**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Disponibilidade de radiação solar em um sistema agroflorestal composto por
Eucalyptus grandis x camaldulensis e *Bixa orellana***

Ciro de Oliveira Ribeiro

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências, Programa: Recursos Florestais .
Opção em: Conservação de Ecossistemas Florestais

Piracicaba
2020

Ciro de Olivera Ribeiro
Engenheiro Florestal

Disponibilidade de radiação solar em um sistema agroflorestal composto por
Eucalyptus grandis x camaldulensis e *Bixa orellana*
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **CIRO ABBUD RIGHI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências, Programa: Recursos Florestais
Opção em: Conservação de Ecossistemas Florestais

Piracicaba
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Ribeiro, Ciro de Oliveira

Disponibilidade de radiação solar em um sistema agroflorestal composto por *Eucalyptus grandis* x *camaldulensis* e *Bixa orellana* /Ciro de Oliveira Ribeiro. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2020.

87 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Irradiância 2. Arquitetura 3. Copa 4. Crescimento I. Título

AGRADECIMENTOS

Primeramente agradeço do fundo do meu coração aos meus pais e irmã, por todo o apoio que me deram durante a minha vida.

Agradeço também a minha namorada Erika que desde o momento que a conheci, sempre esteve ao meu lado me apoiando.

Ao professor e orientador Ciro Abbud Righi, meu xará, que foi minha agência financiadora para o projeto e ainda teve paciência comigo principalmente na escrita dessa dissertação. Também, à professora Luciana Duque que me acolheu em seu laboratório. Por fim a professora Eliane G. Fabri que gentilmente forneceu as sementes de urucuzeiro para o experimento.

Ao pessoal da estação de Anhembi, João Carlos, Dona Esmeralda, Stevão, aos estagiários que me ajudaram nas primeiras coletas, Marina, Matheus, Arieli, Juliana, Ana, Ayume, Gabriela, Paloma e a Nadia.

Agradeço aos amigos de laboratório, em especial ao Hanieri e Manu por todos os campos loucos que enfrentamos nesse período.

Agradecimento especial ao Sr. Nilson, Sr. Ivan e Sr. Amarildo, por todas as conversas e ajudas fornecidas em momentos de grandes necessidades.

A todos os professores que direta ou indiretamente me auxiliaram nessa jornada, em especial ao professor Carlos, por sua ajuda e disponibilidade em minha qualificação.

Agradeço à todos do cafezinho das 9h.

Ao CNPQ, que sem seu apoio financeiro, não seria possível chegar ao final dessa etapa.

Sumário

RESUMO.....	5
ABSTRACT.....	6
1. INTRODUÇÃO	8
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	10
2.1. SISTEMA AGROFLORESTAL	10
2.2. BREVE HISTÓRIA DA LUZ	11
2.3. FISILOGIA DAS PLANTAS E ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO	11
2.4. RADIAÇÃO E A ECOFISIOLOGIA DAS PLANTAS	12
2.5. RADIAÇÃO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS.....	13
2.6. EUCALIPTO	14
2.6.1. <i>Morfologia e distribuição edafoclimática.....</i>	<i>14</i>
2.6.2. <i>E. grandis</i> × <i>E. camaldullensis</i> –clone COP 1277.....	<i>15</i>
2.7. URUCUM.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1. LOCALIZAÇÃO DA AREA DE ESTUDO	18
3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL DO EUCALIPTO	20
3.3. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL DO URUCUZEIRO	22
3.4. CENSO DAS CULTURAS	23
3.4.1. <i>Censo do eucalipto.....</i>	<i>23</i>
3.4.2. <i>Censo do urucuzeiro.....</i>	<i>24</i>
3.5. PARÂMETROS PARA AVALIAR A MORFOLOGIA DA COPA DAS ESPÉCIES	24
3.6. VOLUME E BIOMASSA DOS EUCALIPTOS	24
3.7. MENSURAÇÃO FOLIAR	28
3.7.1. <i>Eucalipto</i>	<i>28</i>
3.7.2. <i>Urucum</i>	<i>28</i>
3.8. DADOS MICROMETEOROLÓGICOS.....	29
3.8.1. <i>Dados coletados</i>	<i>29</i>
3.8.2. <i>Dados estimados</i>	<i>31</i>
3.9. ANÁLISE DOS RESULTADOS	31
4. RESULTADOS.....	32
4.1. EUCALIPTO.....	32
4.1.1. <i>Diâmetro à Altura do Peito – DAP.....</i>	<i>32</i>
4.1.2. <i>Altura da árvore.....</i>	<i>36</i>
4.1.3. <i>Volume do tronco.....</i>	<i>41</i>
4.1.4. <i>Biomassa vegetal.....</i>	<i>46</i>
4.2. ESTIMATIVA DE RADIAÇÃO ENTRE OS RENQUES DE EUCALIPTO	56
4.3. URUCUM.....	63
4.3.1. <i>Radiação disponível à cultura intercalar</i>	<i>63</i>
4.3.2. <i>Arquitetura de copa.....</i>	<i>64</i>
4.3.3. <i>Crescimento e sobrevivência.....</i>	<i>70</i>
5. DISCUSSÃO	73
5.1. MODELO DE PLANTIO EM ONDAS: VANTAGENS E DESVANTAGENS	73
5.2. BIOMASSA E ARQUITETURA DE COPA DOS EUCALIPTOS	75
5.3. RADIAÇÃO SOLAR ESTIMADA E MENSURADA	76
5.4. ADAPTAÇÕES MORFOLÓGICAS DO URUCUZEIRO	77
6. CONCLUSÃO	78
REFERÊNCIAS	80

RESUMO

Disponibilidade de radiação solar em um sistema agroflorestal composto por *Eucalyptus grandis* x *camaldulensis* e *Bixa orellana*

Os sistemas agroflorestais (SAFs) vêm sendo cada vez mais apontados como uma alternativa para solucionar alguns dos problemas no meio rural. Tais problemas podem ser de cunho econômico, como baixo valor agregado de produtos; ambiental, como esgotamento dos solos e aumento do desmatamento; e, social, como insegurança alimentar. A inserção do componente arbóreo nos sistemas agrícolas, pode fazer com que o sistema agrícola seja mais eficiente na captação de recursos, principalmente da radiação solar. O presente trabalho objetivou avaliar as estratégias ecofisiológicas do eucalipto e do urucuzeiro submetidos a diferentes níveis de radiação solar com idades de 12 a 84 meses para o eucalipto e de 6 meses para o urucuzeiro comparando seus desenvolvimentos aos respectivos monocultivos (tratamento controle). O estudo foi conduzido na estação experimental em Anhembi numa área de 10ha de um sistema agroflorestal (SAF) de eucaliptos de diferentes idades e com urucuzeiro nas entrelinhas de seu sub-bosque. Foi realizado censo para ambas espécies sendo mensurado o diâmetro do tronco à altura do peito (DAP), a altura total, a altura do tronco, e os raios da copa (posição norte e sul). Posteriormente foram realizados cálculos de volume, volume de copa, altura de copa e porcentagem de copa. A radiação solar disponível aos urucuzeiros foi medida com o auxílio de sensores do tipo tubo solarímetro conectados à uma estação meteorológica (Delta T®) instalada no interior do plantio de eucaliptos. Observou-se que os eucaliptos plantados no Ano1, aos 7 anos obteve um volume do tronco cerca de 2,5 vezes mais no manejo em ondas, quando comparado com monocultivo. No Ano2, ao 6 anos de idade, ocorreu uma inversão em que as ondas foram inferiores ao monocultivo em 1,3 vezes. A disponibilidade de radiação solar aos urucuzeiros localizados no sub-bosque, aos 6 meses de idade, variou ~27% (mais sombreados) a ~56% (na porção central entre as aléias). O crescimento dos urucuzeiros respondeu de forma linear ao aumento de disponibilidade de radiação com estes apresentando um diâmetro acima do solo de 0,013 m no mais sombreado e 0,0044 m a pleno sol (monocultivo). A sobrevivência também foi afetada sendo ela de 86% no tratamento 27%, e de 92% no tratamento 56% de irradiância, no monocultivo, 100% da irradiância, ocorreu uma queda, apresentando sobrevivência de 86%. Com 12 meses de idade a radiação disponível variou ~44% (mais sombreados) a ~61% (na porção central entre as aleias). O crescimento continuou a responder de forma linear ao aumento da radiação. Com 44% foi observado diâmetro do coleto de 0,27m e a pleno sol diâmetro de 0,059m. A sobrevivência manteve a mesma proporção, apresentando ligeira queda ao 100% da radiação.

Palavras-chave: Irradiância; Arquitetura copa; Crescimento; Manejo

ABSTRACT

Availability of solar radiation in an agroforestry system composed of *Eucalyptus grandis* x *camaldulensis* and *Bixa orellana*

Agroforestry systems (SAFs) are increasingly being pointed out as an alternative to soften some of the problems in rural areas. Such problems may be of an economic nature, such as low value-added products; environmental degradation, such as depletion of soils and increased deforestation; and social, as food insecurity. Therefore, SAFs can be considered more sustainable than conventional monoculture systems. With the insertion of the arboreal component in agricultural systems, it makes agriculture more efficient in attracting resources, especially solar radiation. The present work aimed to evaluate the ecophysiological strategies of eucalyptus and urucum under different levels of radiation ranging from 12 to 84 months for eucalyptus, and 6 months for urucuzeiro, comparing the wave management with monoculture. The study was conducted at the experimental station in Anhembi, containing 10ha of an eucalyptus SAF arranged in corrugated lines with urucuzeiro between its lines. The census was carried out for both species and the diameter, total height, trunk height, and crown rays (north and south position) were collected. Subsequently, calculations of volume, crown volume, crown height and crown percentage were performed. The solar radiation was measured with the aid of a meteorological station of the brand Delta T® installed inside the planting with sensors of the type solarimeter tube. With the radiation information, the fraction of the irradiance in the sub-forest was calculated. The data were analyzed with the aid of R Studio and Excel software, boxplot type graphs were used, trend lines in conjunction with regression analysis. It was observed that the eucalyptus planted in year 1 obtained volume value 2.5 times in the wave management when compared to monoculture. In year 2 an inversion occurred in which the waves were inferior to the monoculture in 1.3 times. The irradiance fraction was 27.12; 35.53; 35.9; 37.12; 37.70; 56.16% in the sub-forest. The growth of urucuzeiros responded in a linear way to the increase of availability of radiation with diameter of 13 mm in the most shaded and 44 mm in full sun. Survival was also affected, with 86% of the treatment being 27.12% and 92% of the treatment, 56.16% of irradiance, a fall occurred in the monoculture 100% of the irradiance, with survival of 86%.

Keywords: Irradiance levels; Canopy architecture; Growth; Management

1. Introdução

O planeta terra atualmente conta com uma população de aproximadamente de 7 bilhões de habitantes e aumenta a cada ano. Estima-se que cerca de 800 milhões de pessoas não possuem uma dieta que supra minimamente suas necessidades. Nos últimos anos até 2017 ocorreu aumento de 10,9% na taxa de desnutrição. Em regiões como África e Ásia uma a cada três mulheres em idade reprodutiva encontram-se com doenças relacionadas a má nutrição e anemia (FAO, 2018). Sendo assim, a insegurança alimentar é um dos desafios enfrentado pela humanidade neste século. Afim de amenizar tal problema novas fronteiras agrícolas vêm sendo exploradas (expansão agrícola), além de novas tecnologias desenvolvidas, visando aumentar a produção de alimento.

Arelado à necessidade da expansão das fronteiras agrícolas, surgem outros desafios, sendo eles de cunho ambiental e social. Estima-se que até 2050 a agricultura será responsável pela conversão de 109 ha de ecossistemas naturais em monoculturas. Aliado a isso, haverá o aumento de 2,4 a 2,7 vezes na taxa de deposição de fósforo e nitrogênio nos reservatórios naturais de água, contribuindo para a eutrofização dos mananciais, desmatamento, perda de biodiversidade e de habitat (TILMAN et al., 2001). No Brasil, principalmente nas regiões amazônica e cerrado, surgem outros problemas como, concentração de terra, desmatamento, queimadas, além da salinização e esgotamento dos solos (MARTINELLI et al., 2010).

Portanto, aumentar a produtividade das lavouras sem que aumente os impactos ambientais negativos é um dos desafios a ser superado. Sendo assim a adoção de métodos de uso da terra mais eficientes que nos permitam realizar uma agricultura de forma mais sustentável, é essencial. Dentro desse cenário os sistemas agroflorestais (SAFs) podem ser uma das alternativas viáveis. Eles possuem potencial para dobrar a eficiência no uso da terra, reduzir o uso de pesticidas, aumentar a eficiência energética e diminuir as emissões de gases (CLARCK e TILMAN, 2017). O emprego dos SAF pode contribuir para a redução do desmatamento, diminuição da degradação de áreas, aumentar a eficiência na utilização de recursos, alterar as interações interespecíficas de um modo positivo, promover ganhos em aumentos da biodiversidade além de reduzir a exposição do solo (CARVALHO e MARTINS, 2010; SHEM et al., 2009; WU e WANG, 2017). Ao comparar SAFs a monoculturas, vantagens ecológicas e produtivas são normalmente observadas. Dentre essas, as relações de complementariedade de nicho é uma das principais. Cada indivíduo possui mecanismos de colonização e desenvolvimento específico, e a interação entre eles faz com que haja aproveitamento eficiente dos recursos (NIRANJANA E VISWANA, 2008). Righi et al., (2007) constataram em seu trabalho com cafeeiros que apenas 50% da luminosidade é aproveitada de forma efetiva pelas plantas sendo os outros 50% perdidos. Esse desperdício energético coloca os cafeeiros cultivados em monocultivo sob condição de estresse também favorecendo o desenvolvimento de plantas daninhas (Bernardes et al., 2000) além de causar ressecamento da matéria orgânica e aumento da transpiração do solo e de sua temperatura. Outra vantagem apresentada é a resiliência e estabilidade do sistema. Com o aumento da diversidade de espécies mais nichos ecológicos são preenchidos e maiores quantidades de serviços ecossistêmicos são prestados (JOSE, 2009; NERLICH et al., 2012).

Sendo assim, SAFs são definidos como sistemas de uso da terra em que plantas perenes (árvores, arbustos, palmeiras, bambus, etc.) são manejadas em conjunto com culturas agrícolas/animais, no espaço e no tempo. Eles sempre apresentam duas ou mais espécies, com no mínimo dois produtos finais e com ciclos sempre maiores que um ano. Nestes sistemas ocorrem interações ecológicas e econômicas positivas sendo importante a manutenção dos sistemas tradicionais de cultivo. Desta maneira, o mais simples sistema agroflorestal é sempre muito mais complexo que qualquer monocultivo (NAIR, 1985).

Para que os SAFs possam proporcionar todas as vantagens já citadas é necessário que a escolha das espécies seja realizada com sabedoria e base científica, considerando a competição por água, nutrientes e radiação solar. Na natureza, principalmente nos trópicos onde a radiação solar é de maior intensidade, as plantas que colonizam o estrato superior das florestas possuem adaptações ao excesso de radiação. Fisiologicamente, uma folha possui um limite de absorção da radiação solar. O complexo da antena presente nos cloroplastos atinge o limite de absorção de fótons, a partir desse momento a produção de açúcar é estagnada. Plantas de sol possuem alto ponto de saturação fotossintética, enquanto que nas de sombra esse limite é inferior. Além disso, o conjunto de folhas que compõem o dossel, possui um ponto de saturação ainda mais elevado que uma folha sozinha devido à sobreposição destas o que eleva a incidência de radiação difusa no interior da copa. Sendo assim, plantas mais adaptadas à maior exposição solar apresentam estratégias fisiológicas diferentes daquelas mais adaptadas às condições de sombreamento. Deste modo, quanto maior a estrutura do dossel mais difícil será de se chegar à saturação (MONTEITH, 1972).

O eucalipto torna-se uma espécie com potencial para ser utilizada em SAFs, pois possui características presentes em plantas altamente adaptadas ao excesso de radiação. Righi et al., (2016) observaram uma relação exponencial entre a disponibilidade de radiação e a produção de biomassa - isso é, não foi detectado ainda o ponto de saturação de copa dessa espécie ocorrendo aumentos crescentes da fotossíntese – o que é raramente demonstrado. Entretanto, algumas espécies não possuem esse comportamento. Como para o cafeeiro que absorve 50% da radiação (RIGHI et al. 2007); o tomateiro com cerca de 50% (EL-BASSIONY et al. 2014) e o abacaxizeiro, entre 53 a 64% da radiação disponível (CORDEIRO et al. 2016). Por tanto, determinar até que ponto um vegetal absorve eficientemente a radiação solar é essencial para se avançar na determinação da composição dos SAFs e assim difundir sua adoção.

O presente trabalho objetivou avaliar as estratégias ecofisiológicas do eucalipto e do urucuzeiro submetidos à diferentes níveis de radiação solar com idades de 12 a 84 meses para o eucalipto, e de 6 meses para o urucuzeiro. Assim procurou-se responder as seguintes questões:

- (1) O escalonamento temporal de plantio dos eucaliptos em um sistema agroflorestal em ondas (SAF OndA – Righi, 2009) promove maiores volumes, diâmetros e alturas, volume de copa, porcentagem de copa que o monocultivo;
- (2) As linhas de eucaliptos plantadas no segundo ano são afetadas pelo sombreamento da linha do ano anterior apresentando reduções de crescimento e;
- (3) O urucuzeiro é uma espécie que suporta sombreamento apresentando modificações de copa e de crescimento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Sistema agroflorestal

Sistemas agroflorestais são definidos como sistemas de uso da terra em que plantas perenes (árvores, arbustos, palmeiras, bambus, etc.) são manejadas em conjunto com culturas agrícolas/animais, no espaço e no tempo. Sendo assim, eles sempre apresentam duas ou mais espécies, com no mínimo dois produtos finais, ciclos sempre maiores que um ano e o mais simples sistema agroflorestal é mais complexo que qualquer monocultivo (NAIR, 1985).

Ainda, os SAFs podem ser definidos como a combinação de cultivos simultâneos ou sequenciais de indivíduos arbóreos com culturas agrícolas e/ou animais. De acordo com Nair, (1985) os SAFs podem ser classificados em três grupos de acordo com sua estrutura: Sistemas Silviagrícolas - árvores com culturas agrícolas; Silvopastoris - árvores com animais e; Agrossilvipastoris - árvores, culturas agrícolas e animais. Os SAFs podem ser ainda classificados quanto à sua disposição espaço temporal: 1. Taungya cultivo de espécies agrícolas/animais até o fechamento do dossel florestal; 2. Cultivo em alamedas, avenidas, aléias ou renques, nesse tipo as culturas são plantadas nas ruas entre linhas das árvores e; 3. Policultivos Multiestratificados, consiste no consórcio de várias espécies, menos que dez geralmente, de ciclo longo, médio e curto de forma a otimizar o uso de recursos, formando estratos vegetais diferentes (MACEDO et al., 2010).

Com a diversificação das espécies em conjunto com a estrutura espaço temporal, os SAFs possibilitam que a agricultura seja mais sustentável. As vantagens ecológicas começam com o aumento de polinizadores, facilitação e complementariedade de nicho. As árvores como um dos grandes engenheiros de ecossistemas, são capazes de modificar o ambiente a sua volta. Por isso, ao se planejar um SAF, precisa sempre considerar as interações que irão acontecer. Ao utilizar as funções ecossistêmicas a favor produtividade possibilita que as espécies ocupem nichos diferentes, evitando a competição entre elas. As interações positivas atuam como potencializadoras para espécies de interesse ou inibidoras para daninhas. (FORRESTER e BAUHUS, 2016).

A estratificação do dossel possibilita o aumento da densidade das copas. Dessa forma, promove a redução na temperatura do sub-bosque tornando-o mais estável. Esse ambiente é ideal para a germinação e desenvolvimento de plantas. A grande maioria dos vegetais são sensíveis a radiação direta em seu período inicial de vida. Por isso, a filtragem e dissipação imposta pelo componente arbóreo auxilia na sobrevivência das espécies (MONTEITH et al., 1991). Para o solo, a dissipação da radiação também é benéfica, pois reduz consideravelmente as perdas de umidade por evaporação também preservando a matéria orgânica aí existente. Além disso, com as diferentes estruturas de dossel absorvendo radiação há maior aproveitamento da energia solar. Todos esses fatores atuam de modo a aumentar a produtividade da área e ainda diminuir o desenvolvimento de plantas daninhas possibilitando a redução do uso de herbicidas.

O aumento da diversidade de raízes presentes no subsolo possibilita que haja maior aeração e retenção hídrica. O sistema radicular mais elaborado e profundo das árvores possibilita a busca de água nas camadas mais abaixo da superfície e a sua redistribuição para as camadas superficiais. Além disso, a mortalidade e decomposição das raízes finas faz com que haja o aumento da matéria orgânica e consequentemente da ciclagem de nutrientes. Por fim, a complexa malha de raízes promove uma efetiva exploração dos nutrientes ao longo do perfil do solo, pois elas alcançam locais nos solos antes inalcançáveis, além de reduzir as perdas de nutrientes por lixiviação e erosão (TORRALBA et al., 2016).

2.2. Breve história da luz

Desde os tempos antigos a composição da luz é algo que atrai o imaginário do ser humano. A princípio os gregos acreditavam que o Deus Apollo era quem atirava os raios de luz. A partir de então os cientistas buscam a solução para o enigma de sua composição. A primeira hipótese foi proposta por Newton que defendia que a luz era composta por partículas atiradas em alta velocidade formando um raio de luz. Com o passar dos anos, essa hipótese foi refutada. Novas tecnológicas permitiram que as pessoas medissem e percebessem o comportamento de onda da luz. Maxwell foi um dos primeiros a defender que a luz era composta por ondas eletromagnéticas e que ela possui espectros diferentes de acordo com seus comprimentos de ondas (COMPTON, 1929).

Atualmente a teoria mais aceita é de que a luz possui um comportamento dualístico, em que ela é tanto partícula quanto onda. Dessa forma ela é composta por vibração de campos eletromagnéticos transversos, com oscilações perpendiculares à sua propagação com ângulo de 90° um ao outro se propagando no espaço. A frequência de cada onda é que determina a intensidade de energia que ela irá possuir (CAVALCANTE e TAVOLARO, 2001). Já as partículas de luz podem ser denominadas fótons, e sua carga energética denominada quantum. A quantidade de energia que cada fóton possui não é constante, podendo variar de acordo com a sua frequência (BOSE, 2005).

Dessa forma, graças ao Sol, todos os dias o planeta Terra é bombardeado por uma chuva de fótons com diferentes intensidades energéticas. A radiação emitida pelo sol é, em grande parte, filtrada pela atmosfera. Porém, ainda assim vários comprimentos de ondas conseguem penetrar essa barreira e atingir a superfície terrestre. Comprimentos de ondas localizado na região do ultravioleta possuem frequência superior e menor comprimento de onda; já no infravermelho possui frequência inferior e comprimento mais longo. O olho humano é sensível apenas à uma fração da radiação total, denominada de espectro do visível - frequência entre 400 e 700nm. Já as plantas apresentam picos de absorção na região localizada próximo ao vermelho (430nm) e ao azul (660nm). Essa faixa de captura de luz é denominada de radiação fotossinteticamente ativa (RFA). Nesse intervalo é onde os cloroplastos são capazes de absorver eficientemente os fótons (TAIZ e ZEIGER, 2017). O espectro de radiação verde é grandemente refletido fazendo com que as plantas apresentem essa coloração aos olhos humanos.

2.3. Fisiologia das plantas e absorção da radiação

Os vegetais em suas células possuem organelas, e dentro do cloroplasto ocorre uma das reações mais importantes à vida no planeta - a fotossíntese. Dentro da membrana dos tilacoides ocorre a concentração de gás carbônico, que é quebrado com auxílio da energia luminosa para produzir moléculas de açúcares simples e assim liberar oxigênio da água como resíduo. Para que a reação fotossintética da planta seja efetiva é necessário que uma faixa bem específica da radiação seja absorvida, a radiação fotossinteticamente ativa (RFA).

Nas folhas dos vegetais existe um aparato fotossintético composto por moléculas especializadas em captação de energia. Essa estrutura é composta pelo complexo da antena, pigmentos de clorofila capazes de capturar a energia luminosa gerando assim cargas energéticas. Cada molécula de clorofila é capaz de absorver energia proveniente da luz, sendo necessário cerca de 9 a 10 fótons para ativar as reações da fotossíntese. Devido a isso, várias moléculas captam essa energia e a direcionam ao centro de reação. Esse complexo sistema aumenta a eficiência no uso da luz, pois ele evita que as folhas atinjam seu ponto de saturação luminoso (ocorre quando a intensidade da radiação solar é muito alta). Ao atingir esse ponto de saturação a produção de glicose deixa de responder ao aumento de radiação solar. Em folhas individuais a saturação ocorre mais rápido do que nas copas, enquanto que no

dossel a saturação é ainda mais retardada. Isso se deve ao fato de que com o acúmulo de biomassa foliar ocorre a sobreposição, fazendo com que poucas folhas recebam radiação direta e prevaleça a radiação difusa (GREEN, 2003).

Fisiologicamente as plantas desenvolveram outras estratégias para melhorar o aproveitamento da radiação solar. Uma das mais conhecidas é a presença de dois centros de absorção da luz, fotossistema I (PSI) e fotossistema II (PSII). Cada um desses mecanismos possui uma função específica dentro da estrutura vegetal. A radiação solar que tende ao vermelho distante, acima de 680nm, é absorvida pelo PS I, enquanto que a comprimento de onda menor, até 680nm, é absorvido pelo PS II. Dessa forma, mesmo frequências baixas são aproveitadas (BRUDVIG, 2007; AMUNTS e NELSON, 2009).

Dentro da fisiologia adaptativa de cada espécie, temos que alguns indivíduos são melhores adaptados a determinados locais em que para outros seriam estressantes. Um dos fatores que determina é o ponto de compensação luminoso. Em plantas de sombra esse ponto é baixo, cerca de 1 a 5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, demonstrando que pouca intensidade luminosa será suficiente para superar a necessidade da respiração, sobrando energia para o crescimento da planta mesmo num ambiente de baixa disponibilidade energética. Já em plantas de sol, sua respiração celular é altíssima, cerca de 10 a 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, fazendo com que seja necessária alta intensidade luminosa para que a fotossíntese ultrapasse a respiração. Isso nos leva ao entendimento de que planta de sombra possui maior dificuldade em sobreviver em um ambiente com muito sol, da mesma forma, uma de pleno sol seria incapaz de desenvolver em locais sombreados (BOARDMAN, 1977).

Por isso, no ambiente natural existe uma hierarquia, em que cada indivíduo ocupa o estrato para o qual está mais bem adaptado. Plantas que ocupam o estrato superior de florestas, de forma geral, recebem radiação direta com alta intensidade. Por isso, possuem folhas menores e mais grossas com menos estômatos afim de perder menos água por evapotranspiração. Além disso, suas copas são maiores para suportar grande biomassa de folhas. Em contrapartida, espécies de sub-bosque se adaptaram de forma que possuem folhas mais largas e finas, comportando mais cloroplastos, que aumentam a eficiência na captura da radiação difusa que penetra abaixo do dossel (CHAZDON et al., 1981).

Em regiões tropicais a intensidade de energia que é emitida pelo sol é tanta, que grande parte das florestas é composta por vários estratos vegetais. Esses são compostos por indivíduos em idades e estágios de maturação diferentes. Isso mostra que mesmo com um amplo dossel florestal, não é capaz de capturar toda a energia presente no sistema. Apenas cerca de 8% da RFA atinge o sub-bosque sendo essa energia residual suficiente para a sobrevivência de espécies adaptadas. A radiação que chega ao interior da floresta é de menor qualidade, pois as árvores já absorveram o comprimento de onda melhor, deixando apenas aquilo que não foram capazes de absorver. Deste modo, a estrutura florestal é um exemplo de sistema de máxima eficiência em absorção energética (BAZZAZ & PICKETT, 1980).

2.4. Radiação e a ecofisiologia das plantas

No desenvolvimento de uma planta sadia muitos fatores devem ser levados em consideração. Mas para que ela seja considerada em seu estado ótimo nenhum fator deve ser limitante, tais como, água, solo, ar e nutriente. Nessas condições a radiação será a responsável por ditar o crescimento do vegetal (DONALD, 1951). Em ambientes naturais como florestas, em seu sub-bosque existe uma constante busca por energia, pois grande parte da radiação de qualidade já foi absorvida pelo dossel da floresta e apenas uma pequena fração desta ficou disponível aos indivíduos menores.

Ao avaliar locais com gradiente de radiação solar, observam-se diferenças significativas na radiação fotossinteticamente ativa (RFA), sendo ela menor em lugares sombreados. Isso leva as plantas a adotarem estratégias diferentes de adaptação a esses ambientes. Vegetais de sombra tendem a possuir crescimento vertical além de apresentarem desenvolvimento lento, com maior concentração de clorofila. Essa estratégia favorece a captura da radiação difusa. Já os indivíduos que são submetidos a pleno sol desenvolvem mais o tamanho de suas copas, com aumentos do número de folhas e galhos (DONG et al., 2017; SOUZA et al., 2017).

As folhas podem ser consideradas a parte de maior importância no ponto de vista fisiológico e de produção. O índice de área foliar (IAF), é definido como a área total de folhas dispostas sobre a projeção de um metro quadrado de terreno (JORDAN, 1969; CHEN e BLACK, 1992). Suas variações podem ser formas de respostas da planta ao ambiente. Indivíduos sombreados tendem a ter menor área foliar, porém apresentam folhas maiores e com orientação vertical, possibilitando aumentar a eficiência na captação da RFA. Em contrapartida, vegetais a pleno sol possuem um IAF maior, com folhas menores e mais grossas, direcionadas à horizontal. A maior absorção da RFA está ligada ao IAF, que está correlacionado a produção de biomassa (CANHAM, 1988).

Em situações de estresse todos os seres vivos possuem estratégias de sobrevivência, os vegetais não são diferentes. Eles possuem um sistema de defesa contra o excesso de radiação solar. Uma folha normalmente atinge seu ponto de saturação em torno de 500 a 1000 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$, ou seja, bem abaixo da luz solar plena, 2000 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Devido à alta intensidade de radiação danos podem ser causados ao aparelho fotossintético. Faz-se necessária a adoção de meios de defesa como: o ciclo das xantofilas, responsáveis por dissipar radiação em forma de calor; o movimento dos cloroplastos, os vegetais em determinadas situações podem locomover os cloroplastos para locais mais internos no mesofilo foliar; e o movimento das folhas, mudança na orientação em relação ao sol diminuindo a intensidade luminosa sob estas (TAIZ e ZAIGER, 2017).

Diferenças adaptativas ainda são encontradas ao compararmos plântulas em estágios diferentes de vida. Quando plântulas os vegetais são mais sensíveis a radiação, seu aparato fotossintético ainda não está desenvolvido, sendo mais susceptíveis a fotoinibição. Porém, alguns autores defendem que a fotodefesa é regulada pelo nível de radiação e não pelo estágio de vida (VIEIRA et al., 2015).

2.5. Radiação em sistemas agroflorestais

A agricultura em países tropicais é baseada em um modelo Europeu. A intensidade da radiação no hemisfério norte é menor, justificando o plantio em monocultivo. Porém a energia solar que chega nos trópicos é muito maior, fazendo com que o modelo europeu de agricultura seja inviável para nossa região. Ao plantar em monocultivo há desperdício energético, pois, um único estrato de dossel não consegue captar toda a radiação. Isso faz com que desencadeie alguns problemas, como por exemplo, a proliferação de ervas daninha, que aproveitam a energia remanescente. Problemas de ordem ecossistêmica também ocorrem, como esgotamento de solos, diminuição da ciclagem de nutrientes e redução de matéria orgânica. Há assim a necessidade das entradas energia externa, como uso de herbicidas e adubação mineral (MONTEITH et al., 1991).

Por isso, uma forma melhor de se produzir nos trópicos é utilizando sistemas agroflorestais (SAF). Eles possibilitam que o sistema aproveite com maior eficiência a radiação solar. Ao utilizar essa forma de manejo, tenta-se imitar a estrutura de uma floresta nativa, reproduzindo a estratificação do dossel em um sistema de produção agrícola e assim aumentando a captura da radiação solar. Isso leva à melhora nas condições de plantio, evitando o estresse por excesso de radiação (CARON et al., 2016).

Grande parte das culturas agrícolas possuem uma eficiência fotossintética entorno de 50%. Segundo El-Bassiony et al. (2014) para o tomate na região egípcia, a melhor intensidade de radiação é na faixa de 50%, pois, possibilita a produção do fruto e o protege do estresse por temperatura. Na produção de abacaxi (*Ananas comosus* L. Merr.) foi constatado que o vegetal não suporta mais que 53 a 64% da RFA, demonstrando grande sensibilidade ao excesso de luz (CORDEIRO et al., 2016). Outros autores ainda demonstraram que mesmo as culturas respondendo de forma negativa ao sombreamento, ganhos em teor de proteína foram observados (ARTRU et al., 2016).

Além do aumento na eficiência energética, há também melhoria na qualidade de produtos. Frutas e grãos submetidos à ambientes sombreados tendem a ter maior qualidade, acúmulo de compostos secundários e maior tempo de maturação. Isso ocorre pois com a diminuição da radiação direta, o estresse é reduzido. Autores como Mahieu et al. (2016) obtiveram aumento de produção em duas vezes no cultivo de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.). Sendo justificado pelo fato de que com o sombreamento a senescência foliar foi atrasada e com isso estendeu a maturidade das folhas possibilitando assim a alocação de assimilados para a sementes por maior período de tempo.

2.6. Eucalipto

2.6.1. Morfologia e distribuição edafoclimática

O gênero *Eucalyptus* spp. é considerado como um dos maiores grupos do mundo pertencendo a ordem Myrtales e família Myrtaceae, sendo ela descrita em 1789 por L'Héritier. Sua ocorrência natural está localizada na Austrália, Papua-Nova-Guiné, Timor-Leste, Indonésia e Filipinas. O gênero possui mais de 800 espécies catalogadas, com indivíduos ocupando áreas que variam de tropicais (latitude 3°S) até temperadas (43°S); regiões extremamente úmidas (pluviosidade média de 3.000 mm) até regiões secas (pluviosidade de 300 mm); com altitudes variando desde o nível do mar até picos montanhosos. Esta ampla colonização de locais se deve a sua diversidade morfológica, indivíduos possuírem mais de 90 m de altura enquanto outros 40 cm, que os permitiu adaptar a diversos locais (FLORES et al 2016).

No Brasil o gênero *Eucalyptus* foi introduzido em 1874 por Edmundo Navarro de Andrade e Joseph Henry. Eles foram os responsáveis por coletar e testar as sementes com origem de diferentes zonas climáticas, avaliando assim qual melhor se adaptaria. Foram testadas pelos pesquisadores entre 1910 a 1920 as primeiras espécies do gênero no país sendo elas selecionadas de acordo com a região a ser implantada. Em locais de clima quente foram recomendados: *E. alba*, *E. botryoides*, *E. citriodora*, *E. grandis*, *E. maculata*, *E. paniculata*, *E. punctata*, *E. resinífera*, *E. camaldulensis*, *E. saligna*, *E. scabra tereticornis*, *E. popinqua*, *E. microcorys*, *E. lindleyana*, *E. maideni*, *E. pilularis*. Já em estados com clima mais temperado, ao sul do país, foram implantados: *E. thiantha*, *E. scabra*, *E. globulus*, *E. gunnii*, *E. longifolia*, *E. goniocalyx*, *E. maideni*, *E. pilularis*, *E. punctata*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. viminalis*, *E. marginata*, *E. diversicolor*, *E. gigantea*, *E. obliqua*, *E. regnans* (ANDRADE, 1961).

No Brasil a área plantada com a espécie está ao redor de 5,1 milhões de hectares, sendo os principais estados produtores Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul. Nesses locais os produtos de maior importância para o setor florestal são polpa de celulose, papel, painéis de madeira, e carvão vegetal. A grande produtividade do eucalipto em nosso país deve-se ao fato de suas condições edafoclimáticas e fundiárias. Tais aspectos em conjunto com grandes investimentos em pesquisas e desenvolvimento, verticalização do setor e qualidade de mão de obra possibilitaram aumento significativos na produção. Por conseguinte, tornamos líderes em produção de floresta, alcançando taxas de incremento médio anual (IMA) equivalentes a 38m³.ha-1.ano-1 valor muito acima da média mundial (ABRAF, 2013; IBA, 2016).

2.6.2. E. grandis x E. camaldullensis –clone COP 1277

O clone COP 1277 foi desenvolvido pela empresa Copener, sendo ela localizada em uma região de clima tipicamente seco. A região possui aproximadamente 500 mm anuais de pluviosidade, e uma evapotranspiração de referência de 1500 mm (STAPE et al., 2014). Essas características climáticas fizeram com que esse clone necessitasse de adaptações morfológicas e fisiológicas que o permitisse sobreviver nesse local. Dessa forma uma das características mais expressiva desse híbrido é sua copa rala, que consequentemente produz um baixo índice de área foliar. Devido a isso, atualmente esse clone é altamente recomendado para utilização em sistemas agroflorestais e na restauração florestal. Suas características de copa permitem a passagem de luz para o sub-bosque possibilitando o desenvolvimento de outros vegetais graças à radiação que é transmitida. (EMBRAPA, 2013). Entretanto, a morfologia da copa é altamente influenciada pela competição interespecífica. Ribeiro e Righi (2016) observaram variações de tamanho e volume de copa deste clone quando cultivado em diferentes sistemas. No trabalho citado os autores obtiveram resultados de volume de copa na ordem de 38,6 m³ em plantio mais adensado, enquanto que aqueles em espaçamentos maiores possuíam 82,97 m³ de volume (2,14 x maior). A altura da copa também variou de 8,4 m a 10,3 m. Isso mostra como a competição por radiação solar afeta significativamente a morfologia do clone, sendo assim necessário o manejo correto de acordo com a finalidade.

Apesar da copa rala, seu crescimento e produção de biomassa não deixa a desejar, pois o híbrido possui a estratégia de alocar mais biomassa em seu fuste do que em folhas e galhos. Seu desenvolvimento pode ser explicado por sua eficiência no uso da água, cerca de 1000 dm³ de água a menos que outros clones para produção de 1kg de madeira (ROUX et al., 1996). Outra hipótese levantada é a de que o clone consegue permanecer mais tempo com seus estômatos abertos, pois de forma geral ele possui alta razão raiz/parte aérea. Reis et al. (2006) constatou que 25,9% de sua biomassa total está nas raízes, (profundidade média de 0,97m, comprimento médio de 0,68 e número de raízes de 4,33 totalizando comprimento total de 2,93m).

2.7. Urucum

O urucuzeiro (*Bixa orellana* L.) pertence à família Bixaceae e possuiu distribuição espacial por toda América tropical, pertencendo a flora amazônica. É uma espécie considerada rústica, perene de origem pré-colombiana, podendo alcançar até 6m de altura, heliófila, com necessidades pluviométricas variando entre 1.200 a 3.000 mm sob temperatura máxima de 36° C e mínimas de 15° C. Os solos preferenciais para essa espécie são profundos e bem drenados com textura média a argilosa. No período colonial os nativos do Brasil já utilizavam essa cultura para pintar seus corpos como meio de ornamentação e como forma de proteção contra a incidência dos raios solares e picadas de insetos (EMBRAPA, 1992; EMBRAPA, 2009).

O Brasil é o maior produtor de sementes de urucuzeiro, com 57% da safra mundial, cerca de 10 a 12 t anuais. No país os principais estados produtores são, São Paulo, Rondônia, Pará e Paraná. Grande parte das empresas de processamento está localizada na região de Campinas, interior de São Paulo. Porém, mesmo com essa grande quantidade de matéria prima gerada nem sempre é suficiente para suprir a demanda interna, sendo necessário importar essa semente (FABRI e TERAMOTO, 2015).

Normalmente o urucuzeiro é cultivado por pequenos produtores, que possuem a cultura como uma forma de completar a produção da fazenda. No início, meados de 1990, a principal forma de propagação da espécie era por sementes, com matrizes localizadas dentro ou próximo as propriedades. Porém, quando plantada de forma seminal apresentava ampla variação na cor, forma, tamanho dos frutos, produtividade de sementes, no teor de bixina

- substância responsável pelo tom de vermelho presente na semente - e na tolerância às pragas. Essa grande diversidade é atribuída a fatores como polinização cruzada, variações genotípicas e qualidade de manejo. Entretanto, com o auxílio de técnicas como micropropagação e alporquia foi possível o desenvolvimento de genótipos superiores com melhor produtividade (EMBRAPA, 1992; REBOUÇAS e SÃO JOSÉ, 1996; MANTOVANI et al., 2007; MANTOVANI et al., 2013).

Um dos principais produtos do urucum é seu corante natural. Gerado a partir da semente, ele é amplamente utilizado para tingir alimentos, mesmo não possuindo cheiro nem sabor. Nas indústrias alimentícias possui papel importante por estar presente na composição de manteigas, bebidas, pães, massas, laticínios, cosméticos dentre outros. Suas sementes possuem composição química que varia entre 40 a 45% de celulose, de 3,5 a 5,2 % de açúcares, 0,3 a 0,9 % de óleo essencial, 3 % de óleo fixo, 4,5 a 5,5 % de pigmentos, 13 a 16 % de proteínas e betacarotenos. A porcentagem de corante presente nas sementes pode variar entre 1,94 a 5,5% (EMBRAPA, 2009).

A utilização de urucum em sistemas agroflorestais vem sendo explorada principalmente por pequenos produtores devido a necessidade de múltiplos produtos, tanto para o sustento da casa quanto para comercialização. Porém, pouco se sabe sobre os resultados dessa cultura em consócio com espécies arbóreas. Vieira et al, 2007 afirma que os produtores estavam abandonando a cultura por falta de produtividade e baixo rendimento. Em contrapartida, Salazar et al., (2014) em seus estudos preliminares demonstrou que a cultura se adapta satisfatoriamente ao sistema de manejo de seringueira com urucuzeiro e acerola, mostrando uma tendência de aumento de produção. Outros autores ainda concluíram que com a utilização de SAFs, foi possível elevar o número de polinizadores e a quantidade de matéria orgânica no solo, fazendo com que o número de sementes aumentasse. Apesar destes indicativos, há pouca informação na literatura sobre a produção de urucum em SAFs (SILVEIRA et al, 2007; BOMFIM et al, 2015).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização da area de estudo

A pesquisa foi conduzida na Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi/SP, administrada pelo Departamento de Ciências Florestais da ESALQ-USP (Figura 1). O local é representativo de uma região agrícola do interior do estado de São Paulo onde prevalecem as pequenas propriedades rurais. A área experimental está localizada a 90 km de Piracicaba (22°40' S, 48°10' W) situando-se às margens da represa de Barra Bonita no rio Tietê. A fazenda possui uma extensão territorial de 663 ha com uma altitude de 455 m apresentando um relevo plano com a predominância de solos classificados como latossolos e neossolos quartzarênico. O clima local é definido como Cwa pela classificação de Köppen apresentando inverno seco e verão chuvoso com uma temperatura média anual de 23°C, mínima de 5°C e máxima de 34°C e precipitação média anual de 1.100 mm (Alvares, et al., 2013).

Figura1: Localização geográfica do experimento Sistema agroflorestal em Ondas (SAF Onda), situado na estação experimental de Anhembi.

3.2. Delineamento experimental do eucalipto

Este estudo está baseado no delineamento experimental proposto por Righi (2009) que sugeriu a adição de duas outras dimensões (altura e tempo) como parâmetros de avaliação experimental. O autor demonstrou como é possível estabelecer um dossel florestal com formato ondulante utilizando as quatro dimensões (altura, comprimento, largura e tempo) de modo a manter uma cobertura permanente do solo e assim procurar reduzir ao máximo os distúrbios antrópicos. Também, dado ao arranjo espaço-temporal, as árvores de eucalipto (ou outra espécie de interesse) ficam mais expostas ao sol podendo aumentar suas copas e sua capacidade de captura da radiação solar. Ribeiro e Righi (2019) observaram um aumento expressivo da copa dos eucaliptos plantados em Ondas quando comparado àqueles plantados em espaçamento convencional em monocultivo (3x2m). De acordo com os autores, isso possibilitou um aumento de 250% na produção de madeira das árvores de mesma idade (primeiro ano).

No experimento proposto, o dossel das árvores assume um aspecto de onda dada a sequência de plantios e a defasagem de crescimento (Figura 3). As árvores foram plantadas a cada ano no mesmo espaçamento tradicionalmente utilizado pelas indústrias (3x2 m). O híbrido escolhido foi o *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus camaldulensis* clone: COP-1277- comercialmente utilizado por empresas. Eles foram plantados em renques nos extremos do terreno, sendo este fechado com os sucessivos plantios dos diferentes anos – linhas 1, 2, 3 até 7. Essa dinâmica de plantio possibilitou a formação de ondulações do dossel dada às diferenças de idade e, portanto, do crescimento em altura das árvores. Dessa forma as árvores maiores e mais velhas compõem as cristas das ondas (Ano 1) e suas vizinhas laterais com menor altura e idade, irão diminuindo gradativamente até formar vales localizados mais ao centro dos plantios. Os tratamentos foram dados pela distancias entre as cristas, sendo essa distância de 24m e 42m. Os espaços entre cristas (comprimento de onda) foram sendo ocupados com linhas de eucaliptos plantados paralelamente e assim fechando a quadra em 4 anos (Onda Curta, OC) e em 7 anos (Onda Longa, OL). Cada linha plantada nos tratamentos OC e OL possuía 118 indivíduos. Para fins de comparação do desempenho dos eucaliptos plantados nas Ondas foi instalada uma parcela deste em monocultivo com 108 plantas (6 linhas com 18 plantas por linha) plantados no mesmo espaçamento - 3x2 m. Portanto, o tratamento Monocultivo possuía sete parcelas de idades diferentes variando de 1 a 7. O experimento (Onda Curta, Onda Longa e Monocultivo) eracomposto por 4 blocos nos quais todos os tratamentos foram repetidos. As linhas de árvores estavam alinhadas no sentido norte sul. A área total era de 10ha (Figura 2 Figura 3).

Figura 2: Fotos ilustrativas do experimento SAF Onda, proposto por Righi (2009) onde se pode visualizar em A, o centro do vale do Onda Longa, em B, a face oeste do tratamento Onda Longa, e em C o tratamento Monocultivo.

O plantio do eucalipto começou em outubro de 2012 (Ano 1). Sequencialmente foi instalada a próxima linha em fevereiro de 2013 (Ano 2), janeiro de 2014 (Ano 3), fevereiro de 2015 (ano 4) (Onda Curta completo); depois em janeiro de 2016 (ano 5), em março de 2017 (ano 6) e em março de 2018 (ano 7) (Onda Longa completo) (Tabela 1). Foi realizada uma análise de solo no início da implantação (outubro de 2012). Posteriormente, com base nestes resultados realizou-se a correção do solo e sua fertilização seguindo os padrões comerciais de forma a não haver deficiência nutricional. A mesma adubação foi realizada para cada linha plantada nos diferentes anos.

Tabela 1: Demonstração da idade (0 a 7 anos) e ano de implantação (2012 a 2018) das linhas que compõem os tratamentos; sendo A1 (Ano 1); A2 (Ano 2); A3 (Ano 3); A4 (Ano 4), A5 (Ano 5); A6 (Ano 6) e A7 (Ano 7).

Ano de plantio	Tratamentos						
	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7
	Idade do plantio						
2012	0						
2013	1	0					
2014	2	1	0				
2015	3	2	1	0			
2016	4	3	2	1	0		
2017	5	4	3	2	1	0	
2018	6	5	4	3	2	1	0

Figura 3: Croqui da área experimental composta por três tratamentos: Onda Longa, Onda Curta e Monocultivo. A figura mostra a disposição das linhas de eucalipto e urucuzeiro ao longo dos anos, além dos espaçamentos entre as cristas 48 e 24m.

3.3. Delineamento experimental do Urucuzeiro

Righi (2009) ao propor o sistema agroflorestal em ondas teve o intuito de disponibilizar mais energia para o sub-bosque e aumentar a captura da radiação solar pelas árvores possibilitando assim uma maior produtividade do sistema como um todo. A estrutura de plantio das árvores em ondas faria com que a radiação solar atingisse lateralmente suas copas e assim uma maior quantidade de energia seria transmitida aos estratos inferiores da floresta. Desta maneira, dada as diferenças de idade e porte das árvores foi criado um gradiente de disponibilidade de radiação solar aumentando em direção ao centro da quadra (ver Figura 2 e 3). O escalonamento de plantios permitira a simulação de árvores emergentes e a formação de clareiras permitindo o cultivo permanente da área num sistema em evolução (RIGHI, 2020)

O cultivar escolhido para ser implantado e compor o sistema agroflorestal foi o urucum (*Bixa orellana* L.), variedade Piave. Suas sementes foram obtidas via parceria com a Pesquisadora Dra. Eliane Gomes Fabri do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). As sementes foram levadas à Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, onde o responsável Eng. Rildo Moreira gentilmente as recebeu e ficou incumbido da produção de mudas. A germinação ocorreu no viveiro da estação experimental de Itatinga - SP. Os recipientes utilizados foram tubetes preenchidos com substrato carolina soil® mais 500g de superfosfato simples. Em cada tubete foram colocadas 3 sementes. Após a germinação houve a seleção da plântula com melhor desenvolvimento, sendo as outras duas desbastadas. As 1500 mudas permaneceram em viveiro até completar 4 meses. Após esse período essas foram transferidas à Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi.

O plantio do urucuzeiro foi realizado no dia 27 de abril de 2018 (nessa época os eucaliptos do Ano 1 possuíam 6 anos de idade já se tendo plantado a sétima linha do tratamento Onda Longa) aproveitando o final do período chuvoso da região. A disposição das plantas em campo foi feita de forma que ocupassem alternadamente as entrelinhas dos eucaliptos conforme pode ser observado na figura 4. Foram plantadas 25 mudas de urucuzeiro em cada entrelinha de eucalipto utilizando-se o espaçamento de 4x6 m. Desta maneira, as linhas de urucuzeiros estavam submetidas à diferentes níveis de radiação. Para a determinação da disponibilidade da radiação aos urucuzeiros no

sub-bosque do eucalipto foram instalados sensores conectados a uma estação meteorológica como descrito no item 3.8.1. Concomitantemente estabeleceu-se um plantio em monocultivo (pleno sol) para fins de comparação do desempenho dos urucuzeiros nos diferentes tratamentos. Desta forma, os urucuzeiros estavam submetidos a seis níveis de radiação solar dada por sua localização nas entrelinhas do eucalipto. Os urucuzeiros foram plantados nas entrelinhas localizadas entre as árvores dos Anos 1-2, Anos 3-4; Anos 5-6 e Anos 7-7 do Onda Longa, dos Anos 1-2 e Anos 3-4 do Onda Curta e a pleno sol - Monocultivo (Figura 3).

A adubação dos urucuzeiros foi realizada no período de implantação, com uma dosagem de 200g por planta de superfosfato triplo. Posteriormente, após 30 dias foi realizada uma segunda adubação com dose de 250 g por planta de 17-06-24 (N-P-K).

Figura 4: Fotos dos urucuzeiros no viveiro (B e C) e posteriormente em campo após seu plantio (A).

3.4. Censo das culturas

3.4.1. Censo do eucalipto

Anualmente, desde 2013 (quando o eucalipto plantado no Ano 1 já estava em seu segundo ano de idade) até 2019, foi realizado o censo florestal, em que foram mensurados todos os diâmetros dos troncos à altura do peito (DAP) – a 1,3 m de altura – e as alturas totais e do tronco (obtendo-se por diferença a altura da copa) de cinco em cinco indivíduos. Também foram avaliados os raios da copa. A altura total da árvore foi definida como sendo o ponto mais alto da copa até a sua base. A altura do tronco foi definida como a distância entre o ponto de inserção do ramo mais baixo e a base da árvore. A largura da copa (raio), foi considerada como sendo a distância entre o tronco e a última folha dos galhos laterais voltados às entrelinhas admitindo-se o fechamento das copas nas linhas de plantio.

Para realizar o censo foram utilizados equipamentos de mensuração florestal. O DAP das árvores foi medido diretamente utilizando-se uma suta de marca Haglof Mantax. Para a realização das estimativas de altura total e do tronco foi utilizado um hipsômetro da marca Vertéx®. Os raios das copas dos eucaliptos foram medidos

diretamente com o auxílio de uma trena esticando-a até a posição em que a borda de sua copa pudesse ser vista perpendicularmente.

3.4.1.1. Modelos Hipsométricos

Os dados de censo foram trabalhados de forma a ajustar modelos hipsométricos para estimar a altura das árvores não medidas. Utilizou-se os valores de DAP e as alturas coletadas de 5 em 5 indivíduos para estimar as outras alturas. Para tanto, foram testados 6 modelos matemáticos tradicionais (Tabela 2).

Tabela 2: Modelos matemáticos testados para estimar as alturas de um plantio de eucalipto.

Sigla	Modelo	Autor
1	$H = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \varepsilon$	Campos e Leite (2002)
2	$H = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP^2 + \varepsilon$	Azevedo et al. (1999)
3	$H = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(DAP) + \varepsilon$	Henricksen
4	$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \left(\frac{1}{DAP}\right) + \varepsilon$	Curtis
5	$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log(DAP) + \varepsilon$	Stone
6	$\frac{DAP}{\sqrt{H}} = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \varepsilon$	Azevedo et al (1999)

3.4.2. Censo do urucuzeiro

Aos seis e doze meses de idade, foram realizados censos, em que todas as plantas de urucuzeiro foram mensuradas sua altura total, a altura do tronco, o diâmetro e o raio de copa e o diâmetro do tronco na altura do coleto (DAC – medido a ~5cm de altura do solo). Para tanto foram utilizados os seguintes equipamentos: paquímetro digital (Mitutoyo) para avaliação do DAC, Régua graduada com 1 m de comprimento, para avaliação direta da altura total, da altura da copa e do raio.

3.5. Parâmetros para avaliar a morfologia da copa das espécies

As características da copa de ambas as espécies foram calculadas de acordo com metodologia proposta por Leong (1980), sendo estas: i. Comprimento da copa, que é a diferença entre as medidas de altura da árvore e altura do tronco; ii. Porcentagem de copa, que é a porcentagem do comprimento da copa sobre a altura da árvore; iii. Volume da copa, calculado também se considerando um formato cônico, iv. Densidade foliar, é o quociente entre a área foliar total pelo volume da copa.

3.6. Volume e Biomassa dos eucaliptos

Em abril de 2019, foi realizada a avaliação destrutiva para determinação da biomassa das árvores de eucalipto do Ano1 que completavam 7 anos de idade. O abate foi realizado apenas no bloco 1 do experimento e posteriormente foram ajustados modelos de biomassa para todo o plantio. Para o melhor ajuste dos modelos os abates foram guiados pelo diâmetro de classe. Utilizando o inventário de 2018, os eucaliptos presentes foram divididos em três classes de diâmetros (pequeno, médio e grande). A determinação dos limites de classe foi feita por

meio da subtração do menor diâmetro pelo maior sendo o resultado dividido por três. Após esse procedimento foram marcadas em campo nove árvores por tratamento, Onda Longa, Onda Curta e Monocultivo (3 classes de DAP x 3 árvores x 3 tratamentos) totalizando 27 plantas abatidas.

O corte foi feito a trinta centímetros do solo, e após a queda foi realizado a cubagem rigorosa, a mensuração da altura total, da altura da copa, da altura do tronco, e a pesagem de cada compartimento da árvore: tronco, folha e galho. A cubagem foi executada medindo a altura total e o diâmetro ao longo da árvore, começando a partir da base do tronco, e então a 30 cm; 70cm; 130cm e posteriormente de metro em metro - o diâmetro de inclusão adotado foi de 8cm. Para calcular o volume real a partir dos dados da cubagem foi utilizado a formula de Smalian (Equação 1). Em posse do volume real foram ajustados quatro modelos volumétricos tabela 3.

Equação1:
$$V = ((G1 + G2)) / 2 \times L$$

Onde:

V: Volume real

G1: Área seccional em que $G = (\pi D^2) / 4$

L: Comprimento da tora

Equação 2:
$$Vc = G \times L$$

Onde:

Vc: Volume cilíndrico em m³;

Área basal da tora em m²;

L: comprimento em metros da tora.

Tabela 3: Modelos Volumetricos testados.

Sigla	Equação	Autor
M1	$\log(v) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log(DAP^2 \cdot H)$	Spurr
M2	$v = DAP^2 / (\beta_0 + \beta_1 \cdot (\frac{1}{H}))$	Honner
M3	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP^2 \cdot H$	Spurr
M4	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP^2$	Koperzky-Gehrhardt

O calculo do volume por hectare foi realizado de duas maneiras. A primeira delas e mais tradicional foi considerado 1.666,6 árvores em um hectare, mesmo nos tratamentos OC e OL. Dessa forma foi pensado que se considerar um hectare em linha reta com 1.666,6 árvores enfileiradas, pode-se aproveitar melhor o espaço. A segunda forma foi utilizar a área útil disponível para cada tratamento e dividir pela área de um hectare. No monocultivo 2m (linha) x 3m (entrelinha) igual a 6m² dividido por 10.000m² igual 1.666,6 árv.-1ha. No OC foi pensando de forma que foi 2m (linha) x 12m (entre renques) (distância entre linhas de árvores) igual a 24m², dividido por 10.000m² igual a 416,666 indivíduos por hectare. No OL foi considerado 2m (linha) x 24m (entrelinha) igual a 48m² dividido por 10.000, igual a 208,333 árvores. Posteriormente o número de indivíduos por hectares foi multiplicado pelo volume individual.

A altura total das árvores a serem cubadas, foi considerada como a distância entre a base do tronco e a última folha viva. Já a altura do tronco foi considerada como a distância entre a base da árvore e o primeiro ramo

vivo continua da copa. A determinação da altura da copa foi feita pela subtração entre a altura total e a altura do tronco.

A pesagem dos compartimentos foi realizada dividindo a copa em três terços, inferior, médio e superior. Cada terço teve seus galhos e folhas pesados separadamente com o auxílio de uma balança da marca BEL®. Posteriormente o tronco foi repartido em toras de um metro, e então pesado. Em conjunto com a pesagem total também foram amostrados: um disco do tronco retirado a 1,3 m de altura, 15 folhas de cada terço e 200g de galhos (Figura 5). Esses foram pesados em campo (peso úmido) com o uso de uma balança de campo com capacidade de 60 kg (Pesola®). Os materiais devidamente identificados foram posteriormente levados ao Laboratório de Ecofisiologia Vegetal (LEFS) da ESALQ/USP para secagem em estufa de ventilação forçada (Marconi Ltda.) a 65 °C até atingirem peso constante. O peso das amostras secas foi assim utilizado para o cálculo do peso seco total da árvore (equação 3). A densidade da madeira foi calculada utilizando a fórmula demonstrada na equação 4.

$$\text{Equação 3: } PST = (PSA \times PFT) / PFA$$

Onde:

PST: Peso seco total

PSA: Peso seco amostrado

PFT: Peso fresco total

PFA: Peso fresco amostrado.

$$\text{Equação 4: Densidade} = \frac{MSM + MSC}{MUT - MIT}$$

MSM: Massa seca da madeira

MSC: Massa seca da casca

MUT: Massa úmida

MIT: Massa imersa total

Figura 5: Vista parcial da pesagem em campo e em laboratório das amostras. Em A temos a pesagem em campo do tronco e em B pesagem em laboratório. Em C temos a pesagem das folhas em campo e em D a pesagem em laboratório.

Em posse do peso seco das árvores abatidas foram testados 4 modelos de regressão para estimatimar a biomassa de tronco, galho e folha, sendo relacionado essas variáveis citadas anteriormente com o DAP. Os quatro modelos testados encontram-se na tabela 3.

Tabela 4: Siglas e equação dos modelos utilizados na biomassa.

Sigla	Equação
M1	$Y = \beta_0 + \beta_1 x(DAP^2 \times H)$
M2	$Y = \beta_0 (DAP \times H)^{\beta_1}$
M3	$Y = \beta_0 + \beta_1 \times DAP^2$
M4	$Y = \beta_0 \times (DAP)^{\beta_1}$

Para a cubagem foi utilizado uma suta da marca Haglof Mantax. Para a determinação das alturas utilizou uma trena de fibra de vidro de 50m. A pesagem dos compartimentos foi feita utilizando uma balança de campo com capacidade de 60kg da marca BEL Engineering, lona e sacos plásticos.

3.7. Mensuração Foliar

3.7.1. Eucalipto

Os dados sobre as folhas do eucalipto foram coletados em conjunto com a biomassa. Foram amostradas 15 folhas por terço e por árvore, totalizando 81 amostras. Essas foram acondicionadas em um isopor com gelo, com a finalidade de preservar seus status hídrico. No mesmo dia, no Laboratório de Silvicultura da estação experimental de Anhembi, essas folhas foram pesadas em uma balança de precisão balança eletrônica de precisão, modelo max labor ARD110, e escaneadas com auxílio do scanner de marca Genius colorpage®. Posteriormente essas amostras foram acondicionadas em sacolas de papel devidamente identificadas e levadas à estufa a 65°C até adquirirem peso constante. Em posse das imagens obtidas no scanner, foi utilizado o software FV2200 para o processamento das imagens possibilitando o cálculo de área das folhas. Por fim utilizando a equação 5 foi calculado a área foliar da copa, área foliar específica e o índice de área foliar.

Equação 5: $AFE = Af/BS$

$AF = AFE \times BS_t$

$IAF = (\sum AF)/APC$

Onde:

AFE: Área foliar específica ($m^2 \text{ kg}^{-1}$);

Af: Área da folha base na matéria verde (kg);

BS: Biomassa da folha com base na matéria seca (kg)

AF: Área foliar total da árvore ($m^2 \text{ árv}^{-1}$);

BS_t: Biomassa total das folhas da árvore com base na matéria seca ($kg \text{ árv}^{-1}$);

$\sum AF$: Somatório da área foliar total de cada árvore na parcela ($m^2 \text{ árv}^{-1}$);

APC: Área da parcela.

3.7.2. Urucum

Dados de área foliar, área foliar específica e índice de área foliar foram obtidos com o intuito de realizar a avaliação das adaptações da copa do urucuzeiro frente aos diferentes níveis de radiação solar. Para obter os parâmetros citados anteriormente foram contados em campo o número de folhas da copa das árvores sendo medido

o tamanho da folha média expandida (largura e comprimento) com o auxílio de uma régua graduada (cm). Além disso foram coletadas 15 folhas por tratamento as quais foram levadas ao laboratório de Ecofisiologia Vegetal e Silvicultura - LEFS-ESALQ/USP. No laboratório todas as folhas coletadas foram manipuladas com auxílio de um scanner Genius colorpage®. Posteriormente, foi utilizado o software FV2200 que processou as imagens escaneadas calculando-se a área de cada folha. Por fim utilizando a equação 6 realizou o cálculo da área foliar de cada planta.

$$\text{Equação 6: } AF = (N \times F_m) \times K$$

Onde:

N: número de folhas do urucuzeiro;

Fm: área da folha média corrigida pelo fator K (0,7114);

O valor de K foi obtido experimentalmente, sendo ele a razão entre a área obtida pelo cálculo do comprimento e largura (área do retângulo) dividido pela área real obtida com o escâner.

O índice de área foliar dos urucuzeiros foi então calculado dividindo-se sua área foliar pela área de projeção da copa, sendo ela considerada circular. A área foliar específica (AFE - m².folha.kg⁻¹) foi calculada pelo método de pesagem de área de folhas conhecida e da massa seca total das folhas. As Quinze folhas, citadas anteriormente, foram acondicionadas em uma estufa de circulação de ar forçada a 65°C até atingirem peso constante. Elas foram pesadas utilizando uma balança eletrônica de precisão, modelo max labor ARD110. Por fim a área foliar específica do urucuzeiro foi calculada dividindo-se a área da folha por sua massa seca.

3.8. Dados micrometeorológicos

3.8.1. Dados coletados

A Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi conta com o funcionamento contínuo de uma estação meteorológica da marca Campbell Scientific®. Nessa estação há sensores de radiação solar (global), pluviosidade, temperatura e velocidade dos ventos. A estação está programada para gravar os dados em um data logger a cada 30 min. Estes dados foram utilizados para a caracterização das condições climáticas às quais as plantas a pleno sol estão submetidas (Figura 6).

De forma concomitante foi instalada uma estação meteorológica e data logger da marca Delta T® Devices a qual conta com sensores do tipo Tubo Solarímetro (Eijkelkamp) a ela acoplados (Figura 7) capazes de mensurar a irradiância total disponível (KW.m⁻²). Sete desses sensores foram instalados no bloco 2, sendo eles posicionados nas entre linhas do ano 1-2; 3-4; 5-6; 7-7 no OL, e no OC entre os anos 1-2; 3-4. Estes sensores são recomendados quando há presença de radiação desuniforme, como abaixo de folhagens ou em casa de vegetação dado seu comprimento de quase um metro. O sensor consiste em uma termopilha com sensibilidade à radiação difusa de 15mV /KW m⁻², sua faixa espectral é de 0.4 - 2.2 µm, acurácia de + 10% (relativo ao espectro solar, ângulo solar), com uma faixa ótima de temperatura variando de -30 a 60 °C. Possui ainda, tamanho 970mm de comprimento total, 26mm de diâmetro (Delta-T® Devices, 1993, solarimeter tubes, Eijkelkamp). Dessa forma, com auxílio dos dados de radiação transmitida pelo dossel dos eucaliptos em conjunto com a radiação global, foi possível calcular em porcentagem a disponibilidade de radiação para a cultura do urucum utilizando-se a Equação7 abaixo.

$$\text{Equação 7: } IR = Q_t / Q_g \times 100$$

Onde:

IRd: radiação disponível em porcentagem;

Qt : Radiação transmitida pelo dossel – medida pelo tubos solarímetros;

Qg : Radiação global – medida pela estação central, pleno sol. Nam pulvinar sodales neque vitae tempus.

Figura 6: Estação meteorológica da marca Campbell Scientific® presente na Estação experimental de Anhembi. Representação gráfica da pluviosidade média anual no local de estudo nos anos de 2013 a 2018.

Figura 7: Sensor tubo solarimetro (Eijkelkamp), utilizado para medição da radiação global que chega no sub boque do plantio de eucalipto (A); estação meteorológica instalada no experiemtno, marca DeltaT® Devices(B); exemplo com especificações do sensor utilizado.

3.8.2. Dados estimados

Os dados de radiação solar disponível aos eucaliptos dos Ano 2 ao Ano 7 junto com a cultura do urucuzeiro foram estimados utilizando o modelo proposto por Goudriaan (1977). Este foi adaptado por Bernardes et al. (1998) para avaliação da disponibilidade de radiação solar às culturas localizadas em interfaces. Esse modelo tem a finalidade de estimar a radiação disponível a cultura intercalar entre dois reques de árvores. Trabalhos como o de Righi e Bernardes (2008) demonstraram bons resultados utilizando esse modelo (Equação 8). Os resultados da disponibilidade de radiação (Ir) foram relacionados com o crescimento dos eucaliptos.

$$\text{Equação 8: } Ir = 1/2 * \text{sen}(\arctg((d - c_w * c_w / d) / Hr + D) + 1) * I_0$$

Onde:

Ir: Irradiância diária (MJ.m-2) que é incidida na parte superior da copa das culturas de sub-bosque;

d: Distância entre renques (m);

I0: Irradiância diária (MJ. m-2) incidida na copa nas árvores;

Cw: raio da copa (m);

D: declividade do terreno em radianos;

Hr: Altura relativa das árvores (m), obtida pela formula:

$$Hr = Ha - Hci$$

Onde:

Ha: Altura das árvores (m);

Hci: altura da cultura intercalar.

3.9. Análise dos resultados

Os dados foram analisados por meio do software R studio (ALLAIRE, 1993) e Excel. Foram plotados gráficos de boxplot, contendo média, desvio padrão, mediana, além de gráficos de linhas de tendência. Para os dados do urucuzeiro foi realizado análise de regressão em função da disponibilidade de radiação, além de boxplot e linhas de tendência. Os valores de correlação e do coeficiente de determinação (R^2) foram considerados para verificar o ajuste do aos dados coletados.

4. RESULTADOS

4.1. Eucalipto

4.1.1. Diâmetro à Altura do Peito – DAP

Os eucaliptos foram avaliados, de 2013 a 2019. Nesse período o DAP apresentou grande variação entre os tratamentos, OL, OC e Monocultivo, e entre as linhas de plantio, Ano 1; Ano2, até o ano 7, na mesma idade. No início, o Ano 1 nos tratamentos OC e OL foram superiores ao Monocultivo. Posteriormente essa situação se inverte a partir do Ano 2 quando o Monocultivo é superior ou igual aos outros tratamentos em todas as linhas de plantio

Em 2019 foi observado que os tratamentos OC e OL apresentaram valores de DAP cerca de 1,32 e 1,39 vezes maior que o Monocultivo do Ano 1. No Ano 2, o Monocultivo foi ligeiramente superior em uma ordem de 1,05 e 1,04 vezes maior que OC e OL, respectivamente. No Ano 3, Ano 4, Ano 5, Ano 6 e Ano 7, o Monocultivo foi superior ao OC, e superior ou igual ao OL (figura 8). Ainda pode ser observado na figura 9 que a variável DAP mostrou grande valor de desvio padrão em conjunto com a presença de muitos outlier, mostrando uma desuniformidade no plantio. De acordo com o valor de P nem todas as médias diferiram estatisticamente.

Na figura 10 é possível observar as diferentes linhas de plantio com mesma idade. Sendo assim, o Ano 1 com um ano de idade já demonstrava valores superiores ao Ano 2, Ano 3 até o Ano7, na mesma idade. Com dois, três, quatro, cinco, seis e sete anos de idade o mesmo padrão se mantém, em que as linhas plantadas primeiramente, Ano 1, sempre são superiores em diâmetro, que as demais. Porém podemos observar uma leve tendência de que as outras linhas de plantio alcancem o Ano1.

Devido ao pouco crescimento das árvores do Ano 3 e Ano 4, com um ano de idade, não foi possível realizar o inventário florestal nesta época. Portanto, a fim de comparar as linhas de plantio, com a mesma idade, observaremos a partir dos dois anos de idade. O Ano 1 com dois anos de idade foi cerca de 1,5; 2,2; 2,7 vezes maior que o Ano 2 no Monocultivo, OC e OL, respectivamente. Ao compararmos o Ano 1 ainda com dois anos de idade, com os Ano 3, Ano 4, Ano 5 e Ano 6 os valores de diâmetros foram em média 1,5; 2,1 e 2,05 vezes maiores para o Ano 1 no Monocultivo, OC (sendo o OC considerado somente até o ano 4) e OL respectivamente. Por fim, ao compararmos o Ano1 com o Ano 2, ambos com 6 anos de idade foi possível observar que o Ano 1 foi 1,1; 1,6 e 1,7 vezes maior que o Ano2 no Monocultivo, OC e OL respectivamente (figura10).

Figura 8: Gráficos de tendências para DAP, inventariados nos anos de 2013 a 2019, com suas sucessivas linhas de plantio (Ano 1; Ano 2; Ano 3; até o Ano 6) compondo um sistema agroflorestal em ondas, e os três tratamentos Monocultivo (linha azul com triângulos), Onda Curta (linha laranja com X) e Onda Longa (linha cinza claro com losangos).

Figura 9: Boxplot demonstrando o DAP do Ano 1 ao Ano6, em 2019. Ponto no centro da caixa representa a média, linha horizontal a mediana, barra de erros com desvio padrão e outlier. Letras iguais representam médias estatisticamente iguais de acordo com o valor de P. Ano1: $5,16 \times 10^{-139}$; Ano 2: 0,029; Ano3: $4,07 \times 10^{-50}$; Ano4: $3,17 \times 10^{-129}$; Ano 5: 0,19; Ano6: 0,19.

Figura 10: Diâmetro do tronco a altura do peito do experimento SAF Onda, em que gráficos mostram a idade em anos das diferentes linhas de plantios, Ano 1 ao ano 7 com um ano de idade; Ano 1 ao Ano 6 com dois anos de idade; e assim sucessivamente até o Ano 1 comparado ao Ano 2 ambos com 6 anos de idade. Barras azuis são o tratamento Monocultivo, as laranjas são o OC e as cinzas são o OL.

4.1.2. Altura da árvore

Modelos de regressão foram ajustados para a altura, sendo utilizado o diâmetro como variável independente. Dentre os modelos testados o que melhor ajustou aos dados foi o de Stone (M5), de acordo com o R^2 e o erro padrão e seu gráfico de dispersão (tabela 5, figura 11).

Tabela 5: Tabela com modelos ajustados para altura em função do DAP. Sendo observado os valores de β_0 , β_1 e β_2 ; além dos valores de R^2 e o erro padrão.

Sigla	Modelo	β_0	β_1	R^2	R_{ajust}	%Sxy	Autor
M1	$H = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \varepsilon$	2,244	13,45	0,77	0,77	23,08	Campos e Leite (2002)
M2	$H = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP^2 + \varepsilon$	8,326	420,83	0,68	0,68	27,11	Azevedo et al. (1999)
M3	$H = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(DAP) + \varepsilon$	37,11	9,372	0,70	0,70	6,49	Henricksen
M4	$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \left(\frac{1}{DAP}\right) + \varepsilon$	3,012	-0,032	0,67	0,67	13,53	Curtis
M5	$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log(DAP) + \varepsilon$	4,588	1,984	0,87	0,87	8,40	Stone
M6	$\frac{DAP}{\sqrt{H}} = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \varepsilon$	$1,05 \times 10^{-2}$	$1,5 \times 10^{-1}$	0,87	0,87	11,64	Azevedo et al (1999)

Figura 11: Regressão linear entre diâmetro e altura modelo M5, equação que melhor se ajustou aos dados.

A altura seguiu a mesma tendência do diâmetro, apresentando grande variação entre os tratamentos, Monocultivo, OC e OL e entre as linhas de plantio. Em 2019 foi constatado que no Ano 1 do OC e OL foram cerca de 1,2 e 1,13 vezes maior que o Monocultivo. No Ano 2 a situação se inverte, nesta linha de plantio o Monocultivo foi cerca de 1,04 vezes maior que o OC e o OL. No Ano 3 a mesma tendência se manteve onde o Monocultivo foi superior. No Ano 4, o Monocultivo foi cerca de 1,1 vezes maior que o OC, porém o OL foi cerca de 1,01 maior que

o Monocultivo. No Ano 5, Ano 6 e Ano 7 o OL obtiveram valores iguais ao Monocultivo; e o OC não possui tais linhas pois seu fechamento se dá no Ano 4 (figura 12). Na figura 13 é possível enxergar o desvio padrão e os outlier, que demonstram a desuniformidade no plantio. Médias com letras iguais não diferiram estatisticamente de acordo com o valor P.

Na figura 14 temos a comparação das linhas de plantio com a mesma idade. Com dois anos de idade o Ano 1 foi cerca de 1,5; 2,0 e 2,4 vezes maior que o Ano 2, nos tratamentos Monocultivo, OC e OL, respectivamente. O Ano 1, com dois anos de idade, foi em média cerca de 1,5, 1,9 e 1,9 vezes maior do que o Ano 3, o Ano 4, o Ano 5 e o Ano 6 nos tratamentos Monocultivo, OC e OL, respectivamente. Por fim, ao compararmos o Ano 1 com o Ano 2 ambos com 6 anos de idade observamos que o Ano 1 foi cerca de 1,1; 1,5 e 1,5 vezes maior que o ano 2, nos tratamentos Monocultivo, OC e OL, respectivamente (figura 14).

Figura 12: Gráficos de tendências para Altura, inventariados nos anos de 2013 a 2019, com suas sucessivas linhas de plantio (Ano 1; Ano 2; Ano 3; até o Ano 6) compondo um sistema agroflorestal em ondas, e os três tratamentos Monocultivo (linha azul com triângulos), Onda Curta (linha laranja com X) e Onda Longa (linha cinza claro com losangos).

Figura 13: Boxplot demonstrando o Altura do Ano 1 ao Ano7, em 2019. Ponto no centro da caixa representa a média, linha horizontal a mediana, barra de erros com desvio padrão e outlier. Médias seguidas por mesma letra não diferiram estatisticamente de acordo com o valor de P: Ano1: $5,16 \times 10^{-139}$; Ano2: 0,02; Ano3: $4,07 \times 10^{-50}$; Ano4: $3,17 \times 10^{-129}$; Ano5: 0,19; Ano6: 0,19.

Figura 14: Altura do experimento Saf Onda, em que gráficos mostram a idade em anos das diferentes linhas de plantios, Ano 1 ao ano 7 com um ano de idade; Ano 1 ao Ano 6 com dois anos de idade; e assim sucessivamente até o Ano 1 comparado ao Ano 2 ambos com 6 anos de idade. Barras azuis são o tratamento Monocultivo, as laranjas o OC e as cinzas o OL..

4.1.3. Volume do tronco

O volume comercial para madeira serrada foi obtido através do ajuste de 4 modelos volumétricos, sendo escolhido o que melhor ajustou aos dados de acordo com o maior valor de R^2 ajustado, menor erro padrão e melhor ajuste dos gráficos de dispersão e dos resíduos. Dessa forma o modelo que melhor ajustou aos dados foi o M4 de Koperzky-Gehrhardt (Tabela 6, figura 15 e 16)

Tabela 6: Tabela contendo valores de : Tabela contendo valores de betas, R^2 , R^2 ajust e erro padrão para 5 modelos volumétricos.

Sigla	β_0	β_1	R^2	R^2_{ajust}	Sxy	Autor
M1	-0,67	1,03	0,87	0,86	24,4	Spurr
M2	0,015	0,493	0,7	0,69	10,5	Honner
M3	0,015	0,49	0,7	0,69	10,5	Spurr
M4	-0,43	3,91	0,95	0,95	4,02	Koperzky-Gehrhardt

Figura 15: Grafico de ajuste dos modelos aos dados de Volume individual por DAP.

Figura 16: Grafico da dispersão dos resíduos por modelo.

O volume do tronco das árvores foi calculado com base em madeira serrada utilizando-se o modelo M4. Dessa forma, observamos que em 2019 o OL do Ano 1 foi superior aos outros tratamentos, OC e Monocultivo. Nas outras linhas de plantio, Ano 2, Ano 3 até o ano 6 percebemos que o Monocultivo foi superior ao OC. O OL apresentou valores sempre próximos ao Monocultivo ou até mesmo superiores, como é o caso do Ano 4.

No Ano 1 o OC e o OL foi cerca de 2,1 e 2,5 vezes maior que o Monocultivo, respectivamente. No Ano 2 o cenário se inverte, onde o Monocultivo é cerca de 1,2 vezes maior que o OC e o OL. Nos anos seguintes o Monocultivo em média foi igual ao OC e OL, com exceção do Ano 4 em que o OL foi ligeiramente superior, 1,1 vezes maior que o Monocultivo daquele ano (figura 18). Na figura 19 observamos a presença de alto desvio padrão e um número grande outlier.

Ao comparar o volume do tronco nas linhas de plantio (Ano 1, Ano 2, Ano3 até o Ano 7) com a mesma idade em anos, observamos que o Ano 1 se sobressai. Aos 2 anos de idade o Ano1 foi cerca de 3,0; 8,5 e 12,9 vezes maior que o Ano 2 nos tratamentos Monocultivo, OC e OL, respectivamente. Ao comparar com o Ano3 observamos que o Ano 1 foi cerca de 3,2; 8,5 e 7,4 vezes maior, nos tratamentos Monocultivo, OC e OL, respectivamente. Ao comparar com o ano 4 a proporção manteve, onde que o Ano 1 foi cerca de 4,0; 10,9 e 7,6 vezes maior, nos tratamentos Monocultivo, OC e OL. O Ano 1 comparado ao Ano 5 foi cerca de 4,2 e 9,7 vezes maior nos tratamentos Monocultivo e OL, respectivamente. Por fim o Ano 1 foi 6,5 e 11,5 vezes maior que o Ano 6, no Monocultivo e OL. Agora, observando o final da rotação, aos seis anos de idade, o Ano 1 foi cerca de 1,2; 3,5 e 3,9 vezes maior que o Ano 2, nos tratamentos Monocultivo, OC e OL, respectivamente (figura 20).

Figura 17: Variação anual do volume do tronco, inventariados nos anos de 2013 a 2019, com suas sucessivas linhas de plantio (Ano 1; Ano 2; Ano 3; até o Ano 6) compondo um sistema agroflorestal em ondas, e os três tratamentos: Monocultivo (linha azul), Onda Curta (linha laranja) e Onda Longa (linha cinza claro).

Figura 18: Boxplot demonstrando o Altura do Ano 1 ao Ano6, em 2019. Ponto no centro da caixa representa a média, linha horizontal a mediana, barra de erros com desvio padrão e outlier, letras diferentes representam diferença estatística entre as médias de acordo com o valor de P: ano 1 $5,16 \times 10^{-139}$; ano2 0,029; ano 3 $4,0 \times 10^{-50}$; ano 4 $3,17 \times 10^{-129}$; ano 5 0,19; ano 6 0,19.

Figura 19: Volume do tronco do experimento Saf Onda, em que gráficos mostram a idade em anos das diferentes linhas de plantios, Ano 1 ao ano 7 com um ano de idade; Ano 1 ao Ano 6 com dois anos de idade; e assim sucessivamente até o Ano 1 comparado ao Ano 2 ambos com 6 anos de idade. Barras azuis são o tratamento Monocultivo, as laranjas o OC e as cinzas o OL.

4.1.4. Biomassa vegetal

4.1.4.1. Modelos de biomassa

O melhor ajuste dos modelos foi selecionado de acordo com os valores de R^2 , erro padrão e o erro padrão percentual. Sendo assim, foi observado que os Modelos M2 e M4 foram os que melhores ajustaram aos dados.

Tabela 7: Tabela apresentando os quatro modelos utilizados para estimar biomassa dos galhos e folhas nos terços superior, médio e inferior, área foliar e biomassa de tronco, nos três tratamentos OC, OL e Monocultivo. Pode ser observado os valores de β_0 e β_1 , além do R^2 , erro padrão e erro padrão percentual.

Biomassa do tronco						
Tratamento	Modelos	β_0	β_1	R^2	Sxy	%Sxy
Monocultivo	M1	10,384	137,674	0,9686	12,37	8,014574
	M2	12,001	1,5017	0,96239	10,16	6,582706
	M3	-15,34	4822,14	0,9619	13,62	8,824454
	M4	5425	2,1265	0,89333	14,57	9,439963
OC	M1	2,488	134,229	0,9928	10,26	5,583654
	M2	9,64	1,6054	0,99	13,9	5,530321
	M3	-46,863	5127,413	0,9898	12,25	5,530321
	M4	10260	2,626	0,99691	9,815	5,338757
OL	M1	10,83	128,49	0,9285	25,71	12,12505
	M2	12,5533	1,4717	0,92908	23,18	10,93188
	M3	-46,97	5075,56	0,9136	28,27	10,93188
	M4	6830,65	2,3368	0,83036	30,53	14,3982
Área foliar total						
Tratamento	Modelos	β_0	β_1	R^2	Sxy	%Sxy
Monocultivo	M1	8,2503395	27,734	0,5637	5,938	31,5544
	M2	12,9731	0,6446	0,63951	5,209	27,68051
	M3	3,83717	425,745	0,3763	7,099	27,68051
	M4	296,8309	1,6455	0,51307	7,188	38,19687
OC	M1	6,791	27,331	0,9471	3,845	15,65381
	M2	9,5802	0,9392	0,97706	4,048	16,48027
	M3	-3,354	620,705	0,7315	8,66	16,48027
	M4	1485,972	2,701	0,92906	8,222	33,47351
OL	M1	15,784	24,165	0,703	7,676	21,67383
	M2	14,1182	0,7601	0,77426	7,815	22,06631
	M3	5,22	591,71	0,5268	9,689	22,06631
	M4	534,2404	1,8257	0,67427	9,827	27,74736

Biomassa de Galho total						
Tratamento	Modelos	β_0	β_1	R^2	Sxy	%Sxy
Monocultivo	M1	1,235	12,779	0,724	1,964	25,27697
	M2	3,2984	0,9627	0,74379	2,09	34,23776
	M3	-1,055	203,467	0,5423	2,53	41,44571
	M4	2156,276	3,596	0,95935	2,298	37,64515
OC	M1	-0,3974	17,3231	0,9314	2,794	72,07478
	M2	1,8269	1,5493	0,9640	2,1440	19,7293
	M3	-5,7080	368,5310	0,6133	6,6350	61,0559
	M4	1192,6780	3,8710	0,6114	1,6060	14,7786
OL	M1	4,3460	13,1340	0,6864	4,3300	14,3246
	M2	32984,0000	0,9626	0,7438	2,09	34,2376
	M3	0,0159	293,9396	0,4055	5,9610	39,6972
	M4	2156,116	3,595	0,95935	2,298	37,64498
Biomassa folha inferior						
Tratamento	Modelos	β_0	β_1	R^2	Sxy	%Sxy
Monocultivo	M1	0,2302	0,8751	0,214	0,3538	62,76883
	M2	0,3861	0,6567	0,30187	0,3463	61,43823
	M3	0,07906	13,77162	0,1327	0,3717	65,94453
	M4	20,019	2,152	0,34986	0,3729	66,15742
OC	M1	0,2733	0,5095	0,6783	0,2036	33,67454
	M2	0,29983	0,7338	0,80794	0,1799	29,75466
	M3	0,1676	9,7163	0,3216	0,2956	48,89093
	M4	6,1197	1,4826	0,4462	0,3002	49,65175
OL	M1	0,73226	0,09403	0,04517	0,2318	28,66486
	M2	0,6664	0,1684	0,08181	0,2272	28,09602
	M3	0,785	0,4626	0,00144	0,237	29,3079
	M4	0,85194	0,03433	0,00061	0,2371	29,32027
Biomassa folha médio						
Tratamento	Modelos	β_0	β_1	R^2	Sxy	%Sxy
Monocultivo	M1	0,1917	1,0163	0,4216	0,2803	48,41477
	M2	0,3879	0,6957	0,48363	0,28	0,4171134
	M3	-0,1664	21,1834	0,6217	0,2267	39,15672
	M4	33,1356	2,4205	0,56338	0,2322	40,10671
OC	M1	0,04236	0,94966	0,6403	0,4109	62,26806
	M2	0,1635	1,283	0,71837	0,4216	63,88954
	M3	-0,3338	22,0926	0,5163	0,4764	72,19397
	M4	41,2	2,4	0,2300	0,6400	96,9000
OL	M1	0,3509	0,8087	0,3166	0,5287	52,45502

	M2	0,3452	0,8815	0,41039	0,5215	51,74067
	M3	-0,03359	20,40892	0,2435	0,5563	55,19336
	M4	25,085	2,167	0,36255	0,5558	55,14375
Biomassa folha superior						
Tratamento	Modelos	β_0	β_1	R ²	Sxy	%Sxy
Monocultivo	M1	0,2777	1,1636	0,6833	0,1963	27,22314
	M2	0,44955	0,77198	0,83138	0,1668	23,13204
	M3	0,1957	14,9295	0,2812	0,2957	41,00806
	M4	8,5451	1,4715	0,41507	0,3	41,60439
OC	M1	0,3044	1,2989	0,7497	0,4391	38,21658
	M2	0,474	0,9015	0,73368	0,4662	40,5752
	M3	-0,3317	32,9207	0,7489	0,4398	38,2775
	M4	94,9265	2,9053	0,85248	0,4209	36,63256
OL	M1	0,4312	1,2896	0,5447	0,5625	38,03674
	M2	0,5114	0,8792	0,52468	0,5755	38,91581
	M3	-0,4891	38,5635	0,669	0,4796	32,43097
	M4	92,0456	2,7989	0,72446	0,4741	32,05906
Biomassa folha total						
Tratamento	Modelos	β_0	β_1	R ²	Sxy	%Sxy
Monocultivo	M1	0,6996	3,055	0,725	0,4685	25,13832
	M2	1,2288	0,7077	0,74524	0,4176	22,40717
	M3	0,1084	49,8845	0,5786	0,5799	31,11571
	M4	53,5471	2,0116	0,7072	0,5816	31,20693
OC	M1	0,6201	2,758	0,9654	0,3111	12,89011
	M2	0,92788	0,95275	0,97117	0,388	16,07639
	M3	-0,4978	64,7296	0,8066	0,7355	30,4747
	M4	195,5623	2,9034	0,8610	0,6658	27,58675
OL	M1	1,5143	2,1923	0,5404	0,9639	29,24986
	M2	1,3965	0,7164	0,59172	0,9373	21,73939
	M3	0,2623	59,435	0,5202	0,9848	29,88408
	M4	54,6695	1,8879	0,61359	0,9876	29,96905

4.1.4.2. Biomassa vegetal do tronco, galhos e folhas

A coleta de dados de biomassa foi realizada no ano de 2019 na linha de plantio do Ano 1. Sendo assim, observaram-se as diferenças entre os tratamentos Monocultivo, OC e OL, para biomassa de tronco, galhos e folhas nos terços inferior, médio e superior. De forma geral a maior biomassa de tronco está ligada a maior biomassa foliar e área foliar. Para o compartimento galho seu maior valor foi observado no terço médio. No compartimento folha o terço superior foi onde se encontrou os maiores valores. Dentre os tratamentos, em todas as características avaliadas, o OL foi superior, seguido do OC e por fim o Monocultivo. A densidade da madeira não apresentou diferenças entre os tratamentos sendo no Monocultivo 0,434; o OC 0,432; e o OL 0,439.

A biomassa de tronco apresentou valores próximos para o OC e OL e bem inferiores no Monocultivo, sendo 153,01; 147,5; 65,8 kg arv-1, no OL; OC e Monocultivo, respectivamente. Sendo assim, o OC e OL foram cerca de 2,2 e 2,3 vezes superior ao Monocultivo (Figura 21 A). A biomassa de galhos no terço inferior foi bem semelhante entre os tratamentos. No terço médio esse cenário altera, em que nele está concentrada a maior parte da biomassa de galhos, sendo o OL o que possui maior valor, cerca de 5,7 Kg.árv-1, seguido do OC com 2,9 Kg.árv-1 e por fim o Monocultivo com 1,3 Kg.árv-1. No terço médio os tratamentos OC e OL foram cerca de 2,2 e 4,3 vezes superiores ao Monocultivo, respectivamente. A biomassa de galhos no terço superior demonstrou sinais de redução principalmente nos valores do OL, porém ainda sim os tratamentos OC e OL foram cerca de 2,2 e 3,1 vezes superior ao Monocultivo respectivamente (Figura 21 B). A biomassa foliar se comportou semelhante a biomassa de galhos, onde que o tratamento OL apresentou os maiores valores, seguido do OC e por fim o Monocultivo. No terço inferior os tratamentos OC e OL foram cerca de 1,5 e 1,6 vezes superior ao Monocultivo. No terço médio eles foram 1,5 e 2,3 vezes superiores. Por fim no terço superior foi cerca de 1,7 e 2,4 vezes superior ao Monocultivo, respectivamente (Figura 21 C). Para área foliar o OL e OC foram cerca de 1,3 e 1,7 vezes superior ao Monocultivo (Figura 21 D).

A densidade de copa ($\text{m}^2.\text{m}^{-3}$) foi calculada dividindo-se a área de folhas (m^2) pelo seu volume da copa da árvore (m^3). Dessa forma nos três tratamentos do ano 1 foi observado que o Monocultivo obteve maior densidade de copa. O Monocultivo apresentou $0,59 \text{ m}^2/\text{m}^3$, o OC $0,33 \text{ m}^2/\text{m}^3$ e o OL $0,38 \text{ m}^2/\text{m}^3$. O maior IAF obtido foi no Monocultivo 2,13 seguido do OL com 1,99 e por último o OC com 1,40.

Figura 20: Biomassa do tronco (A) e biomassa de galhos totais, no terço inferior, médio e superior (B), biomassa de folhas totais, no terço inferior, médio e superior (C), Área foliar (D), Índice de área foliar (IAF)(E), Densidade de copa (F), no experimento SAF Onda. Em azul o tratamento Monocultivo, em laranja o OC e em cinza o OL.

4.1.4.3. Morfologia de copa dos eucaliptos

Para a altura de copa, pudemos observar que ela não seguiu uma tendência de crescimento fixa, tendo anos que foi maior e com uma abrupta redução no próximo ano. No Ano 1 o OL e OC foi superior ao Monocultivo, no Ano 2 o Monocultivo foi superior ao OC e OL. Entretanto, no Ano 3, Ano 4 e Ano5 o OL foi superior ao Monocultivo e ao OC. Por fim no Ano 6 o Monocultivo obteve os maiores resultados (figura 22). No Ano 1 o OC e OL, em 2019, foi cerca de 1,1 e 1,2 vezes maior que o Monocultivo, respectivamente. Nos Anos2; 3 e 4 o OC foi em média cerca de 1,2 vezes menor que o Monocultivo. O OL nos Anos 3; 4 e 5 foi superior ao Monocultivo em 1,1 vezes mais, entretanto nos Anos 2; 6 e 7 o Monocultivo foi superior 1,1 veze ao OL.

Figura 21: Gráficos de tendências para Altura de copa, inventariados nos anos de 2013 a 2019, com suas sucessivas linhas de plantio (Ano 1; Ano 2; Ano 3; até o Ano 6) compondo um sistema agroflorestal em ondas, e os três tratamentos Monocultivo (linha azul com triângulos), Onda Curta (linha laranja com X) e Onda Longa (linha cinza claro com losangos).

O volume de copa seguiu uma tendência diferente da observado para altura de copa. Nas sucessivas linhas de plantio, no inventario de 2019 o OL foi superior ao OC que por sua vez foi superior ao Monocultivo. Em todas as linhas de plantio foi observado crescimento no último inventário, com exceção do ano 1 que nos tratamentos OC e OL apresentou uma queda abrupta em 2019. Em média o OL e o OC nos Ano 1, Ano 2, Ano 3 e Ano 4 (fechamento do OC) e para o OL até o Ano 7, foi cerca 1,9 e 1,9 vezes maior que o Monocultivo, respectivamente (figura 23).

A porcentagem de copa seguiu um comportamento similar ao volume de copa, onde o OC e OL foi superior ao Monocultivo no inventário de 2019. Entretanto, diferente do volume de copa a porcentagem com o passar dos anos foi decaindo, exceto em 2019 quando houve aumento. A porcentagem de copa ao longo dos anos e das linhas de plantio apresentou diferença entre os tratamentos. No Ano 1 o OC e OL e Monocultivo. No Ano 2, Ano 3 e Ano 4 o OC foi menor que o Monocultivo 1,1 vezes. Já o OL no ano 2 foi menor cerca de 1,03 vezes e nos anos seguintes, Ano 3, Ano 4 e Ano 5 ele foi maior cerca de 1,1 vezes. Nos Anos 6 e Ano 7 o OL foi menor 1,05 vezes que o Monocultivo (figura 24).

Figura 22: Gráficos de tendências para Volume de Copa, inventariados nos anos de 2013 a 2019, com suas sucessivas linhas de plantio (Ano 1; Ano 2; Ano 3; até o Ano 6) compondo um sistema agroflorestal em ondas, e os três tratamentos Monocultivo (linha azul com triângulos), Onda Curta (linha laranja com X) e Onda Longa (linha cinza claro com losangos).

Figura 23: Gráficos de tendências para Porcentagem de Copa, inventariados nos anos de 2013 a 2019, com suas sucessivas linhas de plantio (Ano 1; Ano 2; Ano 3; até o Ano 6) compondo um sistema agroflorestal em ondas, e os três tratamentos Monocultivo (linha azul com triângulos), Onda Curta (linha laranja com X) e Onda Longa (linha cinza claro com losangos).

4.2. Estimativa de radiação entre os renques de eucalipto

No renque de 42 m - OL, foi estimada a radiação para cada uma das idades do Ano 1, isto é, Ano 1: com 2 anos de idade, com três anos de idade, e assim sucessivamente até os 7 anos. A altura média das árvores, o diâmetro médio das copas e as alturas médias da cultura intercalar, utilizados no modelo para cada idade foi respectivamente: 20,03m e 3,5m e 4,9m, com dois anos de idade; 22,13m, 3,6m e 8,3m; com três anos; 24,6m; 3,91m e 13,3m, com quatro anos; 26,20m, 3,6m e 15,4m com cinco anos de idade; 26,3m, 3,2m e 15,8m, com seis anos; 27,2m, 3,5m e 16,4m com sete anos. . A radiação estimada foi menor próximo as árvores e à medida que se afastou rumo ao centro do renque obteve os maiores valores de radiação. Em todos os anos, de 2014 a 2019, com a linha de árvores do Ano 1 variando de 2 a 7 anos de idade, foi observado valores de radiação entre 40% próximo as árvores e no centro do renque valores de 80% da radiação global (figura 25).

Ao observarmos no renque de 42 metros a disponibilidade de radiação em 2019 em função das linhas de plantio (Ano 2; Ano 3; Ano 4; Ano 5; Ano 6 e Ano 7). Para o ajuste do modelo foi utilizado a altura e diâmetro de copa do ano 1 em 2019, 27,2m e 3,5m, respectivamente. A altura da cultura intercalar foi considerado o inventário de 2019 (Ano2, 16,4m; Ano3, 14,7m; ano 4, 13,19m; Ano 5, 11,6; Ano 6, 9m; e Ano 7, 6,6m). Observou-se que a radiação máxima no meio do renque foi de 80% e nas distâncias próximas as árvores foi de 40% (figura 26).

Figura 24: Gráficos com estimativa de radiação entre renques de eucalipto com 42m, utilizando o modelo de Goudriaan (1977) nos anos de 2014 a 2019 (com a idade do Ano1 variando de 2 a 7 anos). No eixo das abscissas distância entre os renques de eucalipto do ano 1 e no eixo das ordenadas a radiação estimada em porcentagem

Figura 25: Gráficos com a estimativa de radiação utilizando o modelo de Goudriaan (1977) no ano de 2019. Neles são mostrados a disponibilidade de radiação proporcionada pelo ano 1 para os anos 2; ano 3; ano 4; ano 5; ano 6 e ano 7.

No tratamento com renque de 24 metros (OC) levando em consideração as diferentes idades do Ano 1 (dos 2 aos 7 anos de idade) Foi considerado no modelo a altura média das árvores, diâmetro médio da copa e altura média da cultura intercalar. Portanto utilizou-se 19,3m, 3,5m, e 6m, respectivamente, com dois anos de idade do Ano 1; com três anos 21,1m, 3,7m, e 9,4m, respectivamente; com quatro anos, 23,1m, 3,8m, e 13,5m, respectivamente; com cinco anos 24,6m, 3,7m, e 15,5m; com seis anos 25,05m, 3,5m, e 15,4m; por fim, aos sete anos 25,9m, 3,8m, 16,3m, respectivamente.

A radiação estimada seguiu um padrão muito semelhante ao renque de 42m. Ela variou entre 30 e 80%, sendo que próximo às árvores foram encontrados os menores valores 30% e com a aproximação do meio do renque os níveis de radiação foram aumentando 80%. Entretanto nos anos de 2015, 2016 e 2017, época em que o Ano 1 se encontrava com 3; 4 e 5 anos de idade, a radiação próxima às árvores foram inferiores a 20% (figura 27).

Ao comparar a radiação transmitida pelo Ano 1 às outras linhas de plantios, Ano 2, Ano 3 e Ano 4, percebemos que a radiação também se comportou de forma semelhante. Em todas linhas de plantio a radiação variou entre 30% e 60%, sendo ela menor próximo as árvores (0,3%) e maior à medida que rumo ao meio do renque (60%)(figura28).

Figura 26: Gráficos com estimativa de radiação entre renques de eucalipto com 25m utilizando o modelo de Goudriaan (1977) nos anos de 2014 a 2019 (com a idade do Ano1 variando de 2 a 7 anos). No eixo X distância entre os renques de eucalipto do ano 1 e no eixo Y a radiação estimada em porcentagem.

Figura 27: Gráficos com a estimativa de radiação utilizando o modelo de Goudriaan (1977) no ano de 2019. Neles são mostrados a disponibilidade de radiação proporcionada pelo ano 1 para os anos 2; ano 3; ano 4.

4.3. Urucum

4.3.1. Radiação disponível à cultura intercalar

As coletas de dados de radiação foram executadas em conjunto com o plantio dos urucuzeiros, sendo elas realizadas durante 12 meses sendo divididas em dois semestres. A coleta se deu nas entrelinhas do plantio dos eucaliptos, por isso, cada tratamento foi nomeado com o valor numérico referente à cronologia de plantio. Sendo assim, tratamento OC1-2 é referente à radiação disponível na entrelinha do Ano 1 e Ano2 no tratamento OC dos eucaliptos. O OC3-4 é referente à entrelinha do Ano3 e Ano4 no tratamento OC, sendo feito dessa maneira em todos os tratamentos (figura 29).

A fração da Irradiância variou pouco em função das linhas de árvores em diferentes idades, sendo observados maiores diferenças entre o primeiro e segundo semestre de observação. No primeiro semestre os tratamentos OC 1-2; OL 5-6; OL 1-2 e OC 3-4 apresentaram os menores valores de fração de irradiância, sendo elas 35,5; 35,9; 37 e 38% da IR. Além disso, o tratamento que apresentou menor disponibilidade de radiação nesse período foi o OL 3-4 com 27% da IR e o maior foi o OL7-7 com 55,8% da IR. No segundo semestre essa ordem teve pequenas alterações, onde que OC 3-4; OL-3-4;OL-5-6; OC 1-2; OL 1-2 obteve respectivamente os valores de IR de 44,9; 48,1; 51,1; 51,9 e 52,4. Neste período o maior valor foi novamente no OL 7-7 que foi observado 61,2% da IR (figura 29).

Figura 28: Fração da irradiância de acordo com cada tratamentos no 1º semestre (março a agosto) e 2º semestre (setembro a fevereiro). Cada número representa a ordem cronológica da linha de plantio: vermelho OL3-4, Azul OC3-4, Amarelo OL5-6, Verde OL1-2, Marrom OC1-2, Cinza OL7-7e preto radiação global.

4.3.2. Arquitetura de copa

Com seis meses de idade foi feita a primeira avaliação, as variáveis da copa analisadas aumentaram de acordo com o aumento da fração da Irradiância. Característica como altura de copa aumentou significativamente com a maior disponibilidade de radiação. Com 27% da IR a altura de copa encontrada foi de 0,13 m. Já sob 100% Ir (Monocultivo de urucuzeiro) a altura de copa era de 0,44m. Valores intermediários foram obtidos: 0,17m (35,9% Ir) e de 0,39m (56,1% Ir). Nos tratamentos 35,5; 37,1 e 37,7% Ir os valores destoaram dos outros. Eles se mostraram inferiores aos demais (tabela 6, figura 31A). Por fim, ao realizar análise de regressão foi obtido R^2 de 0,41 (figura 30A;30B).

Figura 29: Gráficos do primeiro semestre contendo boxplot com altura de copa em função da fração da Irradiância (27,1%= OL 3-4; 35,5%= OC 1-2; 35,9% = OL 5-6; 37,1% =OL 1-2; 37,7% = OC 3-4; 55,8% = OL 7-7; 100%= radiação global), ponto no centro da caixa refere-se a média, traço na horizontal mediana, barra de erros (A). Regressão linear altura da copa em função da fração da Irradiância, R^2 referente ao ajuste da reta e R coeficiente de correlação (B).

Com um ano de idade há o aumento significativo da disponibilidade de radiação em relação ao primeiro semestre, ocorreu que as variações de IR foram mais sutis. Como os valores de IR foram próximos, de 45 a 100% IR, os valores médios de tamanho de copa foram mais próximos entre si. Em média foi observado tamanho de copa de 1,1; 1,18; 1,3; 0,94; 0,90; 1,7 e 1,8 m respectivamente, ao longo dos tratamentos. Podemos observar que o desvio padrão em todos os tratamentos foi elevado demonstrando presença de grande número de outlier (figura 31 A). Na figura 31B, é observável o valor de R^2 de 0,15 e o de correlação de 0,39, sendo eles considerado, demonstrando que a equação não se ajusta bem aos valores de tamanho de copa.

Figura 30: Gráficos do segundo semestre contendo boxplot com altura de copa em função da fração da irradiância (45%= OC 3-4; 48% = OL 3-4; 51%= OL 5-6; 51%= OC 1-2; 52%= OL 1-2; 61%= OL 7-7), ponto no centro da caixa refere-se a média, traço na horizontal mediana, barra de erros (A). Regressão linear altura da copa em função da fração da irradiância, R^2 referente ao ajuste da reta e R coeficiente de correlação (B).

O número de folhas com um ano de idade foi outro parâmetro altamente influenciado pelos tratamentos. Em média foi obtido cerca de 8,4 folhas por planta no tratamento com 27,12% IR, e 53,7 folhas nos indivíduos à pleno sol, ou seja, a 100% IR. Com 35,9 e 56,1% IR foi obtido média de 9,73 e 30,60, respectivamente (figura 32A, tabela 6). A análise de regressão, demonstra o ajuste de modelo linear aos dados de número de folhas, a reta possui R^2 de 0,67 e coeficiente de correlação de 0,81. Por fim, como pode ser observado nessa figura, com o aumento da disponibilidade de radiação o número de folhas também cresce (figura 32B).

Figura 31: Gráficos do primeiro semestre contendo um boxplot com número de folhas em função da IR % (27,1%= OL 3-4; 35,5%= OC 1-2; 35,9% = OL 5-6; 37,1%=OL 1-2; 37,7% = OC 3-4; 55,8% = OL 7-7; 100%= radiação global), ponto no centro da caixa refere-se a média, traço na horizontal mediana, barra de erros (A). Regressão linear número de folhas em função da fração da irradiância, R^2 referente ao ajuste da reta e R coeficiente de correlação (B).

O número de folhas com um ano de idade aumentou consideravelmente, se comparado ao primeiro semestre, e ainda mostra uma tendência de aumento à medida que ocorre o aumento da disponibilidade de radiação. Em média foi encontrado nos níveis de% IR cerca de 185,6; 296,4; 224,5; 117,7;88,7; 692,4 e 889,6 respectivamente (figura 33 A). A regressão linear demonstrou um bom ajuste com R^2 de 0,58 e valor de correlação de 0,76 (figura 33 B).

Figura 32: Boxplot com número de folhas em função da fração da irradiância (27,1%= OL 3-4; 35,5%= OC 1-2; 35,9% = OL 5-6; 37,1% =OL 1-2; 37,7% = OC 3-4; 55,8% = OL 7-7; 100%= radiação global), ponto no centro da caixa refere-se a média, traço na horizontal mediana, barra de erros (A). Regressão linear número

de folhas em função da fração da irradiância, R^2 referente ao ajuste da reta e R coeficiente de correlação (B).

Os parâmetros analisados para a copa com seis meses de idade mostrou aumento em função da elevação da IR, exceto nos níveis de 35,5; 37 e 38% que tiveram um comportamento anormal. Sendo assim, no menor nível de 27,1% da IR foi observado valor de volume de copa de 0,0022m³; com IAF de 1,04, área foliar de 0,036; densidade de copa de 30,7m²/m³; porcentagem de copa de 45,4%. Com 35,9% da IR, foram observados valores médios de volume de copa de 0,0054m³; IAF de 1,05; área foliar de 0,059m²; densidade de copa de 27,3m²/m³; e porcentagem de copa de 49,9%. Com 56,1% da IR o volume de copa foi de 0,031m³; o IAF foi de 1,5; a área foliar foi de 0,28m²; a densidade de copa foi de 15,14; e a porcentagem de copa de 68,3%. Com 100% da IR foi observado volume de copa de 0,028m³; IAF de 1,5; área foliar de 0,28m²; e a porcentagem de copa de 68,3% (figura 34, tabela 6).

Figura 33: Gráficos de urucuzeiro com 6 meses de idade. Em A Volume de copa (m³) função da fração da irradiância com o IAF no eixo secundário. Em B Área foliar (m²) de urucuzeiro em função da fração da irradiância com o IAF no eixo secundário. Em C Densidade de copa (m²/m³) em função da fração da irradiância com o IAF no eixo secundário. Em D Porcentagem de copa (%) em função da fração da irradiância com o IAF no eixo secundário.

Aos doze meses de idade os urucuzeiros mostraram aumento nas variáveis de copa em função do aumento da IR, mesmo que essa resposta seja mais notada nos níveis acima de 60% da IR. No período avaliado, nos

níveis mais baixos de disponibilidade de radiação, 45; 48 e 51% da IR; foram encontrados valores próximos entre si. Enquanto que nos níveis de 52 e 52,5% da IR foi observada uma queda abrupta nos valores principalmente no volume de copa e área foliar (figura 35 A e B). Acima de 60% da IR foram observados os maiores valores para área foliar, volume de copa e porcentagem de copa, exceto para densidade onde este padrão se inverteu (figura 35 B).

Com 45% da IR foi observado o valor de 0,69 m³ de volume de copa; IAF de 1,045; área foliar de 2,57 m²; densidade de copa de 3,7 m²/m³ e porcentagem de copa de 81,8%. Com 48% da IR o volume de copa foi em média 0,75 m³; o IAF foi 0,715; a área foliar 2,9 m²; a densidade de copa foi de 3,9 m²/m³; a porcentagem de copa 82,6%. Com 51% da IR o volume de copa foi de 0,95 m³; o IAF 1,057; a área foliar 2,9 m²; a densidade de copa 3,08m²/m³; e a porcentagem de copa 84,8%. Com 52% da IR o volume de copa foi de 0,63 m³; o IAF 0,79; a área foliar 1,5 m²; a densidade de copa 0,25 m²/m³; e a porcentagem de copa 79,8%. Com 52,5 % da IR o volume de copa foi de 0,34 m³; o IAF 0,75; a área foliar 1,5 m²; a densidade de copa 3,3 m²/m³; e a porcentagem de copa 79,8%. Com 61% da IR o volume de copa foi de 2,1 m³; o IAF 1,5; a área foliar 6,08 m²; a densidade de copa 2,88 m²/m³; e a porcentagem de copa 87,9. Com 100% da IR o volume de copa foi de 2,96 m³; o IAF 2,19; a área foliar 11,6 m²; a densidade de copa 3,94 m²/m³; e a porcentagem de copa 96,4% (Figura 35 C e D, tabela 6).

Figura 34: Gráficos de urucuzeiro com 12 meses de idade. Em A Volume de copa (m³) função da fração da porcentagem de radiação com o IAF no eixo secundário. Em B Área foliar (m²) de urucuzeiro em função da fração da irradiância com o IAF no eixo secundário. Em C Densidade de copa (m²/m³) em função da porcentagem de irradiância com o IAF no eixo secundário. Em D Porcentagem de copa (%) em função da porcentagem da irradiância com o IAF no eixo secundário.

Tabela 8: Parâmetros avaliados em um plantio de urucuzeiro (*Bixa orellana* L.) variedade Piave aos 6 meses (primeira tabela) e 12 meses (segunda tabela) de idade em consórcio com plantio ondulatório de eucaliptos grancam - COP1277 no ano de 2018 e 2019. Tratamentos, os números representam a ordem cronológica de plantio das linhas de eucaliptos que compõem as ondas; Fração da irradiância, é o quociente entre a radiação disponível em cada entre linha de eucalipto pela radiação global; diâmetro do coleto, medida da base a 5 cm do solo; altura da planta em (cm); altura do tronco (cm); altura da copa (cm); número de folhas, área foliar em (cm²); IAF (m²/m²), biomassa (g); volume de copa (cm³); % de copa, densidade foliar; sobrevivência.

Tratamento	% irradiação	Diâmetro do coleto (m)	Altura da planta (m)	Altura da copa (m)	Número de Folhas	Área Foliar (m ²)	IAF	Volume de Copa (m ³)	% Copa	Densidade Foliar (m ² /m ³)	Sobrevivência (%)
OL 3-4	27,12	0,004±0,00016	0,26± 0,008	0,13± 0,0077	8,4± 4,4	0,036804± 0,03	1,19± 0,6	0,0022± 0,0030	45,45± 15,6	30,7± 16,5	75,5
OC 3-4	35,53	0,003±0,00008	0,18± 0,004	0,06± 0,0035	5,51± 2,3	0,012181± 0,01	1,02± 0,7	0,0004± 0,0004	33,44± 12,2	35,8± 13,9	61,1
OL 5-6	35,90	0,005±0,00027	0,31± 0,01	0,18± 0,0137	9,73± 5,2	0,059783± 0,05	1,34± 0,7	0,0054± 0,0074	49,81± 18,9	27,3± 16,36	80,5
OL 1-2	37,12	0,003±0,00008	0,19± 0,005	0,08± 0,0035	6,22± 2,6	0,014945± 0,01	0,96± 0,5	0,0005± 0,0005	37,87± 12,7	33,1± 12,3	61
OC 1-2	37,70	0,003± 0,0001	0,20± 0,004	0,09± 0,0042	6,56± 2,4	0,016583± 0,01	0,95± 0,6	0,0007± 0,0008	40,12± 13,3	30,2± 13,9	71
OL 7-7	56,16	0,010±0,00031	0,56± 0,018	0,40± 0,0185	30,6± 15,2	0,288637± 0,1	1,57± 0,5	0,0318± 0,0223	68,35± 13,9	15,1± 12,3	92
Monocultivo	100	0,013±0,00036	0,50± 0,014	0,44± 0,0157	53,7± 22,1	0,377957± 0,02	2,2± 0,6	0,0284± 0,0194	84,79± 10,8	17,0± 12,01	86

Tratamento	I/I0	Diâmetro do coleto (m)	Altura da planta (m)	Altura da copa (m)	Número de Folhas	Área Foliar (m ²)	IAF	Volume de Copa (m ³)	% Copa	Densidade Foliar (m ² /m ³)	Sobrevivência (%)
OC 3-4	45	0,027±0,006	1,43±0,42	1,19±0,45	190,37± 101,42	2,570625±1,77	1,045± 1,06	0,69±0,63	81,85±0,63	6,8845±13,12	79
OL 3-4	48	0,029±0,006	1,40± 0,47	1,18±0,47	296,46± 132,43	2,989025±1,74	0,715± 0,84	0,75±0,82	82,61±0,82	11,349±11,16	81
OL5-6	51	0,029±0,007	1,55± 0,52	1,33±0,52	224,58± 109,72	2,375628±2,14	1,057± 0,85	0,60±1,14	84,88±1,14	5,9172±10,65	80,5
OC 1-2	52	0,024±0,004	1,18± 0,41	0,95±0,40	124,69± 96,96	1,556681±1,3	0,79± 0,92	0,50±0,56	78,38±0,56	8,0765±13,98	63,1
OL 1-2	52,5	0,023±0,003	1,11± 0,37	0,91±0,37	94,33± 35,71	1,160856±0,89	0,75± 1,41	0,34±0,34	79,82±0,34	13,762±12,82	65
OL 7-7	61	0,040±0,012	1,93± 0,70	1,73±0,70	685,29± 245,13	6,084001±3,64	1,509± 0,74	2,11±1,92	87,90±1,92	5,6542±7,267	92
Monocultivo	100	0,059±0,012	1,94± 0,38	1,88±0,39	889,62± 201,25	11,67858±3,51	2,193± 0,72	2,96±1,64	96,50±1,64	5,7498±4,34	88

4.3.3. Crescimento e sobrevivência

A sobrevivência dos urucuzeiros aos seis meses de idade foi afetada pelo nível de radiação disponível. Indivíduos com maior sombreamento obtiveram menor porcentagem de sobrevivência, em contrapartida tratamentos com elevada porcentagem de radiação resultou em sobrevivência maior. Portanto, foi observado nos tratamentos 27,1; 35,9; 56,1 e 100% IR uma sobrevivência de 75,5; 80,5; 92 e 86%, demonstrando tendência de aumento linear, com uma queda no 100%. Os tratamentos remanescentes, 35,5; 37,1 e 37,7 mostraram sobrevivência de 61; 61 e 71%, sendo apresentado menor valor de sobrevivência e comportamento que se mostra diferente da tendência dos outros tratamentos (tabela 3).

Aos 12 meses a mesma tendência se manteve onde, a maior taxa de sobrevivência, 92 e 85% se deu nos níveis de 61 e 100% da IR. Enquanto que nos níveis inferiores de radiação, 45; 48; 51%, a sobrevivência foi de 79; 81 e 80,5%. Nos níveis de radiação de 52 e 52,5%, ocorreu que as sobrevivências foram as menores, 63,1 e 65% (tabela 3).

O DAC aos 6 meses mostrou uma tendência de aumento em função da maior disponibilidade de radiação solar. Sendo em média maior no tratamento com 100% e menor no tratamento 35,5%. Analisando os dados de 27,1; 35,9; 56,1 e 100% da IR percebemos uma tendência linear no aumento. Nas IR citadas anteriormente pôde-se observar médias de 0,004; 0,005; 0,010 e 0,013 m de DAC, respectivamente. Os urucuzeiros submetidos aos outros tratamentos, 35,5; 37,1 e 37,7% da IR, apresentaram médias de 0,003; 0,003 e 0,003 m de DAC. Tal estabilização difere da tendência linear de crescimento dos outros tratamentos (figura 36A e tabela 3). Por fim, ao realizar a análise de regressão percebemos que os dados se ajustaram ao modelo linear com R^2 de 0,54 e coeficiente de correlação de 0,73, mostrando uma tendência forte de aumento de diâmetro com aumento da radiação (figura 36B).

Figura 35: Diâmetro a 5cm do solo (DAC) dos urucuzeiros aos 6 meses de idade submetidos a sete níveis de radiação, boxplot representando distribuição dos dados, pontos no centro das caixas representam as médias; linha horizontal a mediana e barra de erros com desvio padrão (A). Análise de regressão para diâmetro do coleto em função do nível de radiação, R^2 demonstrando o ajuste da reta e R coeficiente de correlação (B).

Aos doze meses de idade os valores de DAC aumentaram com o aumento da disponibilidade de radiação. O maior valor encontrado foi com 100% da IR, cerca de 0,059m. Os menores valores foram próximos entre si, nas IR de 45; 48 e 51% com médias de 0,027; 0,029 e 0,029m. Com 52 e 52,5% da IR foi observado um comportamento anormal, com média de 0,023 e 0,024m, isto é, com uma resposta abaixo da esperada devido ao aumento da IR. Foi observado um R^2 de 0,55 na regressão linear, e uma correlação de 0,74 (figura 37).

Figura 36: Diâmetro a 5 cm do solo dos indivíduos de urucuzeiro aos 12 meses de idade submetidos a sete níveis de radiação, boxplot representando distribuição dos dados, pontos no centro das caixas representam as médias; linha horizontal a mediana e barra de erros com desvio padrão (A). Análise de regressão para diâmetro do coleto em função do nível de radiação, R^2 demonstrando o ajuste da reta e R coeficiente de correlação (B).

A altura aos 6 meses seguiu a mesma tendência do diâmetro, aumentando de acordo com a maior disponibilidade de radiação, exceto ao 100% IR onde ocorreu uma ligeira redução na altura das plantas. Nos tratamentos 27,1; 35,9; 56,1 e 100% IR foram obtidas alturas médias de 0,26; 0,31; 0,56; 0,50 m respectivamente. Nos tratamentos 35,5; 37,1 e 37,7 % IR novamente ocorreu um comportamento dos dados que fogem do padrão observado nos outros tratamentos. Eles apresentaram médias de 0,18; 0,19 e 0,20 m respectivamente. A análise de regressão mostrou que ao aumentar a porcentagem da irradiância ocorre aumento na altura das plantas, porém seu R^2 não apresentou valor elevado, 0,3. Por fim, o coeficiente de correlação também foi baixo 0,55 (figura 38, tabela 3).

Figura 37: Altura dos indivíduos de urucuzeiro aos 6 meses de idade, submetidos a sete níveis de radiação, boxplot representando distribuição dos dados, pontos no centro das caixas representam as médias; linha horizontal a mediana e barra de erros com desvio padrão (A). Análise de regressão para altura em função do nível de radiação, R^2 demonstrando o ajuste da reta e R coeficiente de correlação (B).

A altura aos 12 meses de idade foi pouco influenciada pelo aumento na disponibilidade de radiação. Nos tratamentos com menor disponibilidade de radiação, 45; 48; 41% da IR em média a altura foi de 1,43; 1,40 e 1,55m. Nos tratamentos com maior disponibilidade 61 e 100% da IR foi observado 1,93 e 1,94m. Nos tratamentos de 52 e 52,5% da IR os valores médios foram abaixo do esperado, 1,18 e 1,11m (figura 39 A, tabela 3). Os valores de regressão e correlação foram baixos, 0,1 e 0,3, respectivamente (figura 39B).

Figura 38: Altura dos indivíduos de urucuzeiro aos 12 meses de idade, submetidos a sete níveis de radiação, boxplot representando distribuição dos dados, pontos no centro das caixas representam as médias; linha horizontal a mediana e barra de erros com desvio padrão (A). Análise de regressão para altura em função do nível

5. DISCUSSÃO

5.1. Modelo de plantio em Ondas: Vantagens e desvantagens

A utilização de novos modelos de plantio, que envolvam inovações na forma de se fazer agricultura pode trazer grandes benefícios. A utilização de SAFs por si só já carrega um viés de inovação. O plantio do SAF Onda eleva ainda mais essa expectativa. Neste trabalho foi observado que a simples mudança na forma de se fazer agricultura/silvicultura, muda a estrutura do local, trazendo vantagens e perdas. A implantação de novas técnicas deve estar alinhada com trabalhos de análise de risco e viabilidade para que o produtor tenha maior segurança na escolha de qual sistema adotar (VARELLA e SANTANA, 2009).

Estudos buscando conciliar formas de se fazer um designer mais inteligente para SAFs já existe na literatura. PRASAD et al. (2010) avaliaram diferentes delineamentos, e buscaram manter a proporção de indivíduos próximas de 1.666 árvores por hectares. Os autores observaram que os tratamentos (3x2; 7x1,5; 6x1,92; 10x1,5 e 11x1) afetaram o crescimento das árvores quando avaliadas por hectare. Eles ainda ressaltam que a sobrevivência foi de 95% no maior percentual 10x1,5 com 95% e no menor, 7x1,5 com 88%. No SAF Onda foi possível observar que a mudança no design afetou positivamente o Ano1, porém afetaram negativamente todos os demais anos.

Quando o Ano1 completar sete anos pretende-se cortar essa linha de árvores. Dessa forma a estrutura do local será modificada, proporcionando mais recursos para os indivíduos remanescentes. O corte das árvores representa um desbaste seletivo, nesse procedimento características pré-estabelecidas são consideradas para a retirada das árvores (SIXEL, 2008). Sendo assim, no SAF Onda a retirada dos indivíduos dominantes representa a diminuição da competição por água, luz e nutrientes para os co-dominantes e dominados, e assim uma expectativa de aumento na produtividade (FORRESTER, 2013). Porém, o desbaste quando realizado no final da rotação, não apresenta o mesmo resultado do que quando feito no início. Ao final ele produz menos volume e biomassa do que quando no início (MEDHURST e NEILSON, 2001). Autores como FORRESTER et al., (2012) evidenciaram em *Eucalyptus globulus* que ao se comparar plantios sem desbastes (999 arv ha⁻¹) com plantios desbastados (231 arv há⁻¹) no início 3 anos e ao final da rotação 8 anos, há um aumento de 22 a 26% quando feito no início, e de 11 % no final. Os autores ainda comentam que a melhor época para se fazer esse trato cultural é antes do fechamento das copas. Porém esse comportamento foi evidenciado em monocultivos, que aos 3 anos em média tem seu fechamento das copas. Como o SAF Onda foi projetado para aumentar a captação de radiação solar e possui um desing diferente dos monocultivos, especula-se que os indivíduos dos Anos 2 até o 7 podem comportar de formas diferentes do que mostra a literatura.

A maior produção de DAP, altura, volume, biomassa (tronco, folha e galho) e as características da copa, das árvores plantadas nas ondas se deu no Ano 1 ao comparar com o Monocultivo. O fato dele ter sido plantado em linha solitária por um período de um ano possibilitou maior acesso a recursos como água, luz e nutrientes. A água possui papel chave no crescimento do eucalipto, sendo ela responsável por ganhos de 30% na produção de madeira (STAPE et al., 2010). A reposição a fertilização depende do tipo de solo, espécie ou clone, podendo ela desempenhar um papel com importância maior ou menor a depender dessas características (GONÇALVES et al., 2013). Tal vantagem resultou no fato de que o Ano1 do OC e OL desde o início possuía mais volume de copa (figura 23) que o Monocultivo. Indivíduos maiores com mais área foliar e volume de copa, resultam em maior volume de tronco e biomassa (GSPALTL et al. 2013). Árvores com menos copa, são menos eficientes no uso da água e possuem menor capacidade de absorção de CO₂, consequentemente apresentam uma menor taxa fotossintética (PINKARD et al.,

1998). Attwill, (1966) observou uma relação linear com 95% de confiabilidade entre o crescimento em diâmetro do tronco com o maior volume de copa.

O Ano 2, no OC e OL foi implantado ao lado do Ano1 (a 3 m de distância apenas), que já estava com um ano de idade e com mais biomassa de folhas, galhos e tronco. Essa situação gerou árvores dominantes (Ano 1) e dominadas (Ano 2) para o OC e OL. Plantas de eucaliptos dominantes produzem maior quantidade de galhos e folhas e por isso conseguem ser mais eficientes no uso da luz. Existe um aumento de 75% na interceptação da luz acompanhado do dobro da eficiência em seu uso (BINKLEY et al., 2010). Indivíduos dominantes possuem 7,2% mais área foliar, absorvendo 6,7% mais luz e possuem taxas de crescimento cerca de 4,2% mais que os indivíduos dominados. Esse comportamento também já foi observado em outras espécies, como em *Acacia mangium*, *Pinus abies* e *Pinus taeda* (GSPALTL et al., 2012; CAMPOE et al., 2013; LE MAIRE et al., 2013). Por isso, o Ano 1 sempre esteve em posição de vantagem ecológica em relação aos outros Anos. A presença espacial dele impõe um nível de competição intensa ao Ano 2. Isso fica claro ao comparar a produção de volume, diâmetro e altura do Ano 1 e 2 com a mesma idade nos 3 tratamentos (Monocultivo, OC e OL) (figura 12; 15; e 18). As árvores do Ano 2 sempre foram inferiores às do Ano 1 em todas as características avaliadas tanto no SAF quanto o Monocultivo. Essa queda pode ser explicada como, já comentado, devido a proximidade do Ano 1 com o Ano 2. Porém, a seca observada em 2014 poderia ter afetado a produtividade e justificado tal queda. Entretanto, os valores de DAP, Altura e volume do Ano 2 ao Ano 5, no SAFs e Monocultivo são bem próximos, o que demonstra que tal queda não pode ser atribuída a falta de chuva, mas sim a outros fatores, como a proximidade do Ano 1 com os outros Anos (2; 3 até o 7) e com o Monocultivo.

Ao comparar os tratamentos OC, OL e Monocultivo é interessante observar que no Ano 1 o OC e OL é sempre superior, entretanto, nos Anos subsequentes (2; 3 até o 7) o Monocultivo é na maioria das vezes superior. No primeiro ano de avaliação, 2013, a diferença entre os tratamentos Monocultivo OC e OL, foi mínima. Esse resultado corrobora com CECCON, (2005) o autor estudando *Eucalyptus camaldulensis* em Monocultivo, em consórcio com milho, e com arroz, observou que somente após o primeiro ano de idade foram notadas diferenças nas características avaliadas (DAP, altura e volume). Oliveira et al., (2015) estudando dois sistemas com dois anos de idade, um SAF e um SAF consorciado com acácia, constataram que nessa idade os tratamentos não afetaram o DAP, altura e volume. Porém, no SAF Onde os tratamentos OC e OL do Ano 1 no segundo ano de idade já se mostraram superiores ao Monocultivo (figura 10; 13; e 16). Entretanto, quando observamos no Ano 2 até o Ano 7 esse comportamento citado anteriormente não foi evidenciado, sendo as médias bem próximas entre os tratamentos, com o Monocultivo superior aos SAFs. Porém, a partir do Ano 5 percebe-se uma tendência de mudança, onde que o OL por diversas vezes foi superior ou igual ao seu Monocultivo. Muito disso se deve ao fato de que ao afastar espacialmente da influência do Ano1 a linha de eucalipto conseguiu se desenvolver melhor. A partir do Ano 5 no OL, pode ser notada que todas as variáveis apresentam tendência de superioridade ao Monocultivo. Na figura 26 e 28, é possível observar que o centro do renque é o local de maior disponibilidade de radiação, sendo isso um dos fatores que podem justificar essa tendência.

Em eucalipto *urograndis* com variação espacial de plantio de 14x2 e 22x 2 m e aos 3anos de idade foi observado DAP de 0,165 e 0,16m altura de 18,56 e 17,29m, volume por árvore de 0,2 e 0,17m³ e volume por hectare de 70,4 e 38,8 m³/ha (FERREIRA et al., 2012). Em *Eucalyptus grandis* com 5 anos de idade na região de Piracicaba, plantados em sistema agroflorestal verificou-se DAP de 0,18 m; altura 24,6m, e o volume de 0,29 m³árv-1 com IAF de 1,08 (PINTO et al., 2005). Em Monocultivo o mesmo trabalho apresenta DAP de 0,13m, altura de 23,5 m, e volume de 0,15 m³árv-1. Tais valores são bem próximos aos encontrados no SAF Onde aos 3 anos de idade (figura

16). Porém, aos 5 anos de idade o OL e OC mostraram volume superior ao encontrado na literatura (figura 16). Já no Ano 2, como citado anteriormente, a produtividade fica abaixo do Ano 1 e também da produtividade citada anteriormente.

O volume por hectares neste experimento foi avaliado de duas formas sendo a primeira a convencional, em que o Monocultivo possuía 1.666 indivíduos por hectares, o OC com 416,66 árvores, e o OL com 208,33 indivíduos. Já se sabe na literatura que com o aumento da densidade de plantio aumenta-se o volume por hectare (SCHONAU e COETZEE, 1989). Além disso, a densidade de plantas por hectare condiciona fatores primordiais ao desenvolvimento das plantas, tais como disponibilidade de recursos como água, luz e nutrientes, que por sua vez condiciona a capacidade de suporte do sítio (STAPE et al., 1989). Dessa forma, como o Monocultivo possui mais árvores por hectares do que o SAF seu volume foi 2,2 e 3,9 vezes maior que o OC e OL, respectivamente (figura 19). Na literatura é possível encontrar trabalhos envolvendo SAFs que mostrem valores inferiores aos do OC e OL com outro arranjo espacial. Eucaliptos com 2,5 x 2,5m de espaçamento em Monocultivo e em consórcio com feijão, e com milho aos 3 anos de idade foi observado volume por hectares de 37,4; 37,8 e 24,80m³/ha (AHIMANA e MAGHEMBE, 1987). Portanto, mesmo sendo abaixo do Monocultivo é possível observar que o SAF Onda está acima dos valores observados na literatura.

Em contrapartida, se considerar uma forma diferente de se plantar em que os produtores possam aproveitar melhor o espaço, como por exemplo, 1 hectare em linha. Este delineamento onde as árvores são plantadas de forma a possuir 1.666 indivíduos em linha reta com 1 hectare, fora do padrão convencional, pode ser uma estratégia útil. Principalmente para pequenos produtores que possuem espaços em suas propriedades com difícil aproveitamento como próximos a cercas e estradas. Nesses locais esse tipo de plantio seria uma forma mais eficiente de se utilizar o espaço.

5.2. Biomassa e arquitetura de copa dos eucaliptos

Neste trabalho foi possível observar que os tratamentos influenciaram na biomassa vegetal. O Ano1 no OC e OL observou-se a superioridade das variáveis como a biomassa vegetal (em todos os compartimentos), o volume e a altura de copa, individual, em relação ao Monocultivo. Isso se deve, em grande parte, à densidade de plantio, que além de afetar as variáveis citadas anteriormente ele ainda exerce influência direta na sobrevivência, dominância, quantidade de galhos e os tratamentos culturais (STAPE et al., 1989). Porém, ao avaliar sua produtividade por hectare observou-se que a biomassa dos galhos, troncos e folhas foi superior no Monocultivo, devido ao número de árvores por hectare. ELOY et al. (2016) estudando *Eucalyptus grandis* em quatro espaçamentos (2x1; 2x1,5; 3x1; 3x1,5 m) observaram valores de biomassa de tronco próximos a 90,9; 47,6; 46,8; e 27,4 ton.ha⁻¹, respectivamente. Os autores ainda enfatizaram que ocorreu uma relação positiva entre a diminuição da densidade de plantio com a alocação de biomassa de tronco, porém eles não observaram diferença com os galhos (18,1; 11,7; 13,3; 8, ton.ha⁻¹, respectivamente) e as folhas (17,4; 15,9; 16,7; 5,5 ton.ha⁻¹, respectivamente). CARON et al., (2015) estudando três espécies florestais *Acacia mearnsii* (De Wild), *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden), *Mimosa scabrella* (Benth) e *Ateleia glazioviana*, observou que a densidade de árvores por hectare exerceu influência principalmente na biomassa de tronco seguido por galhos. Neste trabalho por se tratar de um SAFs e as distâncias entre linhas de plantio foram bem maiores que os espaçamentos citados fez com que a densidade de plantio seja ainda mais evidente. Em um SAFs com híbridos de eucaliptos (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) com 6 e 8 anos em espaçamento de 8x4m,

consorciado com *Brachiaria decumbens* foi observada uma biomassa do tronco de 88, 25 e 90,5 ton.ha⁻¹ (SCHETTINI et al., 2017).

Individualmente as árvores demonstraram algumas diferenças na forma como alocavam sua biomassa. Os três tratamentos alocaram mais biomassa de galhos no terço médio da copa, seguido terço superior e por último no inferior. Em contrapartida as folhas foram em sua maioria alocada no terço superior, posteriormente no terço médio e por fim no terço inferior. Com o fechamento do dossel existe uma tendência de diminuição da área foliar na parte basal da copa, consequentemente na biomassa foliar também. Isso resulta em um maior acúmulo de biomassa na parte superior da copa (ALCORN et al., 2013). Em *Eucalyptus nitens* foi observado que ao efetuar a poda na parte do inferior da árvore, e consequentemente diminuir a biomassa de folhas e a área foliar, ocorreu um aumento na área foliar na parte superior (FORRESTER et al., 2012). Portanto, uma das explicações para a maior presença de biomassa na parte superior da copa é o fechamento do dossel, que estimula a ocorrência de desrama natural e senescência foliar, provocado pelo sombreamento, e consequentemente acúmulo de biomassa de folhas na parte superior. Isso corrobora com o Monocultivo, porém no OC e OL isso não é verdadeiro, pois o design em ondas proporciona o fechamento tardio das copas, além de que os tamanhos de copas dos Anos 1 até o 7 são diferentes. Sendo assim, as árvores do Ano 1 nos SAFs se assemelham às árvores dominantes. Binkley et al. (2010) observou que algumas árvores se tornaram dominantes por terem acesso a mais recursos como água, luz e nutrientes. Os autores ainda enfatizam que grande parte desse crescimento se deve ao fato de sua maior área foliar ser causada principalmente devido ao maior crescimento lateral de seus galhos. Existe uma correlação linear entre o crescimento das árvores com o aumento da área foliar (Binkley et al., 2013). Tais fatos corroboram com os dados encontrados nesse experimento, onde, a maior produtividade de biomassa foi encontrada nos tratamentos com maior área foliar, galhos e folhas. Entretanto, o IAF e a densidade de folhas nesse trabalho diferiram pouco entre os tratamentos Monocultivo, OC e OL, porém isso se deve a uma característica da espécie de eucalipto. RIGHI et al. (2016) estudando eucaliptos submetidos a diferentes níveis de radiação solar, observou que mesmo quando eles eram sombreados algumas características de sua copa se mantinham inalteradas, dentre elas a densidade de copa. Os autores ainda afirmam que essa variável pode ser um fator conservativo da espécie e que demonstra uma baixa capacidade adaptativa.

5.3. Radiação solar estimada e mensurada

O modelo proposto por Goudriaan (1977) e adaptado por Bernardes et al. (1998), já demonstrou ser eficiente e acurado (PINTO et al. 2005; RIGHI et al. 2007; RIGHI e FOLTRAN, 2016). De acordo com esse modelo, a radiação estimada foi menor próximo às árvores aumentando à medida que ia se afastando destas atingindo o máximo no meio dos renques. Isso se deve ao fato de que com o afastamento das árvores o efeito do sombreamento diminui. Interessante notar que mesmo com o crescimento das árvores, os valores estimados variaram pouquíssimo ao longo dos anos.

A radiação disponível aos uruncunzeiros, ao contrário do esperado, apresentou pouca variação entre os tratamentos avaliados. Isso corrobora com o apresentado por Righi et al. (2016) que apresentam a estabilidade da densidade de copa e assim da capacidade de interceptação da radiação do eucalipto. Assim não foi observada diferença na transmissão da radiação pelos eucaliptos independentemente da sua idade e porte.

Em contrapartida, um fator que pode ter contribuído para a pouca diferença entre os tratamentos é o ângulo foliar. Luz et al. (2019) estudando diferentes delineamentos em clone de eucalipto, observou que os maiores ângulos foliares e maior transmitância da radiação solar foram observados no tratamento de linhas solteiras com 22

m entre elas. Tal fato pode explicar a maior transmitância de radiação observada nas entre-linhas do Ano 1 e Ano2. O ângulo foliar e a distribuição das folhas influenciam na penetração da luz pelo dossel e por consequência exerce grande influência no coeficiente de extinção de luz (Ong e Huxley, 1996). Além disso, o eucalipto possui a característica de diminuir seu IAF após o fechamento das copas o que geralmente ocorre aos três anos (ALMEIDA et al., 2007; RYAN et al., 1997).

Entre a radiação mensurada no início do ano, (março a agosto) e a radiação mensurada ao final do ano (setembro a fevereiro) a ordem de valores se manteve constante. A maior diferença encontrada foi o aumento na intensidade da radiação que atravessou o dossel no final do ano, em todas as entrelinhas. Esse aumento pode ser atribuído às variações micrometeorológicas, como nebulosidade, irradiância, horas de insolação direta (RIGHI e BERNARDES, 2008). Além disso, ao longo do ano o IAF sofre influência da sazonalidade podendo aumentar ou diminuir de acordo com o ambiente (DAVI et al. 2008; ZANCHI et al., 2009).

5.4. Adaptações morfológicas do urucuzeiro

As respostas do urucuzeiro às variações da disponibilidade de radiação solar, mostrou que a planta possui grande necessidade de luz. Plantas com tais necessidades, alta incidência de radiação solar, são chamadas heliófilas, e em seu ambiente natural de florestas costumam ocupar clareiras ou o topo do dossel (ARMELIN e MANTOVANI, 2001). Dentro das plantas cultivadas na agricultura, grande parte delas necessitam de disponibilidade de radiação acima de 50% (EL-BASSIONY et al.; 2014; CORDEIRO et al.; 2016). Nesse experimento os níveis de radiação foram próximos aos 50% ou inferiores. Isso pode ser um dos motivos do desenvolvimento abaixo da média observado nos níveis de radiação entre 27,1 a 38% IR aos seis meses, e 45 a 52% aos 12 meses. A baixa disponibilidade de radiação ou o excesso pode afetar negativamente o desenvolvimento das plantas, a depender da estratégia de colonização que cada espécie possui.

Dentro da ecologia existem plantas que são mais adaptadas a sombra ou ao sol e cada uma dessas possui adaptações para o seu meio. Em seu ambiente natural as espécies tendem a ocupar seus nichos específicos, plantas de sombra tendem a viver nos sub-bosques das florestas enquanto que plantas de sol habitam o topo da floresta ou clareiras (MACIEL et al. 2003). No SAFs busca-se utilizar a ecologia da espécie para favorecer a produção agrícola. Pensando em nichos ecológicos, o urucuzeiro mostrou certa adaptação a sombra porém seu pleno desenvolvimento ocorreu em ambiente mais insolarado.

As plantas adaptadas a sombra tendem a possuir maiores áreas foliares quando submetidas a ambientes com pouca radiação (LENHARD et al., 2013). Porém o urucuzeiro não mostrou esse comportamento (figura 35 e figura 36). Em *Coffea canephora* (Pierre), na região do Espírito Santo em viveiro, foi observado que ao comparar as plantas submetidas ao nível de sombreamento de 88%, foi constada uma área foliar de 267 e 298 cm² aos 80 e 120 dias, enquanto que as mudas crescidas a pleno sol apresentaram os menores valores 114 e 100 cm² (TATAGIBA et al., 2010). Uma das possíveis explicações para o maior investimento em área foliar pelas plantas em ambiente sombreado se deve a menor temperatura foliar e menor taxa respiratória, que possibilitam elas conseguirem alocar mais carbono e aumentar sua superfície foliar, priorizando a eficiência fotossintética (GONÇALVES et al., 2012).

Outra característica de plantas de sombra é a baixa taxa de respiração mitocondrial que produz menor ponto de compensação de luz (TAIZ e ZEIGER, 2017). Esse fato faz com que a radiação solar sature o aparato fotossintético das plantas de sombra mais rapidamente. Os autores ainda discutem sobre a saturação no nível de folha, copa e dossel, onde que a folha tende a saturar primeiro, posteriormente a copa, e por fim o dossel. Ao atingir

o ponto de saturação fotossintética a planta para de responder ao aumento da disponibilidade de radiação solar. Righi et al. (2007) estudando cafeeiros (*Coffea arabica* L.) observou que 50% da radiação solar é suficiente para saturar a copa da espécie. No cafeeiro é a sombra provoca um limite de saturação entorno de 300 μmol de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e se não for sombreado torna-se acima de 600 μmol fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (KUMAR TIESZEN, 1980). Cordeiro et al. (2016) em estudo com abacaxizeiro observou valores entre 53 e 67% como limite de saturação. Em contrapartida, outras espécies adaptaram-se bem a ambiente com alta incidência de radiação e não demonstram quedas de produção. Em *Eucalyptus camaldulensis* foi observado uma relação exponencial entre a disponibilidade de radiação e produção (RIGHI et al., 2016). Pinto et al. (2005) verificou em cana de açúcar que medida que a cultura se afastava da linha de árvores, a produtividade da cultura aumentava junto com sua área foliar.

A copa como o órgão principal responsável pela fotossíntese é o primeiro a sofrer alterações frente as adversidades do meio. Parâmetros como IAF, volume de copa, área foliar e porcentagem de copa são bons indicadores de como a planta responde às variações do meio. O volume de copa, área foliar, número de folhas e o IAF (figura 35 e figura 36) nesse experimento mostraram uma resposta próxima à linear com a maior disponibilidade de radiação. Esse mesmo padrão também é encontrado em outras espécies. Em tomateiros o sombreamento de 45% resultou em queda no IAF, na fotossíntese e na taxa de assimilação da radiação (GOSSELIN, A.; TRUDEL, 1984). Outras espécies possuem este padrão diferente. Em *Antirrhinum majus* (boca de leão) o sombreamento causou aumento no IAF, redução no número de botões florais, o aumento no período de floração, e a redução no número de galhos por planta (MUNIR et al 2004). A arquitetura de copa responde sempre de acordo com o meio que a planta está inserida sendo mais ou menos responsiva de acordo com a espécie e a intensidade do estresse ou tratamento. Nesse trabalho foi observado, visualmente apenas, que nos tratamentos onde a radiação era inferior a 50% da IR não houve a floração nem frutificação do urucuzeiro.

No urucuzeiro, não somente a copa foi afetada pelo sombreamento, mas seu crescimento também. A altura, o diâmetro e a sobrevivência se reduziram à medida que aumentava o sombreamento (tabela 5). É interessante perceber que a sobrevivência no urucuzeiro foi afetada positivamente com o aumento da radiação, porém o maior nível de sobrevivência não foi observado a 100% da IR, mas sim na faixa entre 50 e 60% da IR, aos 6 e 12 meses de idade (tabela 5). Frimpong et al., (2008) estudando *K. anthotheca* e *K. ivorensis* sob níveis de sombreamento observou uma relação linear entre o aumento da luminosidade e crescimento da planta, sendo encontrado as maiores alturas, diâmetros, números de galhos e porcentagem de sobrevivência na presença dos altos níveis de radiação. Os autores ainda enfatizaram que sobrevivência variou de 99% no tratamento com maior luminosidade, para 59,9 no mais sombreado. Righi e Foltran (2016), observaram em sorgo que a altura da planta foi ligeiramente menos afetada pelo sombreamento, porém a biomassa foliar e de sementes mostram uma forte relação com o aumento da radiação.

6. Conclusão

De acordo com os dados apresentados nesse trabalho podemos concluir:

-O eucalipto do Ano1 cultivado em SAF, OC e OL foi superior ao Monocultivo em todas as características avaliadas individualmente (volume, biomassa, altura etc).

-No ano 2 o Monocultivo foi superior ou igual ao OC e OL nas características citadas anteriormente.

-O Ano 1 com mesma idade dos outros Anos, nos três tratamentos, já mostrava superioridade em volume, diâmetro e altura e variáveis de copa.

-Na biomassa de árvores individuais foi observado que o OL e OC foram superiores em biomassa de tronco, galhos e folhas.

-Em todos os tratamentos (OL, OC e Monocultivo) foi observado que o terço superior da copa foi onde teve maior quantidade de folhas, enquanto que o terço médio teve a maior quantidade de galhos.

-A radiação do sub-bosque variou pouco em função da idade e tamanho das árvores de eucalipto.

-O urucuzeiro apresentou um ponto de virada, acima de 50% de radiação, a partir desse nível ele começa a apresentar sinais de melhor desenvolvimento em tamanho de DAC, Altura e variáveis de copa.

-Os urucuzeiros a pleno sol tiveram menor sobrevivência do que aqueles submetidos a 60% da radiação. Em contra partida, o crescimento em altura, diâmetro do coleto e copa foi maior a pleno sol.

Referências

- ABRAF. Anuário estatístico. 2012
- ABRAF. Ano base 2012. Brasília: Associação brasileira de produtores de florestas plantadas. 2013
- AGAM, N.; LEAKE, S.; BERLINER, P.R. Modeling short wave solar radiation flux in a trench water harvesting system. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.221, p.52–163, 2016.
- ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V.; LANDSBERG, J.J.; REZENDE, G. D.; Growth and water balance of *Eucalyptus grandis* hybrid plantations in Brazil during a rotation for pulp production. *Forest Ecology and Management*, v. 251, p. 10–21, 2007.
- ALVARES, C. A. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n. 6, p.711–728, 2013.
- AMUNTS, A. A.; NELSON, N. Plant Photosystem I design in the light of evolution. Elsevier, 2009.
- ANDRADE, E. N. O eucalipto. Jundiaí: CPEF, 1961.
- ARMELIN, R. S.; MANTOVANI, W. Definições de clareira natural e suas implicações no estudo da dinâmica sucessional em florestas. *Rodriguésia*, v. 52, p.5-15. 2001.
- ARTRU, S.; GARRÉ, S.; DUPRAZ, C.; HIEL, M. P.; BLITZ-FRAYRET, C.; LASSIOIS, L. Impact of spatio-temporal shade dynamics on wheat growth and yield, perspectives for temperate agroforestry. *Europ. J. Agronomy*, v.82, p.60–70, 2017.
- ATTWILL, P. M. A method for estimating crown weight in eucalyptus, and some implications of relationships between crown weight and stem diameter. *Ecology*, v. 47, 1966.
- BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. Espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. *Série Técnica IPEF*, Piracicaba, v. 1, p. 1-16, 1980.
- BAZZAZ, F. A. PHYSIOLOGICAL ECOLOGY OF TROPICAL SUCCESSION: A Comparative Review. *Ecol. SySL*, v.11, p.287-310, 1980.
- BERNARDES, M.S.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; SAMPAIO, L.S.; COSTA, J.D.; LOUREIRO, R.F.A. Weeds in agroforestry systems: a critical review. In: INTERNATIONAL WEED SCIENCE CONGRESS, 3., 2000, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: International Weed Science Society, 2000. p. 2-10. 1 CD-ROM.
- BERNARDES, M.S.; GOUDRIAAN, J.; DOURADO-NETO, D.; CÂMARA, G.M.S. Tree–crop interactions in agroforestry system of rubber with soybean and maize. *Short Communications of the Third Congress of the European Society for Agronomy*. ESA, Nitra, Eslováquia, 1998, pp. 314–315, 1998.
- BINKLEY, D.; CAMPOE, O.C.; GSPALTL, M.; FORRESTER, D.I. Light absorption and use efficiency in forests: Why patterns differ for trees and stands. *Forest Ecology and Management* v.288, p.5–13, 2013.
- BINKLEY, D.; STAPE, J.L.; BAULE, W.; RYAN, M.G. Explaining growth of individual trees: light interception and efficiency of light use by eucalyptus at four sites in Brazil. *Forest Ecology and Management*, v.259, p.1704–1713, 2010.
- BOARDMAN, N.K. COMPARATIVE PHOTOSYNTHESIS OF SUN AND SHADE PLANTS. *Plant Physiol*, v.28, p.355-77, 1977.
- BOMFIM, M.S.; SILVA, S.O.; ALMEIDA, I.R.R. PINA, W. daC. Abelhas (Hymenoptera: Apoidea) visitantes das flores de urucum (*Bixa orellana* L.) em Teixeira de Freitas, Bahia, Brasil. *Scientia Plena*, v. 11, 2015.
- BOSE, S. A lei de Planck e a hipótese dos quanta de luz. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 27, p. 463 - 465, 2005.
- BRUDVIG, G. Water oxidation chemistry of photosystem II. *Phil. Trans. R. Soc. B*, v.363, p.1211–1219, 2008..

- CALIXTO, L.C.; RIBEIRO, A.E.M. Três olhares sobre o reflorestamento: A percepção de atores sociais sobre a monocultura de eucalipto no alto Jequitinhonha, MG. *Organizações Rurais & Agroindustriais*, Lavras, v. 9, p. 437-450, 2007.
- CALVALCANTE, M.A.; TAVOLARO, C.R.C. Uma Oficina De Física Moderna Que Vise A Sua Inserção No Ensino Médio. *Cad. Cat. Ens. Fís*, v. 18, p. 298-316, 2001.
- CAMPOE, O.C.; STAPE, J.L.; NOUVELLON, Y.; LACLAU, J.P.; BAUERLE, W.L.; BINKLEY, D.; MAIRE, G.L. Stem production, light absorption and light use efficiency between dominant and non-dominant trees of *Eucalyptus grandis* across a productivity gradient in Brazil. *Forest Ecology and Management*, v.288, p.14–20, 2013.
- CANHAM, C. D. Growth and canopy architecture of shade-tolerant trees: response to canopy gaps. *JSTOR*, v. 69, p. 786-795, 1988.
- CARON, B. O.; SCHMIDT, D.; BALBINOT, R.; BEHLING, A.; ELOY, E. ELLI, E. F. Efficiency of the use of yerba mate solar radiation in intercropping or monocropping for the accumulation of carbon. *Revista Árvore*, v.40, p.983-990, 2016.
- CARVALHO, S.P.; MARTINS, J.O.B. Problemas ambientais desencadeados pelo Plano Nacional de Agroenergia: o caso de Itapuranga, Goiás. *Interações, Campo Grande*, v. 12, p. 235-247, 2010.
- CAVALCANTE, M.A.; TAVOLARO, C.R.C. Uma oficina de física moderna que vise a sua inserção no ensino médio. *Cad. Cat. Ens. Fís*, v. 18, n. 3: p. 298-316, 2001.
- CECCON, E. Eucalyptus agroforestry system for small farms:2-year experiment with rice and beans in Minas Gerais, Brazil. *New Forests*, v.29, p.261–272, 2005.
- CHAZDON, R. L.; PEARCYR, W.; LEE, D. W.; FETCHER, N. *Tropical Forest Plant Ecophysiology*. 1981.
- CHEN, J. M., BLACK, T. A. Defining leaf area index for non-flat leaves. *Plant Cell and Environment*, v.15, p. 421-429, 1992.
- CLARK, M.; TILMAN, C. Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. *Environ*. 2017.
- COMPTON, A. What is light? *Sigma Xi Quarterly*, vol. 17, no. 1, pp. 14–33. *JSTOR*, www.jstor.org/stable/27824395, 1929.
- CORDEIRO, I. M. C. C.; LAMEIRA, O. A.; BARROS, P. L.C.; ANDRADE, V. M. S.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA, E. C. P. The influence of different photosynthetically active radiation levels on *Ananas comosus* (var. *erectifolius* LB Smith) plants under multiple cropping systems in the upland region of the Guama River, eastern Amazonia. *AJCS*, p.10, p. 272-279, 2016.
- DAVI, H.; BARET, F.; HUC, R.; DUFRÊNE, E. Effect of thinning on LAI variance in heterogeneous forests. *Forest Ecology and Management*, v.256, p.890–899, 2008.
- DELTA-T DEVICES LTD. Tube Solarimeter: User Manual. Chris Nicholl, Cambridge, 1993.
- DONALD, C.M. Competition among pasture plants i. intra-specific competition among annual pasture plants. *Division of Plant Industry*, 1951.
- DONG, T.L.; FORRESTER, D.I.; BEADLE, C. DOYLE, R.; HOANG, N.H.; GIAP, N.X.G.; WORLEDGE, D. Effects of light availability on crown structure, biomass production, light absorption and light-use efficiency of *Hopea odorata* planted within gaps in *Acacia* hybrid plantations. *Plant Ecology & Diversity*, v.9, p. 535-538, 2016.
- DUFOR, L.; METAY, A.; TALBOT, G.; DUPRAZ, C. Assessing Light Competition for Cereal Production in Temperate Agroforestry Systems using Experimentation and Crop Modelling. *J Agro Crop Sci*, p. 217-227, 2013.

- EHRET, M.; GRAB, R.; WACHENDORF, M. The effect of shade and shade material on white clover/perennial ryegrass mixtures for temperate agroforestry systems. *Agroforest Syst*, p. 89:557–570, 2015.
- EL-BASSIONY, A. M.; FAWZY, Z. F.; RIAD, G. S. GHONAME, A. A. Mitigation of High Temperature Stress on Growth, Yield and Fruit Quality of Tomato Plants by Different Shading Level. *Middle East Journal of Applied Sciences*, v. 4, p. 1034-1040, 2014.
- EMBRAPA AMAZÔNIA. Plantar urucum. Brasília, 2009.
- EMBRAPA FLORESTA. Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental. Maio, 2016.
- EMBRAPA. A Cultura Do Urucu No Norte Brasil. Amazônia, 1992.
- EMBRAPA. FLORESTA. Escolha de cultivares de eucaliptos em função do ambiente e do uso. Comunicado técnico, 2013.
- FABRI, E.G.; TERAMOTO, J. R. S. Urucum: fonte de corantes naturais. *Horticultura Brasileira*, 2015. DOI - <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620150000100023>.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations: The state of food security and nutrition in the world. Rome, 2018
- FLORES, T. B.; ALVARES, C. A.; STAPE, J. L. Eucalyptus no Brasil zoneamento climático e guia para identificação. IPEF, Piracicaba, 2016.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of Food Security and Nutrition in the World: Building Climate Resilience For Food Security and Nutrition. Roma, 2018.
- FORRESTER, D. I. Growth responses to thinning, pruning and fertiliser application in Eucalyptus plantations: A review of their production ecology and interactions. *Forest Ecology and Management*, v.310, p.336–347, 2013.
- FORRESTER, D. I.; BAUHUS, J.; COWIE, A. L.; VANCLAY, J. K. Mixed-species plantations of Eucalyptus with nitrogen-fixing trees: A review. *Forest Ecology and Management*, v.233, p. 211–230, 2006.
- FORRESTER, D. I.; COLLOPY, J. J.; BEADLE, C. L.; WARREN, C. R.; BAKER, T. G. Effect of thinning, pruning and nitrogen fertiliser application on transpiration, photosynthesis and water-use efficiency in a young *Eucalyptus nitens* plantation. *Forest Ecology and Management* v.266, p.286–300, 2012.
- FORRESTER, T. B.; BAUHUS, J. A Review of Processes Behind Diversity—Productivity Relationships in Forests. *Curr Forestry Rep*, v.2, p.45–61, 2016.
- FRIMPONG, E. O.; KARNOSKY, D.F. STORER, A. J. COBBNAH, J. R. Silvicultural systems for plantation mahogany in Africa: Influence of canopy shade on tree growth and pest damage. *Forest Ecology and Management*, v.255, p.328–333, 2008.
- GONÇALVES, J. F. C.; SILVA, C. E. M.; JUSTINO, G. C.; NINA JUNIOR, A. R. Efeito do ambiente de luz no crescimento de plantas jovens de mogno (*Swietenia macrophylla* King). *Scientia Forestalis*, v. 40, n. 95, p. 337-344, 2012.
- GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; HIGA, A. R.; SILVA, L. D.; ALFENAS, A. C.; STAHL, J.; FERRAZ, S. F. B.; LIMA, W. P. BRANCALION, P. H. S.; HUBNER, A.; BOUILLET, J. P. D.; LACLAU, J. P.; NOUVELLON, Y.; EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. *Forest Ecology and Management*, v.301, p.6–27, 2013.
- GOSSELIN, A.; TRUDEL. interactions between root-zone temperature and light levels on growth, development and photosynthesis of *lycopersicon esculentum* mill. cultivar 'vendor'. *Scientia Horticulturae*, v.23 p.313—321, 1984.

- GOUDRIAAN, J. Crop Micrometeorology: A Simulation Study. PUDOC, Wageningen, The Netherlands, 249 pp. 1977.
- GREEN, S.; MCNAUGHTON, K.; WUNSH, J. N.; CLOTHIER, B. Modeling Light Interception and Transpiration of Apple Tree Canopies. *Agron. J.*, v. 95, p. 1380–1387, 2003.
- GSPALTL, M.; BAUERLE, W.; BINKLEY, D.; STERBA, H. Leaf area and light use efficiency patterns of Norway spruce under diferente thinning regimes and age classes. *Forest Ecology and Management*, v.288, p. 49–59, 2013.
- IBA (Industria Brasileira de Árvores). Da garantia de suprimento de matéria-prima para todos os usos da madeira – atuais de potenciais – a uma nova economia de baixo carbono, a solução passa pelas florestas plantadas, 2016.
- JORDAN, C. F. DERIVATION OF LEAF-AREA INDEX FROM QUALITY OF LIGHT ON THE FOREST FLOOR. *Ecology*, vol. 50, n. 4, p. 663-666, 1969.
- JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Springer Science*, v.76, p. 1-10, 2009.
- KUMAR, D.; TIESZEN, L. L. PHOTOSYNTHESIS IN COFFEA ARABICA. I. EFFECTS OF LIGHT AND TEMPERATURE. *ExplAgric*, v.16, p.13-19, 1980.
- LAMEIRA, O. A.; PINTO, J. E. B. P.; PASQUAL, M. Propagação in vitro da bananeira 'prata' através da cultura de tecidos. *Pesq.agropec. bras*, Brasília, v.25, p. 1613-1617, 1990.
- LEITE, E. S.; FERNANDES, H. C.; GUEDES, I. L.; AMARAL, E. J. Análise Técnica E De Custos Do Corte Florestal Semimecanizado Em Povoamentos De Eucalip-to Em Diferentes Espaçamentos. *Cerne*, v. 20, p. 637-643, 2014.
- LENHARD, N. R.; PAIVA NETO, V. B.; SCALON, S. P. Q.; ALVARENGA, A. A. Crescimento de mudas de pau-ferro sob diferentes níveis de sombreamento. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 43, n. 2, p. 178-186, 2013.
- LEONG, W. Canopy modification and its effects on growthand yild of Hevea brasiliensis. Ghent, 283p. thesis, Faculty of Agricultural Sciences os Ghent, 1980.
- LOPES, P. R.; FERRAZ, J. M. G.; ALMEIDA, V. C.; LOPES, I. M. Sistema Agroflorestal no Sul de Minas Gerais: Café, Frutíferas e Madeiras. *Revista Brasileira De Agroecologia*, v.4, 2009.
- LUZ, O. S. L.; TERRA, T. G. R.; LIMA, S. O.; SIEBENEICHLER, S. C.; MORAES, C. B.; LEAL, T. C. A. B. Luminous interception of eucalyptus clones at different structural arrangements for integrated production systems. *Floresta*, v.49, p.227-236, 2019.
- MACEDO, R. L.G. VALE, A.B.; VENTURIN,N. Eucalipto em sistemas agroflorestais. Lavras: UFLA, 2010.
- MACIEL, M. N. M.; WATZLAWICK, L. F.; SCHOENINGER, E. R.; YAMAJI, F. M. Classificação ecológica das espécies arbóreas. *Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais*, v.1, n.2, p. 69-78, 2003.
- MAHIEU, S.; METAY, A.; BRNED, B.; DUFOUR, L.; Nitrogen fluxes in chickpea grown in Mediterranean agroforestry systems. *Agroforest Syst* v.90, p.313–324, 2016.
- MAMUN, A. A.; MAHAMMAD, S. HOSSAIN, M. A.; HOSSAIN, M. K. H.; KABIR, M. A. Eucalyptus agroforestry system in Chittagong: socio-economic potentia-lity amid controversies. *International Journal of Agronomy and Agricultural Rese-arch*, v. 4, p. 32-39, 2014.
- MANTOVANI, N. OTONI, W. C.; GRANDO, M. F. Produção de explantes através da alporquia para o cultivo in vitro do urucum (*Bixa orellana* L). *Revista brasi-leira de biociências*, v.5, p. 597-599, 2007.

- MANTOVANI, N.; GRANDO, M. F.; XAVIER, A.; OTONI, W. C. Avaliação De Genótipos De Urucum (*Bixa Orellana* L.) Por Meio Da Caracterização Morfológica De Frutos, Produtividade De Sementes E Teor De Bixina. *Ciência Florestal*, v. 23, p. 355-362, 2013.
- MARTINELLI, L. A.; NAYLOR, R.; VITOUSEK, P. M.; MOUTINHO, P. Agriculture in Brazil: impacts, costs, and opportunities for a sustainable future. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 2, p.431–438, 2010.
- MEDHURTS, J. L.; BEADLE, C.L.; NEILSEN, W. A. Early-age and later-age thinning affects growth, dominance, and intraspecific competition in *Eucalyptus nitens* plantations. *Can. J. For. Res.*, v.31, p.187–197, 2001.
- MONTEITH, J. L.; ONG, C. K.; CORLETT, J. E. Microclimatic interactions in agroforestry. *Forest Ecology and Management*, v.45, p.31-44, 1991.
- MUNIR, M.; JAMIL, M.; BALOCH, J.; KHATTAK, K. R. Impact of light intensity on flowering time and plant quality of *Antirrhinum majus* L. cultivar Chimes White. *J Zhejiang Univ SCI*, v. 4, p.400-405, 2004.
- NAIR, P. K. R. An introduction to Agroforestry. Kluwer Academic Publishers, Florida, 1993.
- NAIR, P. K. R. Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, v.3 p. 97-128, 1985.
- NERLICH, K.; GRAEFF-HONNINGER. Agroforestry in Europe: a review of the disappearance of traditional systems and development of modern agroforestry practices, with emphasis on experiences in Germany. *Springer Agroforest Syst* v. 87 p. 475-492, 2013.
- NIRANJANA, k. S.; VISWANATH, S. Root characteristics of tea [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze] and silver oak [*Grevillea robusta* (A. Cunn)] in a mixed tea plantation at Munnar, Kerala. *Journal of Tropical Agriculture*, v. 46 p. 13-19, 2008.
- OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G. REIS, M. G. F.; NEVES, J. C. L. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. *Árvore*, Viçosa, v.27, p.15-23, 2003.
- ONG, C. K.; HUXLEY, P. Tree-crop interactions: a physiological approach. CAB International, 1 ed. p. 385, 1996.
- PINKARD, E. A.; BEADLE, C. L. Aboveground biomass partitioning and crown architecture of *Eucalyptus nitens* following green pruning. *Can. J. For. Res.* v.28, p.1419–1428, 1998.
- PINTO, L. F. G. P. Avaliação do cultivo de cana de açúcar em sistemas agroflorestais em piracicaba, SP. Piracicaba. 125p. Tese (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2002.
- Pinto, L.F.G.; BERNARDES, M. S.; STAPE, J. L.; PEREIRA, A. R. Growth, yield and system performance simulation of a sugarcane–eucalyptus interface in a sub-tropical region of Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.105, p.77–86, 2005.
- PRASAD, J. V. N. S.; KORWAR, G. R.; RAO, K. V.; MANDAL, U. K.; RAO, C. A. R.; Rao, G. R.; RAMAKRISHNA, Y. S.; Venkateswarlu, B.; RAO, S. N.; KULKARNI, H. D.; RAO, M. R. Tree row spacing affected agronomic and economic performance of Eucalyptus-based agroforestry in Andhra Pradesh, Southern India. *Agroforest Syst*, v.78, p. 253–267, 2010.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017. URL <https://www.R-project.org/>.
- RAO, M. R.; NAIR, P. K. R.; ONG, C. K. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, v.38, p.3–50, 1998.
- REBOUÇAS, T. N. H.; SÃO JOSÉ, A. R. A cultura do urucum: práticas de cultivo e comercialização. Vitória da Conquista: DFZ/UESB/SBCN.1996.

- REED, J.; VIAANEN, J. V.; FOLI, S. CLENDENNING, J.; YANG, K.; MA-CDONALD, M.; PETROKOFISKY, G.; PADOCH, C.; SUNDERLAND, T. Trees for life: The ecosystem service contribution of trees to food production and livelihoods in the tropics. *Forest Policy and Economics*, 2017.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.forpol.2017.01.012>.
- REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; FONTAN, I. C. I.; MONTE, M. A.; GOMES, A. N.; OLIVEIRA, C. H. R. Crescimento de Raízes e da Parte Aérea de Clones de Híbridos de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus camaldulensis* X *Eucalyptus* spp Submetidos a Dois Regimes de Irrigação no Campo. *R. Árvore*, Viçosa-MG, v.30, n.6, p.921-931, 2006.
- RIBEIRO, G. S. RIGHI, C. A. Growth rate variations of *Eucalyptus camaldulensis*: a comparison between systems - monoculture and silvopastoral system. 2016.
- RIGHI, C. A.; BERNARDES, M. S. Disponibilidade de energia radiante em um sistema agroflorestal com seringueiras: produtividade do feijoeiro. *Bragantia*, Campi-nas, v.67, p.533-540, 2008.
- RIGHI, C. A.; BERNARDES, M. S. LUNZ, A. M. P. PEREIRA, C. R.; DOURADO NETO, D.; FAVARIN, J. L. Measurement and simulation of solar radiation availability in relation to the growth of coffee plants in an agroforestry system with rubber trees. *R. Árvore*, Viçosa-MG, v.31, p.195-207, 2007.
- RIGHI, C. A.; COUDERC, V. S. J. A.; PEREIRA, C.R.; COUTO, H. T. Z. C.; SILVA, L. D. Effect of shade on biomass accumulation and partitioning for *Eucalyptus camaldulensis*. *Sprouts. Journal of Sustainable Forestry*, v. 35, p.75-87, 2016.
- RIGHI, C. A.; FOLTRAN, D. E. Broomcorn [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] responses to shade: an agroforestry system interface simulation. *Springer Agroforest Syst*, 2016.
- RIGHI, C. A.; FOLTRAN, D. E. Broomcorn [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] responses to shade: an agroforestry system interface simulation. *Agroforest Syst*, 2016.
- RIGHI, C.A. A utilização do eucalipto em sistemas agroflorestais: produção ambiente e inserção social. Monografia. Universidade de São Paulo, 2009.
- RIGHI, C.A.; RIBEIRO, G.S.; BERNARDES M.S.; COUTO H.T.Z. Canopy conformation for a greater solar radiation interception a time-scale production system. Em: IUFRO 125th anniversary congress 2017—interconnecting forests, science and people. Freiburg, Germany. Setembro, p 633, 2017.
http://iufro2017.com/wp-content/uploads/2017/11/IUFRO17_Abstract_Book.pdf.
- ROUX, D. L.; STOCK, W. D.; BOND, W.J.; MAPHANGA, D. Dry mass allocation, water use efficiency and $\delta^{13}C$ in clones of *Eucalyptus grandis*, *E. grandis* ´ *camaldulensis* and *E. grandis* ´ *nitens* grown under two irrigation regimes. *Tree Physiology*, v. 16, p.497-502, 1996.
- RYAN, M. G.; LAVIGNE, GOWER, S. T. Annual carbon cost of autotrophic respiration in boreal forest ecosystems in relation to species and climate. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH: ATMOSPHERE*, Hobokenv. 102, n.24, p.28871-28883, 1997.
- SALAZAR, F. F.; CORDEIRO JUNIOR, P. S.; FABRI, E. G. ABDO, M. T. V. N. MARTINS, A. L. M. FINOTO, E. L. Desenvolvimento e Produtividade de Uru-cum (*Bixa orellana*) em Sistema Agroflorestal sob Plantio Direto e Convencional. *Cadernos de Agroecologia*, v. 9, 2014.
- SANTANA, W. M. S.; CALEGARIO, N.; ARANTES, M. D. C.; TRUGILHO, P. F. Effect of age and diameter class on the properties of wood from clonal *Eucalyptus*. *Cerne*, Lavras, v. 18, p.1-8, 2012.
- SEHM, K.; CATHERINE, M.; ONG, C. Gas exchange responses of *Eucalyptus*, *C. africana* and *G. robusta* to varying soil moisture content in semi-arid (Thika) Kenya. *Agroforest Syst*, v.75, p.239–249, 2009.

- SHIBLES, R. M. WEBER, C. R. Interception of Solar Radiation and Dry Matter Production by the Various Soybean Planting Patterns. *Crop Science*, v.6, 1966.
- SIEFERMANN-HARMS, D. The light-harvesting and protective functions of carotenoids in photosynthetic membranes. *Physiol. Plantarum*, v.69, p.561-568, 1987.
- SILVEIRA, D. N.; PEREIRA, M. G.; POLIDORO, J. C.; TAVARES, S. R. L.; MELLO, R. B. Aporte De Nutrientes E Biomassa Via Serrapilheira Em Sistemas Agro-florestais Em Paraty (RJ). *Ciência Florestal*, v. 17, p. 129-136, 2007.
- SIXEL, R. M. M. Silvicultura e Manejo. Nota técnica IPEF, Piracicaba, 2008. Disponível em: <https://www.ipef.br/silvicultura/manejo.asp>. Acesso em: 20/01/2020.
- SOUZA, J. P.; MELO, N. M. J.; HALFELD, A. D.; REIS, J. N. Shading effects on leaf life span and functional traits in the widespread species *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. *Acta Scientiarum*, v. 39, n. 1, p. 113-122, 2017.
- STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; GRATTAPAGLIA, D.; CAMPOE, O.; ALVARES, C.; GOMES, F.; MATTOS, E.; OTTO, M.; HAKAMADA, R.; MORAES, M. T. Fatores hídricos e as decisões de silvicultura, de melhoramento e de proteção na eucaliptocultura. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA. Anais. Curitiba: Embrapa Florestas, 2014. p. 81-98, 2014.
- STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R. A.; TAKAHASHI, E. N.; SILVIA, C. R.; SILVA, S. R.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M. A.; LIMA, A. M. N.; GAVA, L.; LEITE, P. F.; ANDRADE, H. B.; ALVES, J. M.; SILVA, G. G. C. AZEVEDO, M. R. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. *Forest Ecology and Management*, v.259, p.1684-1694, 2010.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. Artmed, 2017.
- TANGJANG, S.; NAIR, P. K. R. Integrated bamboo pine homegardens: A unique agroforestry system in Ziro Valley of Arunachal Pradesh, India. *International Journal of Environmental & Agriculture Research*, v. 2, 2016.
- TATAGIBA, S. D.; SANTOS, E. A.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. MUDAS DE *Coffea canephora* CULTIVADAS SOB SOMBREADAS E A PLENO SOL. *Engenharia na agricultura*, v.18, p. 219-226, 2010.
- TILMAN, D.; FARGIONE, J. WOLFF, B.; ANTONIO, C.; DOBSON, A. HOWARTH, R.; SCHINDLER, D. SCHLESINGER, W.H.; SIMBERLOFF, D. SWACKHAMER, D. Forecasting Agriculturally Driven Global Environmental Change. *Science*, v. 292, 2001.
- TORRALBA, M.; FAGERHOLM, N.; BURGESS, P. J.; MORENO, G.; PLIENINGER, T. Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A metaanalysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, p. 150-161, 2016.
- UDAWATTA, R. P.; KREMER, R. J. NELSON, K. A.; JOSE, S.; BARDHAN, S. Soil Quality of a Mature Alley Cropping Agroforestry System in Temperate North America. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 45, p. 2539-2551, 2014.
- VARELLA, L. B.; SANTANA, A. C. ASPECTOS ECONÔMICOS DA PRODUÇÃO E DO RISCO NOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS E NOS SISTEMAS TRADICIONAIS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA EM TOMÉ-AÇU, PARÁ – 2001 A 2003. *R. Árvore*, v.33, n.1, p.151-160, 2009.
- VIEIRA, T. A.; ROSA, L. S. VASCONCELOS, P. C. S.; SANTOS, M. M. MODESTO, R. S. Sistemas agroflorestais em áreas de agricultores familiares em Igara-pé-Açu, Pará: caracterização florística, implantação e manejo. *Acta Amazonica*, v. 37, p.549 – 558, 2007.

- VIERA, T. O.; DEGLI-ESPOSTI, M. S. O.; SOUZA, G. M.; RABELO, G. R.; CUNHA, M.; VITORIA, A. P. Photoacclimation capacity in seedling and sapling of *Siparuna guianensis* (Siparunaceae): Response to irradiance gradient in tropical forest. *Photosynthetica*, v.53, p.11-22, 2015.
- WU, F.; WANG, X. Effect of Monocropping and Rotation on Soil Microbial Community Diversity and Cucumber Yield and Quality under Protected Cultivation. Horticulture College, 2007.
- ZANCHI, F. B.; WATERLOO, M. J.; AGUIAR, L. J. G.; RANDOW, C. V. ; KRUIJT, B.; CARDOSO, F. L.; MANZI, A. O. Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) e Biomassa em pastagem no estado de Rondônia, Brasil. *Acta Amazonica*, v. 39, p.335 – 348, 2009.
- ZANELLA, F.; SONCELA, R.; LIMA, A. L. S. Formação de mudas de mzanella, f. et al. aracujazeiro amarelo sob níveis de sombreamento em JI-PARANÁ/RO. *Ciência e agrotecnologia* , v. 30, n. 5, p. 880-884, 2006.
- ZIMMERMANN, C. L. Monocultura E Transgenia: Impactos Ambientais E Insegurança Alimentar. *Veredas do Direito*, v.6, p.79-100, 2009.