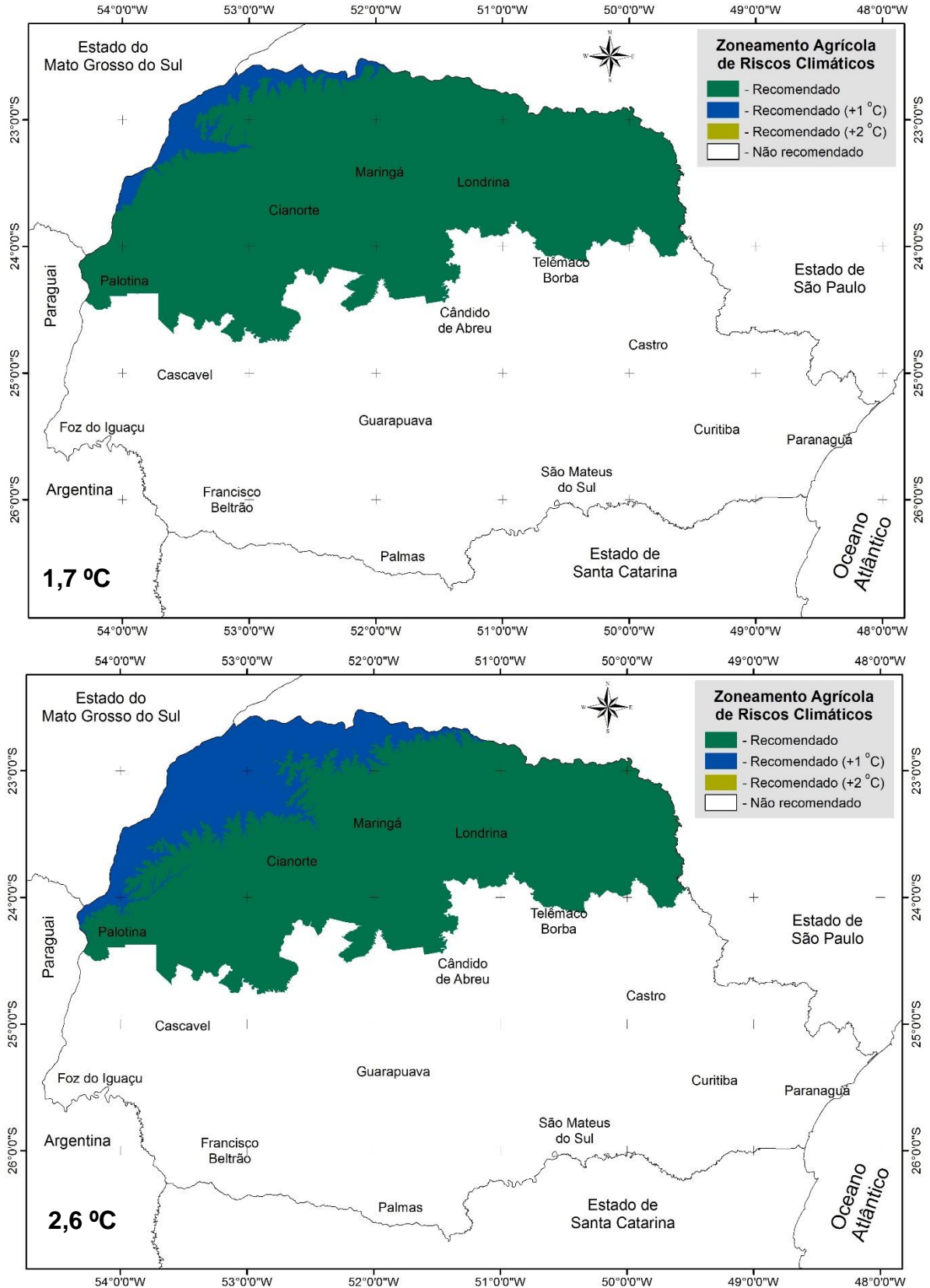
4.5.3 Simulações dos impactos dos cenários climáticos para café em sistema agroflorestal com seringueira.

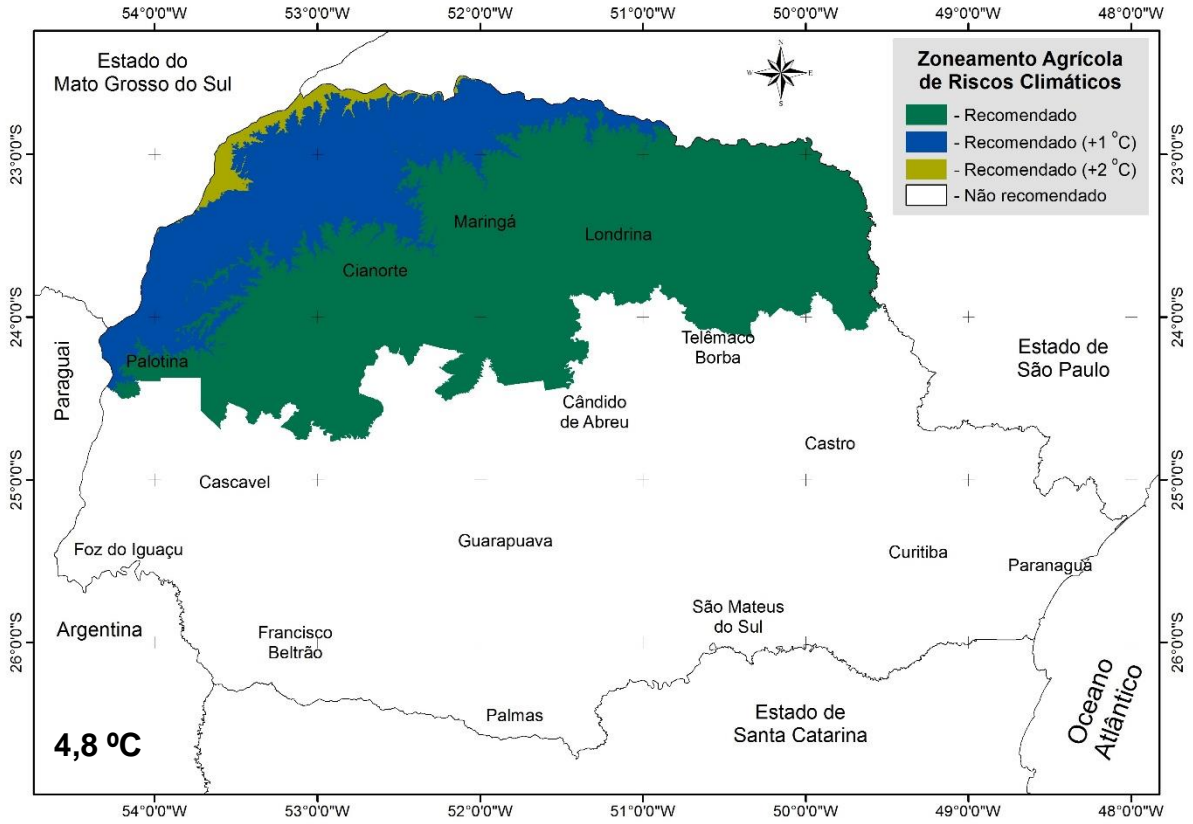
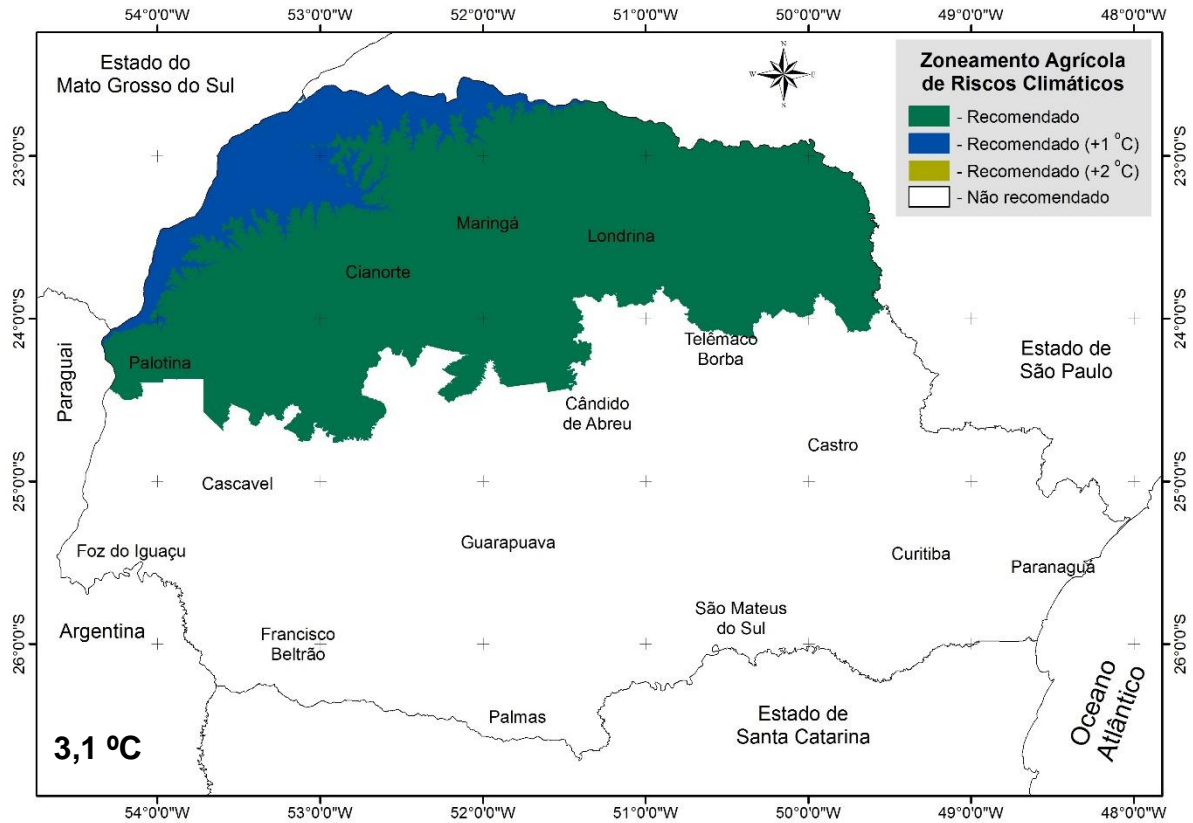
Com base nas análises de microclima do experimento, em que a parcela com seringueiras em filas duplas espaçadas de 16 m apresentou temperaturas do ar e das folhas em média entre 1,4 °C e 2,3 °C mais baixas, foram gerados dois cenários, considerando a atenuação de 1 °C e 2 °C devido à presença das seringueiras, para os períodos de 2018 a 2058 e 2059 a 2099 (Figuras 4.13 e 4.14). As áreas em verde são as áreas que permanecem aptas mesmo sem o uso do SAF. As áreas em azul representam o ganho com atenuação de 1 °C e as áreas em amarelo representam o ganho com atenuação de 2 °C, tornando-as aptas ao cultivo do café arábica.

No período de 2018 a 2058 (Figura 4.13), é possível observar que com a redução de 1 °C e até 2 °C, será viável cultivar o café na área considerada inapta pelos cenários de aquecimento projetado com temperaturas de 1,7, 2,6, 3,1 e 4,8 °C anteriormente. No entanto, as regiões a partir do vale do rio Paraná a Oeste, também no vale do rio Paranapanema ao Norte e região Noroeste do Estado poderão continuar produzindo cafés através do uso de sistemas agroflorestais.

Com relação ao período 2059 a 2098 (Figura 4.14 a região Noroeste apresentou praticamente total inviabilização a partir de 1,7 °C e progrediu inviabilizando o restante do Estado com o aumento até 4,8 °C, os sistemas com redução de 1 °C e até 2 °C, permitirão a produção em toda região já recomendada até o cenário de 2,6 °C. A partir da projeção de 3,1 °C, ocorre uma redução da área na região do Rio Paraná, tornando inapta caso se confirme o aquecimento. Na projeção de 4,8 °C toda a região noroeste se torna inapta, sendo somente recomendado o cultivo com sistemas agroflorestais com redução de 1 e 2 °C, no restante da área do Estado.

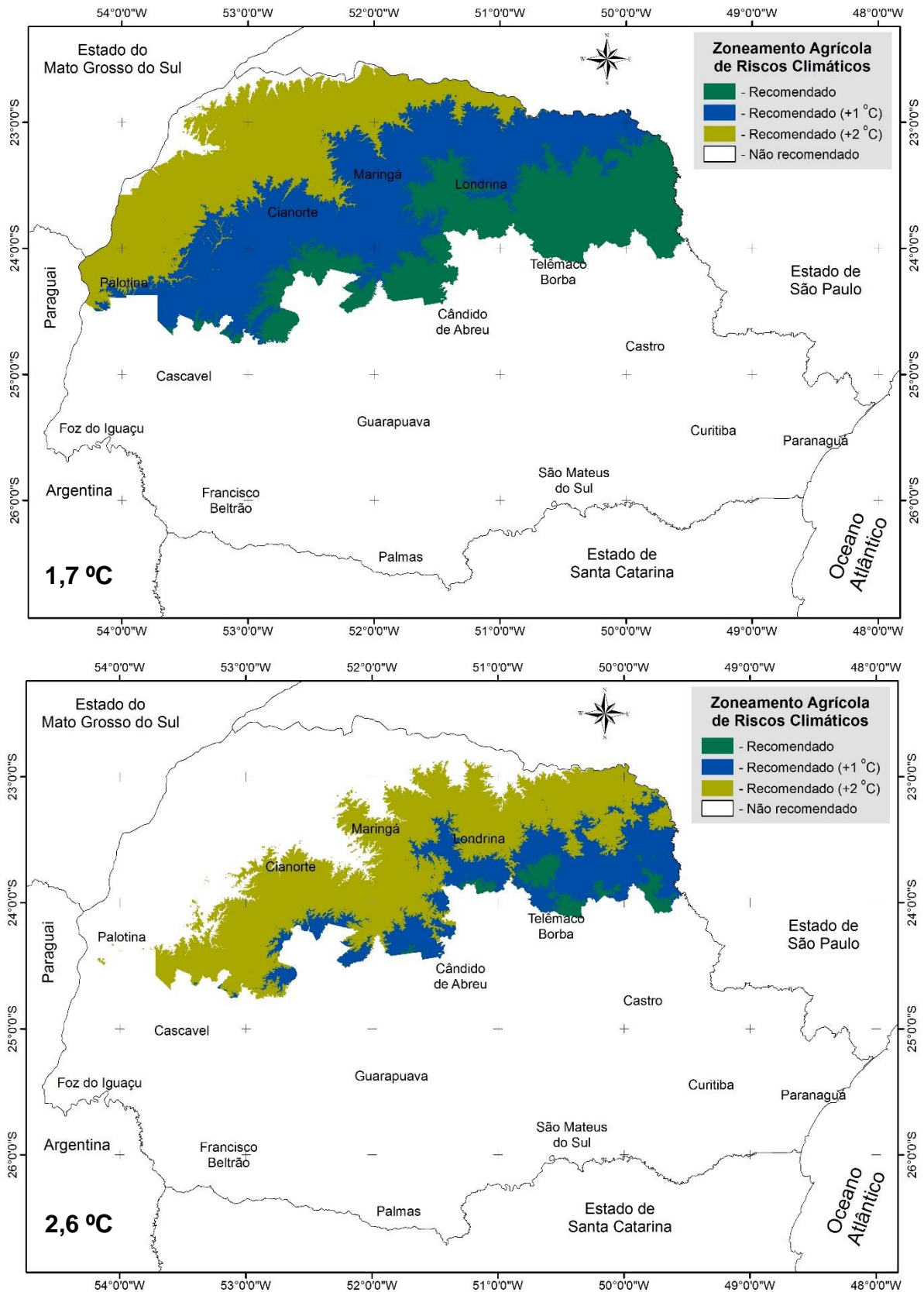
Figura 4.13 – Zoneamento do café arábica com sistemas agroflorestais (SAFs) com a redução de 1 °C e 2 °C, nos cenários de cenários de aquecimento de 1,7, 2,6, 3,1 e 4,8 °C no Paraná, referente ao período 2018-2058.

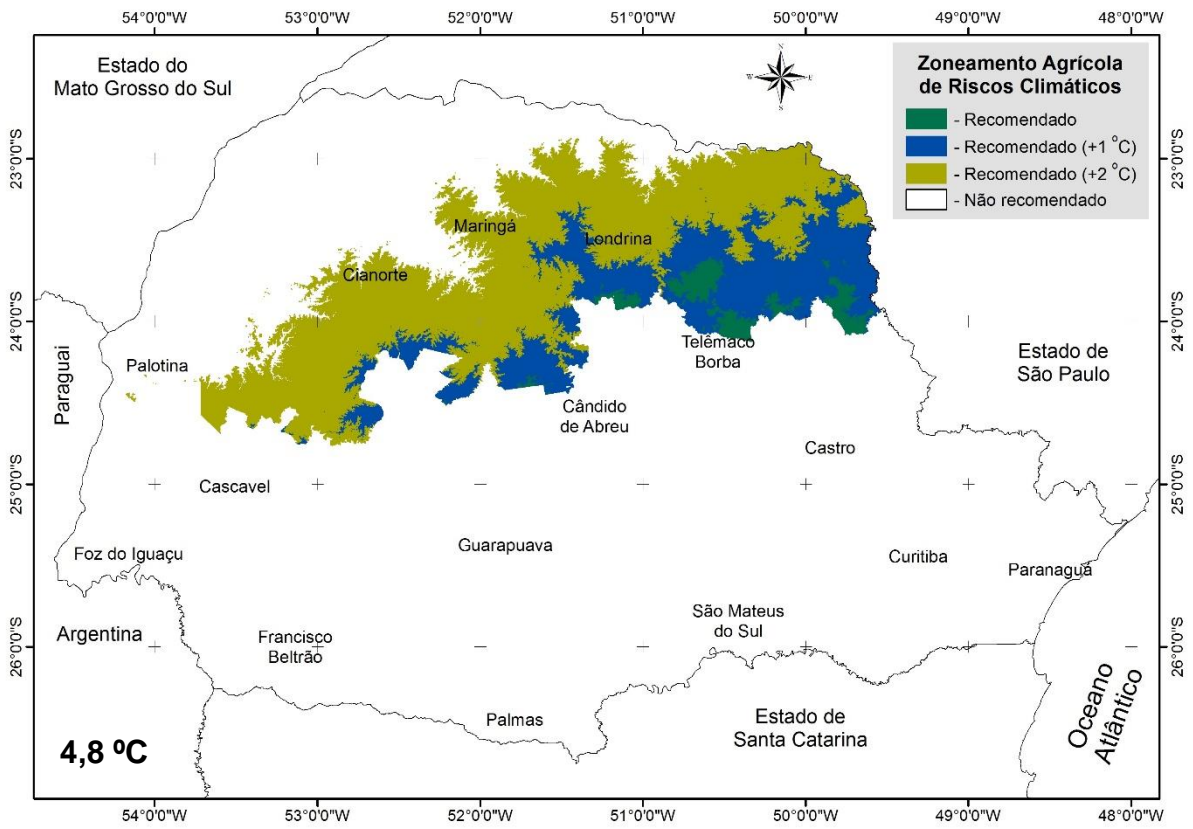
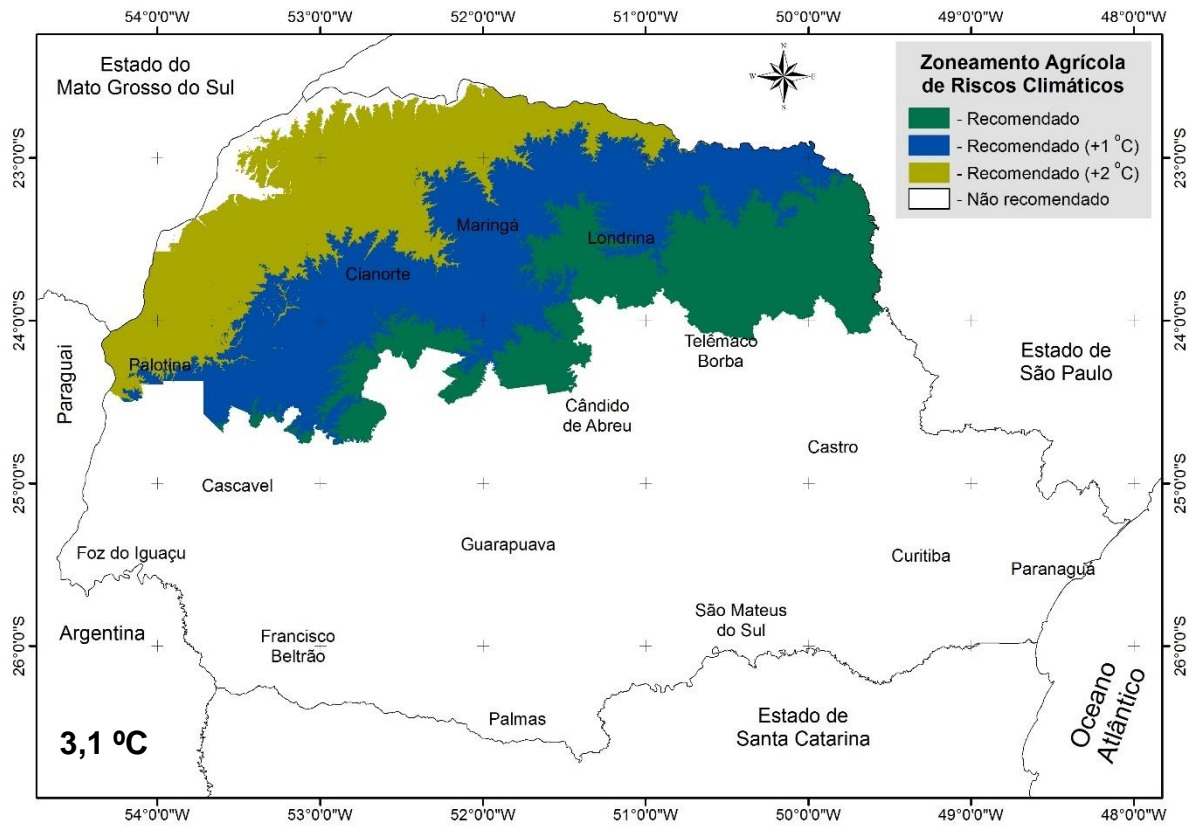




Fonte: Próprio autor.

Figura 4.14 – Zoneamento do café arábica com sistemas agroflorestais (SAFs) com a redução de 1 °C e 2 °C, nos cenários de aquecimento de 1,7, 2,6, 3,1 e 4,8 °C no Paraná, referente ao período 2059-2099.



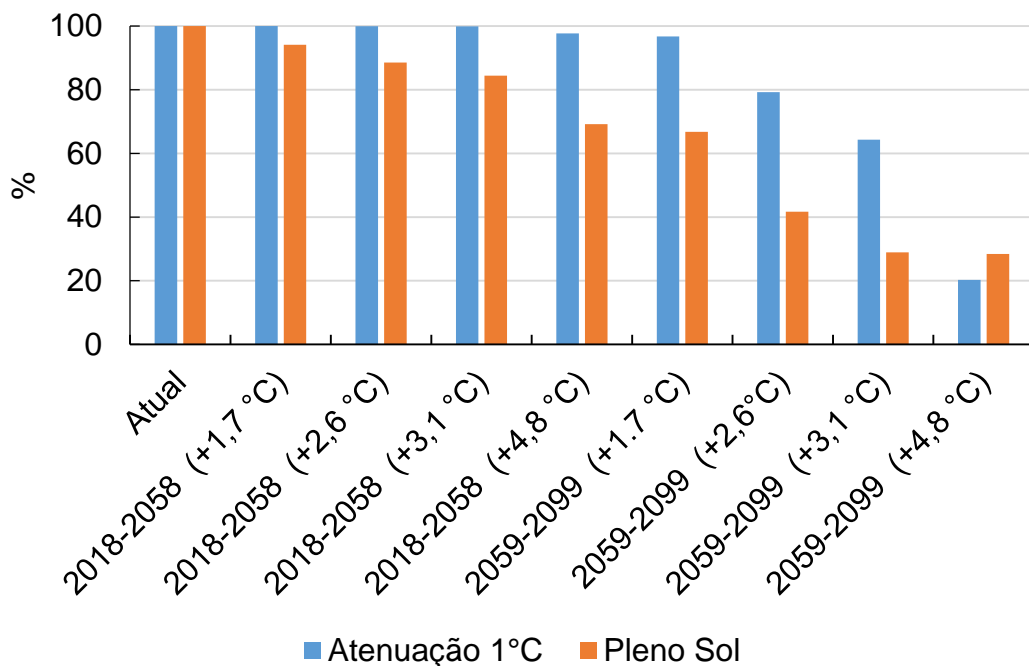


Fonte: Próprio autor.

As figuras 4.15 e 4.16 apresentam a porcentagem da área apta ao cultivo do café arábica que permanece, considerando que com sistemas agroflorestais se pode atenuar 1 °C ou 2°C, sob os quatro cenários de aquecimento possíveis de acordo com IPCC (2014).

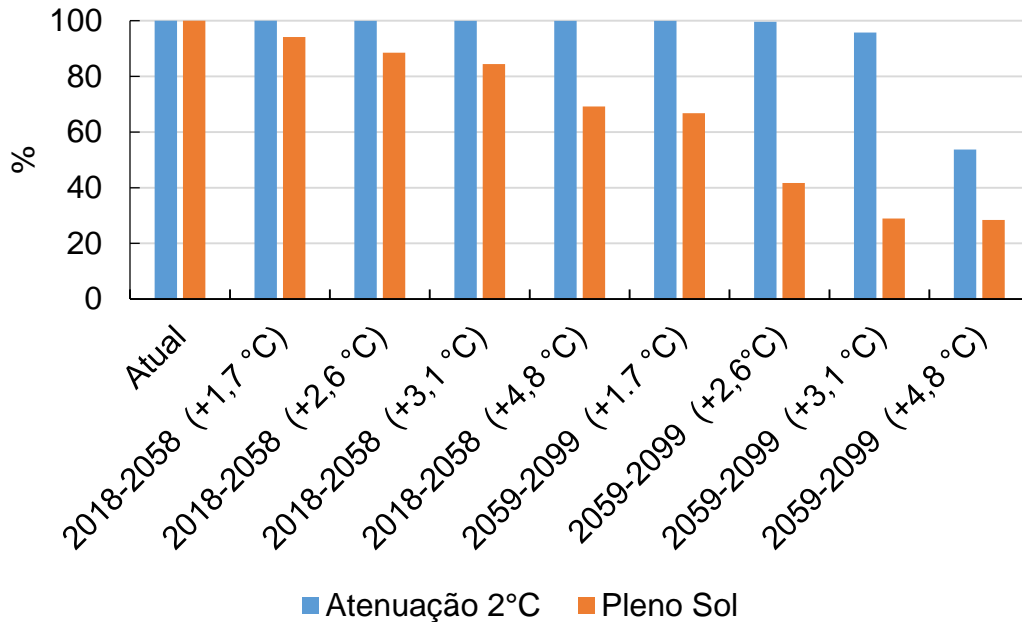
Alguns autores consideram que com o aquecimento global será possível migrar a cafeicultura para áreas mais ao sul da atual região apta ao cultivo, devido à possível diminuição das geadas e elevação das temperaturas em áreas atualmente com climas mais frios para o café arábica (ASSAD et al., 2004; PINTO et al., 2008). No entanto não há garantias de que isso poderá ocorrer, devido a diversos fatores, tais como ausência de tradição de cultivo, falta de mão de obra, possibilidade de eventos extremos como as geadas continuarem a ocorrer e excesso de chuvas durante o ciclo da cultura. Dentro deste contexto, optou-se por analisar somente os impactos sobre a área cafeeira tradicional do Estado do Paraná.

Figura 4.15 - Porcentagem da área que permanece em cultivo a pleno sol e em sistema agroflorestal com atenuação de 1 °C, considerando os cenários de aquecimento de 1,7 °C, 2,6 °C, 3,1 °C e 4,8 °C, nos períodos de 2018 – 2058 e 2059 – 2099.



Fonte: Próprio autor.

Figura 4.16 – Porcentagem da área que permanece em cultivo a pleno sol e em sistema agroflorestal com atenuação de 2 °C, considerando os cenários de aquecimento de 1,7 °C, 2,6 °C, 3,1 °C e 4,8 °C, nos períodos de 2018 – 2058 e 2059 – 2099.



Fonte: Próprio autor.

4.6 CONCLUSÕES

O Sistema agroflorestal de café com seringueiras pode contribuir para a redução das temperaturas diurnas elevadas em valores compatíveis com os cenários de aquecimento previstos pelo IPCC até o final do século XXI. Esse diferencial tem o potencial de reduzir os impactos negativos na cafeicultura do Norte do Estado do Paraná e contribuir para adaptar o cultivo nas próximas décadas.

5. CONCLUSÕES GERAIS

O sistema agroflorestal de café com seringueiras em filas duplas apresenta um grande potencial de fixação de carbono, tanto na biomassa vegetal como no solo, superior ao sistema convencional de café a pleno sol. E pode contribuir para a mitigação dos efeitos do aquecimento global na cafeicultura

O sistema agroflorestal de café com seringueiras em filas duplas espaçadas de 16 m contribui para a redução das temperaturas diurnas elevadas. Considerando os cenários atuais previsto pelo IPCC, este sistema pode fornecer uma redução dos impactos do aquecimento global na cafeicultura do Norte do Estado do Paraná.

Este trabalho pode servir como base para outros estudos que buscam soluções para conviver com cenários futuros e garantir a produção de alimentos numa forma mais sustentável. Juntamente, orientar políticas públicas voltadas à mitigação das mudanças climáticas

REFERÊNCIAS

- ABHISHEK, R.A.J. Climate change: cause, impact and mitigation strategies. **South Indian Journal of Biological Sciences**. Tamil Nadu, India, v. 2, n. 4, p. 363-367, 2016.
- ANDRADE, G. A.; RICCE, W. S.; CARAMORI, P.H.; ZARO, G. C.; MEDINA C. C. Zoneamento agroclimático de café robusta no Estado do Paraná e impactos das mudanças climáticas. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina, v. 33, n. 4, p. 1381-1390, jul./ago. 2012
- ANDROCIOLO FILHO, A.; LIMA FILHO, F. B.; TRENTO, E. J.; CARNEIRO FILHO, F.; CARAMORI, P. H.; SCHOLZ, M. B. S. Caracterização da qualidade de bebida de cafés produzidos em diversas regiões do Paraná. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 3. 2003, Porto Seguro. **Anais...** Embrapa Café, 2003. p. 256-257. CD-ROM.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A. M. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.39, n.11, p.1057-1064, nov. 2004.
- ATANGANA, A.; KHASA, D.; CHANG, S.; DEGRANDE, A. Tropical Agroforestry. **Springer Netherlands**. v.1, p. 380-389. 2014.
- BAGGIO, A. J.; CARAMORI, P. H.; ANDROCIOLO FILHO, A.; MONTOYA, L. Productivity of Southern Brazilian coffee plantations shaded by different stockings of *Grevillea robusta*. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, Holanda, v.37, n.2, p.111 - 120, maio. 1997.
- BALIZA, D.P.; CUNHA, R.L.; GUIMARÃES, R.J.; BARBOSA, J. P. R. A. D.; ÁVILA F. W. PASSOS, A. M. A. Physiological characteristics and development of coffee plants under different shading levels. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.1, p.37-43, mar. 2012.
- BARRETO, L. V.; FREITAS, A. C. S.; PAIVA, L. C. Sequestro de Carbono. Centro Científico Conhecer, Goiânia, **Enciclopédia Biosfera**. 2009 Disponível em: < <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2009/sequestro.pdf>, N.07, 2009, ISSN 1809-058351>. Acessado em: 18 set. 2015.
- BODEN, T. A.; MARLAND, G.; ANDRES, R. J. **Global, regional, and national fossilfuel CO2 emissions: carbon dioxide information analysis center**, Oak Ridge National Laboratory. Tennessee: Oak Ridge, Department of Energy, 2013. Disponível em: < <http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/overview.html>>. Acesso em: 11 abr. 2012.
- BRASIL. Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010. Regulamenta os arts. 6º, 11 e 12 da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. **Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), e dá outras providências**. 2009. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7390.htm>. Acesso em: 28 fev. 2018.

BRASIL. Decreto nº 7.390 de 9 de dezembro de 2010. Regulamenta os arts. 6º, 11 e 12 da Lei no 12.187, de 29 de dezembro de 2009. **Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências**. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007>. Acesso em: 28 fev. 2018.

BRASIL. **Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura**. 2011. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/download.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2018.

BRASIL. CONGRESSO NACIONAL. **COMISSÃO MISTA PERMANENTE SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. RELATÓRIO DE ATIVIDADES – 2016**. Disponível em:< [NEXO_K-Comissao-Permanente-CMMC-20161213REU013_parte7416_PAUTA_1481628823848.pdf](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2016/20161213/REU013_parte7416_PAUTA_1481628823848.pdf)>. Acesso em: 27 maio. 2018.

BRUNETTO, G.; MELO, G.W.; KAMINSKI, J.; FURLANETTO, V.; FIALHO, F.B. Avaliação do método de perda de peso por ignição na análise de matéria orgânica em solos da Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, 36(6):1936-1939, 2006.

BURTON, I., 1996: The growth of adaptation capacity: practice and policy. In: *Adapting to Climate Change: An International Perspective* [SMITH, J., N.BHATTI, G. MENZHULIN, R. BENIOFF, M.I. BUDYKO, M. CAMPOS, B. JALLOW, AND F. RIJSBERMAN (eds.)]. **Springer- Verlag**, New York, NY, USA, p. 55–67, 1996.

CARMO, C. A. F. S.; TOSTO, S. G.; ALVARENGA, A. P.; MOTTA, P. E. F.; KINDEL, A.; MENEGUELI, N. A.; LIMA, J. A. S. Estimativa do estoque de carbono na biomassa de clones de seringueira em solos da Zona da Mata/MG. Rio de Janeiro: **EMBRAPA Solos**, EXPOBOR, 2004. 14p.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v.20, n.1, p.65-68, 2001.

CAMARGO, A. P.; MARIN, F. R.; CAMARGO, B. P. **Zoneamento Climático da Heveicultura no Brasil**. 1º edição. EMBRAPA – Campinas – SP, 2003. p. 1 – 18.

CAMARGO, M. B. P. The impact of climatic variability and climate change on *Arabica* coffee crop in Brazil. **Bragantia**, Campinas - SP, v. 69, n. 1, p. 239 - 247, dez. 2010.

CARAMORI, P. H.; ANDROCIOLI FILHO, A.; LEAL, A. C. Coffee shade with *Mimosa Scabrella* Benth for frost protection in Southern Brazil. **Agroforestry Systems**, Dordrecht Holanda, v.33, n.3, p.205 - 214, mar. 1996.

CARAMORI, P. H.; LEAL, A. C.; MORAIS, H. Temporary shading of young coffee plantations with pigeonpea (*Cajanus cajan*) for frost protection in southern Brazil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria – RS, v.7, p.195 – 200, 1999.

CARAMORI, P. H.; CAVIGLIONE, J. H.; WREGGE, M. S.; GONÇALVES, S. L.; FARIA, R. T.; ANDROCCIOLI FILHO, A.; SERA, T.; KOGUSHI, M. S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do café (*Coffea arabica* L.) no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria – RS, v.9, n.3, p. 486 - 494, dez. 2001.

CARAMORI, P. H.; KATHOUNIAN, C. A.; MORAIS, H.; LEAL, A. C.; HUGO, R. G.; FILHO, A. A. Arborização de cafezais e aspectos climatológicos. In: MATSUMOTO, S. N. **Arborização de Cafezais no Brasil**. Vitória da Conquista - Bahia: Uesb, 2004. p. 21-41.

CARAMORI, P. H.; HUGO, R. G. . Efeito de guandu no microclima em cafeeiro em formação sob condições de alta temperatura e deficiência hídrica. **Agroecologia Hoje**. Botucatu SP, v. 1, n.23, p. 14-16, 2004.

CARAMORI, P. H.; LEAL, A. C.; MORAIS, H.; HUGO, R. G.; KATHOUNIAN, A.; GRODZKI, L.; PORFIRIO-DA-SILVA, V. Indicadores biofísicos de sistemas agroflorestais. In: **Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais**. 2006. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/313761/1/palestra06.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

CATIE (1999) Agroforestería en el CATIE, vol 27, **Bibliografía anotada**. CATIE, Turrialba, 423 p.

CATIE (2001) Agroforestería en el CATIE, vol 28, **Suplemento Bibliográfico**. CATIE, Turrialba, 171 p.

CAVIGLIONE, J.H.; KIIHL, L.R.B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. CD-ROM.

CERRI, C. C., MOREIRA, C. S., ALVES, P. A., TOLEDO, F. H. R. B., CASTIGIONI, B. A., RODRIGUES, G. A. A., CERRI, D. G. P., CERRI, C. E. P., TEIXEIRA, A. A., CANDIANO, C. A. C., REIS, M. R., D'ALESSANDRO, S. C., TURELLO, L. Estoques de carbono e nitrogênio no solo devido a mudança do uso da terra em áreas de cultivo de café em minas gerais. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 30 - 41, jan./mar. 2017.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira – Café**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_06_10_09_24_57_boletim_cafe_junho_2015.pdf>. Acesso em: 21 set. 2015.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira – Café**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_06_10_09_24_57_boletim_cafe_junho_2016.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2016.

COTTA, M. K.; JACOVINE, L. A. G.; PAIVA, H. N.; SOARES, C. P. B.; VIRGENS FILHO, A. C.; VALVERDE, S. R. Quantificação de biomassa e geração de certificados de emissões reduzidas no consórcio seringueira-cacau. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.6, p.969-978, 2008.

CUNHA, T. J. F.; BLANCANEUX, P.; CALDERANO FILHO, B.; CARMO, C. A. F. S.; GARCIA, N. C. P.; LIMA, E. M. B. Influence of the pedological differentiation on the development of rubber-tree cultivation in the state of Minas Gerais, Brazil.

Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 35, n. 1, p. 145-155, 2000.

DAL MOLIN, R.N.; ANDREOTTI, M.; REIS, A. R.; FURLANI JUNIOR, E.; BRAGA, G. C.; SCHOLZ, M. B. S. Caracterização física e sensorial do café produzido nas condições topoclimáticas de Jesuitas, Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 3, p. 353-358, 2008.

DA MATTA, F.M.; RENA, A.B. Ecofisiologia de cafezais sombreados e a pleno sol. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa – UFV, p.93-136, 2002.

DA MATTA. F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: A review. **Field Crops Research**, Amsterdam, Holanda, v. 86, n. 2, p. 99 – 114, 2004.

DA MATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. Amsterdam, Holanda, vol.18, n.1, p. 55-81, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202006000100006>>. Acesso em: 29 ago. 2015.

DANTAS, M. Aspectos ambientais dos sistemas agroflorestais. In: CONGRESSO BRASILEIROS DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1, 1994, Porto velho. **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1994. v.2, p. 443-453.

DAS VIRGENS FILHO, J. S. PGECLIMA_R: Gerador estocástico para simulação de cenários climáticos brasileiros. I. **Desenvolvimento do gerenciador do banco de dados climáticos PGECLIMA_R e gerador estocástico para simulação de cenários climáticos brasileiros**. II. Automação da análise estatística e validação dos dados simulados. XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Guarapari, ES, Julho/2011.

DAS VIRGENS, J. F.; OLIVEIRA, L. B.; LEITE, M. L.; TSUKAHARA, R. Y. Desempenho dos modelos CLIGEN, LARS-WG e PGECLIMA_R na simulação de séries diárias de temperatura máxima do ar para localidades do Estado do Paraná. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.33, n.3, p.538-547, maio/jun. 2013.

DAVIS, A. P.; GOLE, T. W.; BAENA, S.; MOAT, J. The Impact of Climate Change on Indigenous Arabica Coffee (*Coffea arabica*): Predicting Future Trends and Identifying Priorities. **Plos One**. São Francisco, EUA. v. 7, n. 11, p. 1 – 13, nov. 2012.

DOSSA, E. L.; FERNÁNDEZ, E. C. M, REID, W.S, EZUI K. Above and belowground biomass, nutrient and carbon stocks contrasting an open- grow and shaded coffee plantation. **Agroforestry Systems**, v.72, p.103-115, 2008.

ELEMENTAR ANALYSESYSTEME. OPERATING INSTRUCTIONS, **Instruments starting with serial nº 11045073**, abril, 2007.

ELZEN, D.M.G.; HOF, A.F.; BELTRAN, A.M.; GRASSI, G.; ROELFSEMA, M.; VAN RUIJVEN, B.; VLIET, J.V.; VAN VUUREN, D.P. The Copenhagen Accord: abatement costs and carbon prices resulting from the submissions. **Environmental Science & Policy**, v.14, n.1, p. 28-39, 2011. DOI: doi.org/10.1016/j.envsci.2010.10.010.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

ERICKSEN, P.; THORNTON, P.; NOTENBAERT, A.; CRAMER, L.; JONES, P.; HERRERO, M. **Mapping hotspots of climate change and food insecurity in the global tropics. CCAFS Report no. 5. CGIAR**. 2011. Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). Copenhagen, Denmark. Disponível em: <www.ccafs.cgiar.org> Acesso em: 20 abr. 2018.

FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C.; VEGA, J.; MAGALHÃES, A. C. Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (*Coffea arabica* L.). **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 69, p. 161-169, Jan. 1994.

FAO (2013) Climate-smart agriculture sourcebook. **Food and Agriculture Organization**, Rome, 570 p.

FERNANDES, T. J. G.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; ALVARENGA, A. P. Quantificação do carbono estocado na parte aérea e raízes de Hevea sp., aos 12 anos de idade, na Zona da Mata mineira. **Revista Árvore**, v. 31, n. 4, p. 657-665, 2007.

FORSTER, P., V. RAMASWAMY, P. ARTAXO, T. BERNTSEN, R. BETTS, D.W. FAHEY, J. HAYWOOD, J. LEAN, D.C. LOWE, G. MYHRE, J. NGANGA, R. PRINN, G. RAGA, M. SCHULZ AND R. VAN DORLAND (2007). Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. SOLOMON, S., D. QIN, M. MANNING, Z. CHEN, M. MARQUIS, K.B. AVERYT, M.TIGNOR AND H.L. MILLER (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

FURTADO, E. L.; TRINDADE, D. R. Doenças da seringueira. In: AMORIM, L.;

BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H. (Eds.). **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. São Paulo: Ceres, 2005. v. 2.

GATTO, A.; BARROS, N.F. de; NOVAIS, R.F.; SILVA, I.R.; MENDONÇA, E. de S.; VILLANI, E.M. de A. Comparação de métodos de determinação do carbono orgânico em solos cultivados com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:735-740, 2009.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; NAIR, P. K. R.; NAIR, V.D.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BALIGAR, V. C.; MACHADO, R. C. R. Carbon storage in soil size fractions under two cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. **Environmental Management**. v. 45, p. 274–283. 2010.

GONÇALVES, P. S.; ORTOLANI, A. A.; CARDOSO, M. **Melhoramento Genético da Seringueira: uma revisão**. Documentos IAC. Campinas – SP. n. 54, p. 1–54, jul.1997.

HAGER A. The effects of management and plant diversity on carbon storage in coffee agroforestry systems in Costa Rica. **Agroforestry Systems**, v. 86, p.159–174, 2012.

HOF, A.F.; ELZEN, M.G.J.; ROELFSEMA, M. The effect of updated pledges and business-as-usual projections, and new agreed rules on expected global greenhouse gas emissions in 2020. **Environmental Science & Policy**, v. 33, n.1, p. 308-319, 2013. DOI: doi.org/10.1016/j.envsci.2013.06.007.

HUGO, R. G. ; CARAMORI, P H . Sistemas de implantação de áreas novas de café com guandu. **Agroecologia Hoje**, Botucatu SP, v. 1, n.23, p. 13-14, 2004.

IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná. **Médias históricas em estações do IAPAR. 2017**. Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Londrina.htm> Acesso em: 10 jun. 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal – Culturas temporárias e permanentes 2013**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2013/>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

ICO – International Coffee Organization. **Trade Statistics**. 2012. Disponível em: <http://www.ico.org/trade_statistics.asp?section=Statistics>. Acesso em: 30 ago. 2015.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change 1990. **First Assessment Report (FAR)**. 1990. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_first_assessment_1990_wg1.shtml>. Acesso em: 10 jun 2015.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change 1995. **Second Assessment Climate Change**. 1995. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-1995/ipcc-2nd-assessment/2nd-assessment-en.pdf>>. Acesso em: 10 jun 2015.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change 2001. **IPCC Third Assessment Report**. 2001. Disponível em: <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>>. Acesso em: 23 jun 2018.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change 2006. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. 2006. Disponível em: <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>>. Acesso em: 23 jun 2018.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change 2007. **Impacts, Adaptation and Vulnerability**. 2007. Disponível em:< https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4_wg2_full_report.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2015.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change 2013. **The physical Science basis. Contribution of working group to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.** 2013. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Frontmatter_FINAL.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2015.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change 2014. **Synthesis Report Summary for Policymakers.** 2014. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2015.

JANZEN, H.H. Carbon cycling in earth systems e a soil science perspective.

Agric. Ecosyst. Environ. v.104, p.399-417. 2004

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforestry Systems**, v.76, p.1–10, 2009.

KANTEN, R.V.; VAAST, P. Transpiration of arabica coffee and associated shade tree species in sub-optimal, low-altitude conditions of Costa Rica. **Agroforestry Systems**, v.67, n.2, p.187-202, 2006.

KUMAR, D.; TIESZEN, L. L. Photosynthesis in Coffea arabica. I. Effects of light and temperature. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 16, n. 1, p. 13-19, jan. 1980.

KUMAR, B.M.; NAIR, P.K.R. Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems. **Springer**, Gainesville, 326 p. 2011.

LAL, R. Carbon sequestration. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences.** v.363, p.815-830. 2008.

LAL, R. Soil health and climate change: an overview. In: Singh, B.P., Cowie, A.L., Chan, K.Y. (Eds.), Soil Health and Climate Change, Soil Biology. **Springer**, Berlin, v. 29, p. 3-24. 2011.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal.** São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

LORENZ, K.; LAL, R. Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **Springer Verlag.**, v.34, n.2, p.443-454. 2014.

MACEDO, R. L.G. **Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2000. 157p.

MATIELLO J. B., ALMEIDA, S. R. GARCIA, A. W. R.; SANTINATO, R. Cultura de café no Brasil – Manual de Recomendações. Fundação Procafé, Varginha, MG, 2016.

MATSUMOTO, S. N. (Org.). 2004. **Arborização de Cafezais no Brasil.** UESB. Vitória da Conquista, Bahia, Brasil. 212 p.

- MARTINEZ, H. E. P.; MENEZES, J. F. S.; SOUZA, R. B.; VENEGAS, V. H. A.; GUIMARÃES, P. T. G. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 703-713, jun. 2003.
- MATTOS, C.R.R.; GARCIA, D.; PINARD, F.; LE GUEN, V. Variabilidade de isolados de *Microcyclus ulei* no Sudeste da Bahia. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília – DF, v. 28, n 5, p. 502-507, out. 2003.
- MAGGIOTTO, S. R.; OLIVEIRA, D.; MARUR, C. J.; STIVARI, S. M. S.; LECLERC, M.; WAGNER-RIDDLE, C. Potential carbon sequestration in rubber tree plantations in the northwestern region of the Paraná State, Brazil. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringa-PR, v. 36, n. 2, p. 239 – 245, jun. 2014.
- MBOW, C.; SMITH, P.; SKOLE, D.; DUGUMA, L.; BUSTAMANTE, M. Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa. **Environmental Sustainability**. Amsterdam, Holanda, v.6, n. 2, p. 8-14, jun. 2014. (a).
- MBOW, C.; NOORDWIJK, M. V.; LUEDELING, E.; NEUFELDT, H.; MINANG, P. A.; KOWERO, G. Agroforestry solutions to address food security and climate change challenges in Africa. **Environmental Sustainability**. Amsterdam, Holanda, v. 6, p. 61-67, fev. 2014. (b).
- MELO, R.R.; CUNHA, M.C.L. DO; RODOLFO JÚNIOR, F.; STANGERLIM, D.M. Crescimento inicial de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. sob diferentes níveis de luminosidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.3, n.2, p.138-144, 2008.
- MEDRADO, M.J.S. Sistemas agroflorestais: aspectos básicos e indicações. In: GALVÃO, A. P.M. **Reflorestamento de pequenas propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais**. Brasília: EMBRAPA Comunicação para Transferências e Tecnologia; Colombo, PR, EMBRAPA Florestas, 2000. p. 269-312.
- MEYLAN, L.; GARY, C.; ALLINNE, C.; ORTIZ, J.; JACKSON, L.; RAPIDEL, B. Evaluating the effect of shade trees on provision of ecosystem services in intensively managed coffee plantations. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 245, p. 32–42, 2017.
- MORAES, G. M. XAVIER, F. A. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A.; OLIVEIRA, T. S. Chemical and structural characterization of soil humic substances under agroforestry and conventional systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1597-1608, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832011000500014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 03 jun. 2018.
- MORAIS, H.; MARUR, C. J.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com quando e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 38, n. 10, p. 1131-1137, out. 2003.

MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C.; KOGUISHI, M. S. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeonpea in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v.41, n. 5, p.763 – 770, maio 2006.

MORAIS, R. R. A seringueira como alternativa para a fixação de carbono. **Campo e Negócios Floresta**, Uberlândia-MG, n. 12, p. 53, maio 2014.

MORCELI, P. Borracha natural: Perspectiva para a safra de 2004/05. **Revista Política Agrícola**. Brasília – DF, v. 13, n. 2, p. 56-67, 2004.

MOREIRA, S. L. S.; PIRES, C. V.; MARCATTI, G. E.; SANTOS, R. H.S.; IMBUZEIRO, H. M. A.; FERNANDES, R. B.A. Intercropping of coffee with the palm tree, macauba, can mitigate climate change effects. **Agricultural and Forest Meteorology**. v.256, n.257, p. 379–390, 2018.

MORENO, R. M. B.; FERREIRA, M.; GOÇALVES, P. S.; MATTOSO, L. H.C. Avaliação do látex e da borracha natural de clones de seringueira no Estado de São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília – DF, v. 38, n. 5, p.583-590, 2003.

MONTAGNINI, F.; NAIR, P. K. R. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**. v. 61, p. 281–295, 2004.

MUSHLER, R. G. Agroforestry: Essential for Sustainable and Climate-Smart Land Use? **Tropical Forestry Handbook**. Berlin Heidelberg. P. 2013 – 2113, 2016.

MUÑOZ, F.; BEER, J. Fine root dynamics of shaded cacao plantations in Costa Rica. **Agroforestry System**. v.51, p.119-130. 2001.

NAIR, P. K. R.; KUMAR, B. M.; NAIR, V. D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 172, p. 0–23, 2009.

NAIR, P. K. R.; NAIR, V. D.; KUMAR, B. M.; SHOWALTER, J. M. Carbon sequestration in agroforestry systems. **Advances in Agronomy**, v. 108, p. 237–307, 2010.

NAIR, P.K.R.; GARRITY, D. Agroforestry research and development: the way forward. In: Nair PKR, Garrity D (eds) *Agroforestry—the future of global land use*. Springer, Dordrecht, pp. 515–531, 2012.

NASA – Global Climate Change Vital Signs of the Planet. **Alterações climáticas: Como sabemos**. 2013. Disponível em: < <http://climate.nasa.gov/evidence/>>. Acesso em: 18 ago. 2015.

NASCIMENTO, E. A.; OLIVEIRA, L. E. M.; CASTRO, E. M.; DELÚ FILHO, N.; MESQUITA A. C.; VIEIRA, C. V. Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Rural**, v.36, n.3, p.852-857, mai-jun, 2006.

OELBERMANN, M.; VORONEY, R.P. Carbon and nitrogen in a temperate agroforestry system: Using stable isotopes as a tool to understand soil dynamics. **Ecological Engineering**. v. 29, n. 4, p. 342-349, 2007.

OELBERMANN, M.; VORONEY R.P.; GORDON, A.M. Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Spain, v.104, n. 3, p. 359-377, 2004. DOI: doi.org/10.1016/j.agee.2004.04.001.

OKINO, E. Y. A.; TEIXEIRA, D. E.; SOUZA, M. R.; SANTANA, M. A. E.; SILVA, C. B. G.; TOMAZO, R. B.; SOUSA, M. E. USO DAS MADEIRAS DE SERINGUEIRA, PINUS E CIPRESTE NA FABRICAÇÃO DE CHAPAS. **Revista Floresta**, Curitiba-PR, v. 39, n. 2, p. 457-468, jun. 2009.

OLIVEIRA, C.R. M.; SOARES, A. M.; OLIVEIRA, L. E. M.; CASTRO, E. M.; BARBOSA, J. P. R. A. D. Crescimento e características anatômicas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) em diferentes sistemas de cultivo: monocultivo e consórcio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.28, n.2, p. 350-357, abr. 2004. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542004000200015>>. Acesso em: 31 ago. 2015.

OLIVEIRA, C. R. M.; BARBOSA, J. P. R. A. D.; SOARES, A. M.; OLIVEIRA, L. E. M.; MACEDO, R. L. G. Trocas gasosas de cafeeiros (*coffea arabica* l.) e seringueiras (*hevea brasiliensis* muell. arg.) em diferentes sistemas de cultivo na região de Lavras, MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.2, p.197-206, 2006. (a)

OLIVEIRA, D.; PEREIRA, J. P.; RAMOS, A. L. M.; CARAMORI, P. H.; MARUR, C. J.; MORAIS, H.; WAGNER-RIDDLE, C.; VORONEY, P. Sistemas Agroflorestais. In: ALVARENGA, A. P.; CARMO, C. F.S. **Carbono na biomassa e na respiração do solo em plantio comercial de seringueira no Paraná**. Viçosa, Mg: Suprema Gráfica, 2006. p. 215-255. (b)

ONU. Organização das Nações Unidas. **United Nations Framework Convention on Climate Change. Kyoto Protocol**. 1997. Disponível em: <http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php>. Acesso em: 10 jun 2015.

OVALLE-RIVERA, O.; LÄDERACH, P.; BUNN, C.; OBERSTEINER, M.; SCHROTH G. Projected shifts in *Coffea arabica* suitability among major global producing regions due to climate change. **PLOS ONE**. v. 10. n. 4, p. 1-13. 2015.

PARTELLI, F. L.; ARAÚJO, A. V.; VIEIRA, H. D.; DIAS, J. R. M.; MENEZES, L. F. T.; RAMALHO, J. C. Microclimate and development of 'Conilon' Coffee intercropped with rubber trees. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.49, n.11, p.872-881, 2014.

PAES, J. P. DA. **Seringueira, formação de mudas, manejo e perspectivas no Noroeste do Paraná**. Londrina, IAPAR, 1992. 60p. (IAPAR. Circular, 70).

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1992. 40p. (Circular Técnica, 76).

PEREIRA, J. P.; ANDROCIOI FILHO, A.; LEAL, A. C.; RAMOS, A. L. M. Sistemas agroflorestais com seringueira (*Hevea brasiliensis* M. Arg.) no noroeste do Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS: Sistemas agroflorestais: manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural, n. 3, 2000, Manaus. **Anais...** Manaus – AM: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p. 303-305.

PEZZOPANE, J.R.M.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; THOMAZIELLO, R.A.; CAMARGO, M.B.P. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.3, p.499-505, 2003.

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JUNIOR, M. J.; GALLOL, P. B. Caracterização microclimática em cultivo consorciado café/banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v.11, n.3, p.256-264, jun. 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S141543662007000300003>>. Acesso em: 19 ago 2015.

PEZZOPANE, J. R. M.; CASTROII, F. S.; PEZZOPANEI, J. E. M.; BONOMO, R.; SARAIVA, G. S. V Zoneamento de risco climático para a cultura do café Conilon no Estado do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 03, p. 341-348, set. 2010.

PEZZOPANE, J. R. M.; MARSETTI, M. M.S.; FERRARI, W. R.; PEZZOPANE, J. E. M. Alterações microclimáticas em cultivo de café conilon arborizado com coqueiro-anão-verde. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza – CE, v. 42, n. 4, p. 865-871, out-dez. 2011.

PETSRI, S.; CHIDTHAISONG, A.; PUMIJUMNONG, N.; WACHRINRAT. Greenhouse gas emissions and carbono stock changes in rubber tree platations in Thailand from 1990 to 2004. **Cleaner Production**, Amsterdam, Holanda, n. 52, p. 61-70, 2013.

PINTO, H.S.; ASSAD, E.D.; ZULLO JR., J. Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. **Campinas: Embrapa/Unicamp**, 2008. 81p.

PINOARGOTE, M; CERDA, R; MERCADO, L; AGUILAR, A; BARRIOS, M; SOMARRIBA, E. Carbon stocks, net cash flow and family benefits from four small coffee plantation types in Nicaragua. **Forests, Trees and Livelihoods**. v. 26, n. 3, p.183–198, 2017.

PIREZ, J. M.; SECCO, R. S.; GOMES, J. I. **Taxonomia e Fitogeografia das Seringueiras (*Hevea spp.*)**, Belém – PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2002.

RAMIREZ-VILLEGAS, J.; CHALLINOR, A. Assessing relevant climatedata for agricultural applications. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, Holanda, v. 161, p. 26-45, ago. 2012.

RASSE, D. P.; RUMPEL C.; DIGNAC, M.F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. **Plant Soil**. v. 269, p. 341–356, 2005.

RESENDE, M. D. V.; FURLANI-JÚNIOR, E.; MORAES, M. L. T.; FAZUOLI, L. C. Estimativas de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos no melhoramento do cafeeiro pelo procedimento REML/BLUP. **Bragantia**, Campinas, v.60, n.3, p.185-193, 2001.

RODRIGUES, E. R.; CULLEN JR., L.; BELTRAME, T. P.; MOSCOGLIATO, A. V.; SILVA, I. C. Avaliação econômica de sistemas agroflorestais implantados para recuperação de reserva legal no Pontal do Paranapanema, São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.31, n. 5, p.941-948, out. 2007.

ROGERS, T.H.; PETERSON, A. L. Controlo f South American leaf blight on a plantation scale in Brazil. In: International Rubber Conference, 1975, Kuala Lumpur, MY. Proceedings... Kuala Lumpur: RRIM, 1978, v.3, p. 266-277.

ROGNER, H.-H., DADI, Z., BRADLEY, R., CRABBÉ, P., EDENHOFER, O., HARE, B., KUIJPERS, L.; YAMAGUCHI, M. **Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Introduction. Adapting to climate change: an international perspective p. 95–116. Cambridge University

ROSSETTI, L. A.; Zoneamento agrícola em aplicação de crédito e securidade rural no Brasil: Aspectos atuariais e políticas agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n. 3, p.386-399, 2001.

ROCHA, G. P.; FERNANDES, L. A.; CABACINHA, C. D.; LOPES, I. D. P. I.; RIBEIRO, J. M.; FRAZÃO, L. A.; SAMPAIO, R. A. Caracterização e estoques de carbono de sistemas agroflorestais no Cerrado de Minas Gerais. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.44, n.7, p.1197-1203, jul, 2014.

SANQUETTA, C, R. Métodos de determinação de biomassa floretal. In: SANQUETTA, C.R. et al. (Eds). **As florestas e o carbono**. Curitiba: Imprensa Universitária da UFPR, 2002. p. 119-140.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. **A fixação de carbono: Atualidades, Projetos e Pesquisas**. Curitiba, PR, 2004. p. 77-93.

SANTANA, M. A. E.; EIRAS, K. M. M.; PASTORE, T. C. M. Avaliação de madeira de 4 clones de *Hevea brasiliensis* por meio de sua caracterização físico-mecânica. **Brasil Florestal**, Brasília, n.70, p.61-68, jun. 2001.

SATO, J. H. Métodos para determinação do carbono orgânico em solos do cerrado. **Dissertação de Mestrado em Agronomia Brasília/ DF**, março 2013.

SCHROTH, G.; LÄDERACH, P.; DEMPEWOLF, J.; PHILPOTT, S.; HAGGAR, J, EAKIN H. Towards a climate change adaptation strategy for coffee communities and ecosystems in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**. v. 14, n.7, p. 605–25. 2009.

SHIBU, J., SOUGATA, B. Agroforestry for biomass production and carbon sequestration: an overview. **Agroforestry Systems**, 2012, 86:105 -111.

SINGH NR, JHARIYA MK, RAJ A. Tree crop interaction in agroforestry system. **Readers Shelf**, v.10 n.3, p.15–16. 2013.

SILVEIRA, P.; KOEHLER, H. S.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 1, jan./mar. 2008.

SILVA, B. A.; MANTOVANI, J. R.; MOREIRA, A. L.; NOGUEIRA R. R. L. Estoques de carbono no solo e em plantas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Interiencia**, Caracas, Venezuela, vol. 38, n. 4, abril, 2013, pp. 286-291.

SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z.; GWARY, D.; JANZEN, H.; KUMAR, P.; MCCARL, B.; OGLE, S.; O'MARA, F.; RICE, C.; SCHOLLES, B.; SIROTKO, O.; HOWDEN, M.; MCALLISTER, T.; PAN, G.; ROMANENKOV, V.; SCHNEIDER, U.; TOWPRAYOON, S.; WATTENBACH, M.; SMITH, J. Greenhouse gas mitigation in agriculture. **Phil. Trans. R. Soc.** v.363, p.789-813. 2008.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, L. A.; LEITE, H. G. Modelos para estimar a biomassa da parte aérea em um povoamento de *Eucalyptus grandis* na região de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.20, n.2, p.179-189, 1996.

SOMMER, R.; BOSSIO, D. Dynamics and climate change mitigation potential of soil organic carbon sequestration. **Journal of Environmental Management**. v.144, p.83-87, 2014.

SOMMER, R.; DE PAUW, E. Organic carbon in soils of Central Asia status quo and potentials for sequestration. **Plant Soil**. v.338, p.273-288. 2011.

SRIVASTAVA, P.; SINGH, P. K.; SINGH, R.; BHADOURIA, R.; SINGH, D. K.; SINGH, S.; AFREEN, T.; TRIPATHI, S. N.; SINGH, P.; SINGH, H.; RAGHUBANSHI, A. S. Relative availability of inorganic N-pools shifts under land use change: An unexplored variable in soil carbon dynamics. **Ecol Indic**. v.64 p.228–236. 2016.

SYLVAIN, P. **Some observations on *Coffea arabica* L. in Ethiopia**. Turrialba, Costa Rica: 1955.

TEIXEIRA, L. B.; OLIVEIRA, R. F. **Biomassa vegetal e carbono orgânico em capoeiras e agroecossistemas no Nordeste do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 21p. (Boletim de Pesquisa)

TEIXEIRA, L. B.; BASTOS, J. B.; OLIVEIRA, R. F. **Biomassa vegetal em agroecossistemas de seringueira consorciada com cacaueteiro no Nordeste Paraense**. Belém: Embrapa CPATU, 1994. 15p. (Boletim de Pesquisa, 153).

THORNTON P. Recalibrating food production in the developing World: Global Warming Will Change More Than Just the Climate. **CCAFS Policy Brief** no. 6. (CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security). 2012), 2012. Disponível em: < <https://ccafs.cgiar.org/>>. Acesso em: 10 Abril. 2018.

TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; OLIVEIRA NETO, S. N.; BRIANEZI, D.; ALVES, E. B. B. M. Sistemas Agroflorestais no Brasil: Uma abordagem sobre a estocagem de carbono. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 34, n. 79, p. 235-244, 2014.

VAAST, P. et al. Shade: A key factor for Coffee sustainability and quality. In: ASIC CONFERENCE, 2004, Bangalore. Resumos. Bangalore, India: Association Scientifique Internationale du Café, 2004. CD-ROOM.

VALE, R. S.; MACEDO, R. L. G.; COUTO, L.; VALE, F. A. F.; VENTURIN, N. Sistemas Agroflorestais. In: ALVARENGA, A. P.; CARMO, C. F.S. **Sequestro de Carbono: Quantificação em Seringais de cultivo e na vegetação Natural**. Viçosa, Mg: Suprema Gráfica, 2006. p. 215-255.

VALENTINI, L. S. P.; CAMARGO, M. B. P; ROLIM, G. S; SOUZA, P. S; GALLO, P. B. Temperatura do ar em sistemas de produção de café arábica em monocultivo e arborizados com seringueira e coqueiro-anão na região de Mococa, SP. **Bragantia**, Campinas – SP, v. 69, n. 4, p.1005-1010, dez. 2010.

WAUTERS, J. B.; COUDERT, S.; GRALLIEN, E.; JONARD, M.; PONETE, Q. Carbon stock in rubber tree plantations in Western Ghana and Mato Grosso (Brazil). **Forest Ecology and Management**, Amsterdam Holanda, v.255, p. 2347-2361, jan. 2008.

WALKLEY, A. & BLACK, I. A. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid tritration method. **Soil Science**, v. 37, p.29-38, 1934.