



JORCÉLIO CABRAL MOREIRA

FENOTIPAGEM DE RACHADURAS EM CLONES DE
Eucalyptus spp.

LAVRAS - MG
2020

JORCÉLIO CABRAL MOREIRA

FENOTIPAGEM DE RACHADURAS EM CLONES DE *Eucalyptus spp.*

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Profa. Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves
Orientadora

Dra. Izabel Cristina Rodrigues de Figueiredo
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2020**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA,
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Moreira, Jorcélio Cabral.

Fenotipagem de rachaduras em clones de *Eucalyptus spp.* / Jorcélio Cabral Moreira. - 2020.

61 p. : il.

Orientadora: Flávia Maria Avelar Gonçalves.

Coorientadora: Izabel Cristina Rodrigues de Figueiredo

Dissertação (Mestrado profissional) - Universidade Federal de Lavras,
2020.

Bibliografia.

1. Melhoramento genético. 2. Análise de imagem. 3. Análise visual. I. Gonçalves, Flávia Maria Avelar. II. Figueiredo, Izabel Cristina Rodrigues de. III. Título.

JORCÉLIO CABRAL MOREIRA

FENOTIPAGEM DE RACHADURAS EM CLONES DE *Eucalyptus spp.*

SPLIT PHENOTYPING IN CLONES OF *Eucalyptus spp.*

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 26 de junho de 2020.

Prof. Dr. Magno Antônio Patto Ramalho	UFLA
Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo	UFLA
Dra. Izabel Cristina Rodrigues de Figueiredo	PLANTAR

Profa. Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves
Orientadora

Dra. Izabel Cristina Rodrigues de Figueiredo
Coorientadora

LAVRAS-MG
2020

*À minha mãe Maria Aparecida, pela força e carinho ao longo desta jornada.
Ao meu pai Jovelino, por ser um apoiador incondicional.
Ao meu irmão Joelmir, pelo incentivo de sempre.
Dedico*

AGRADECIMENTOS

À empresa PLANTAR, por me liberar para frequentar as aulas e permitir executar o experimento deste projeto nas instalações da empresa.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Genética e Melhoramento de Plantas, pela oportunidade.

Aos meus pais, por entenderem a minha ausência neste período de muita dedicação.

À Izabel Figueiredo, por me incentivar e sempre acreditar em mim. Levo a sua amizade para o resto da minha vida.

À professora Flávia, pela orientação, paciência, dedicação e confiança depositada em mim.

Ao professor Vinícius, por colaborar com ideias essenciais para o processamento de imagens.

Ao Gustavo Pucci, colega do acadêmico, pela imensa ajuda com as análises genéticas e estatísticas.

Aos Professores Magno Antônio Patto Ramalho e Lucas Amaral de Mello, componentes da banca examinadora, pelas importantes contribuições dadas à versão final desta dissertação.

Aos professores do curso, pela dedicação e qualidade das aulas.

Aos colegas de trabalho: Anderson, Arlete, Carlos Daniel, Daniela, Dinho, Ênio, Gilmara, Gislene, Marcelo e Rogério, pela ajuda nas rotinas de trabalho do dia a dia e na execução do experimento.

Ao meu companheiro Adriano, por me incentivar e sempre me acalmar nos momentos de aflições.

Ao Dirceu, grande amigo que fiz nessas idas a Lavras, por ceder seu lar e sua companhia nas semanas de aula. As horas de conversas que tínhamos eram sempre muito boas.

À turma do mestrado profissional em Genética e Melhoramento de Plantas de 2018/1. Aprendi muito, convivendo com vocês, em especial ao Lander e a Jéssica.

RESUMO

Na atualidade, o eucalipto é a madeira mais estudada no intuito de atender ao mercado de madeira tratada, em razão das inúmeras vantagens do gênero, como crescimento rápido, boa forma, boa aceitação no mercado e fácil reprodução. Contudo, existem algumas limitações do eucalipto para atender a esse segmento. A principal delas está associada ao rápido crescimento das árvores, que acabam desenvolvendo tensões internas na árvore viva, chamadas de tensões de crescimento. Essas tensões levam ao aparecimento de rachaduras nas toras e, conseqüentemente, o produto diminui o rendimento físico e lucrativo para determinados usos. A principal avaliação usada na seleção de clones para o segmento de madeira tratada nos programas de melhoramento genético é a do índice de rachadura do topo de tora, por meio de medição manual. Contudo, o uso desse procedimento para analisar vários clones de uma única vez é muito moroso. Desse modo, conduziu-se este trabalho, com o objetivo de comparar metodologias de fenotipagem de rachadura de topo de tora quanto à eficiência e ao tempo gasto na seleção de clones. Para tanto, foram utilizadas as metodologias de avaliação, por meio de aferição manual, visual (por nota) e por imagem. Utilizaram-se 32 clones selecionados por volume em um teste clonal ampliado plantado em dois espaçamentos (3 x 3 e 3 x 5 metros). De cada espaçamento cortaram-se duas árvores de cada clone para a retirada das amostras. Essas foram de um metro cada, coletadas em quatro alturas (0%, 25%, 50%, e 75% da altura comercial). A acurácia seletiva foi considerada muito alta para as três metodologias (acima de 96%), verificando variabilidade genética na população para o caráter rachadura de topo de tora. O índice de coincidência entre as metodologias de fenotipagem quando se aplicou uma intensidade de seleção de 12,5% foi de 71%, ou seja, dos quatro clones selecionados, três foram coincidentes. As estimativas dos coeficientes da correlação de Spearman entre as metodologias apresentaram valores positivos de alta magnitude. Dessa maneira, pode-se dizer que as três metodologias foram eficientes para a avaliação de rachadura de topo de tora, porém o tempo e os recursos gastos na avaliação manual foram maiores que nas avaliações visual e fotográfica. Indicando que a utilização das duas últimas avaliações deve ser preferida.

Palavras-chave: Melhoramento genético. Análise de imagem. Análise visual. Qualidade da madeira. Madeira Tratada

ABSTRACT

Eucalyptus is, currently, the most studied wood in the treated wood market due to its innumerable advantages, such as rapid growth, good shape, good market acceptance, and easy reproduction. However, there are a few limitations to eucalyptus in this segment. Primarily, the rapid growth of trees can cause internal tensions in the living tree, called growth tensions, which lead to the appearance of splits in the logs. Consequently, the physical and profitable performance of the product decreases for specific uses. The log-splitting index is the main assessment used to select clones for the treated wood segment in breeding programs by manual measurement. However, this procedure is highly time-consuming to analyze several clones at once. Thus, the present work aimed to compare end split log phenotyping methodologies in terms of efficiency and time spent in clone selection. For this purpose, the evaluation methodologies were used through manual, visual (per score), and image measurements. A total of 32 clones selected by volume were used in an expanded clonal test planted in two spacings (3 x 3 and 3 x 5 meters). Two trees from each clone were cut from each spacing for sampling. The samples consisted of one meter each, collected at four heights (0%, 25%, 50%, and 75% of the commercial height). The selective accuracy was considered very high for the three methodologies (above 96%), demonstrating genetic variability for end split logs in the population. The coincidence index between phenotyping methodologies was 71% when a selection intensity of 12.5% was applied. In other words, three of four selected clones coincided. The estimates of the Spearman correlation coefficients between the methodologies showed positive values of high magnitude. Therefore, all three methodologies were efficient for assessing end split logs. However, the time and resources spent on manual evaluation were much higher than on visual and photographic assessments, indicating that the use of the last two evaluations is preferable.

Keywords: Breeding. Image analysis. Visual analysis. Wood quality. Treated wood.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Medição manual de rachaduras.....	29
Figura 2 - Imagem original (A) e imagens processadas pelo software, B-Área da face e C- Área das rachaduras.....	30
Figura 3 - Deslocamento da casca ao redor da face sendo contabilizado como rachadura. A- Foto original e B- Foto processada.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala de notas para avaliação de rachadura de topo de tora.	30
Tabela 2 - Resumo das análises de variância individual por espaçamento para os métodos de avaliações manual, visual e imagem.	34
Tabela 3 - Resumo das análises de variância conjunta dos espaçamentos para os métodos de avaliações manual, visual e imagem.	35
Tabela 4 - Resumo do agrupamento de clones realizado pelo teste de Scott-Knott na análise conjunta das três metodologias avaliadas.	36
Tabela 5 - Clones selecionados nas três metodologias levando em consideração os dois espaçamentos, aplicando uma intensidade de seleção de 12,5%.	36
Tabela 6 - Correlação de Spearman dos dados fenotípicos (abaixo da diagonal) para diferentes metodologias de avaliação de rachadura de topo de tora e índice de coincidência de quatro clones selecionados com uso da intensidade de seleção de 12,5% (acima da diagonal).	37
Tabela 7 - Tempo consumido na avaliação de rachadura de topo de tora nas três metodologias aplicadas.	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Histórico do melhoramento genético de eucalipto no Brasil	13
2.2	Tratamento preservativo da madeira	16
2.3	Anatomia da madeira	18
2.4	Rachaduras de topo de tora	22
2.5	Fenotipagem	25
3	MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1	Local	27
3.2	Condução dos experimentos	27
3.3	Avaliação de rachadura	27
3.3.1	Avaliação manual	28
3.3.2	Análise de imagem	29
3.3.3	Avaliação por nota	30
3.4	Análises estatísticas	31
3.5	Correlação de Spearman	32
3.6	Índice de coincidência	32
3.7	Avaliação de tempo gasto nas avaliações	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
5	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS	40
	APÊNDICE A - ROTINA PARA PROCESSAMENTO DAS ÁREAS DE RACHADURA NO SOFTWARE PYTHON	45
	APÊNDICE B - AGRUPAMENTO DE MÉDIA PELO TESTE SCOTT-KNOTT DOS CLONES LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO A ANÁLISE INDIVIDUAL DE CADA ESPAÇAMENTO (3X3 E 3X5) E A ANÁLISE CONJUNTA PARA A METODOLOGIA MANUAL	49
	APÊNDICE C - AGRUPAMENTO DE MÉDIA PELO TESTE SCOTT-KNOTT DOS CLONES LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO A ANÁLISE INDIVIDUAL DE CADA ESPAÇAMENTO (3X3 E 3X5) E A ANÁLISE CONJUNTA PARA A METODOLOGIA VISUAL	50
	APÊNDICE D - AGRUPAMENTO DE MÉDIA PELO TESTE SCOTT-KNOTT DOS CLONES LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO A ANÁLISE INDIVIDUAL DE CADA ESPAÇAMENTO (3X3 E 3X5) E A ANÁLISE CONJUNTA PARA A METODOLOGIA COM FOTOS	51
	ANEXO A - TUTORIAL PARA PROCESSAMENTO DE FOTOS PARA ANÁLISE DE RACHADURA DE TOPO DE TORA NO SOFTWARE PYTHON	52

1 INTRODUÇÃO

O *Eucalyptus* está entre os mais bem-sucedidos gêneros plantados nas zonas tropicais e subtropicais do planeta, em função do rápido crescimento das plantas. Além disso, a diversidade de espécies também contribui para sua produtividade, uma vez que proporciona a sua estabilização em diferentes condições edafoclimáticas.

No Brasil, em razão da boa adaptação das espécies às condições de clima e solo, as florestas plantadas com eucalipto têm aumentado muito, os plantios, em 2018, ocupavam 5,7 milhões de hectares distribuídos nos seguintes estados: Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Bahia, Rio Grande do Sul, Paraná, Santa Catarina, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso, Tocantins, Pará, Maranhão, Piauí e Amapá (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES -IBÁ, 2019).

Essa expansão dos plantios de eucalipto possibilita que a sua madeira tenha vários destinos, sendo que os principais segmentos para o uso industrial no país são: celulose e papel, lenha industrial, carvão, painéis reconstituídos, indústria madeireira e madeira tratada.

No intuito de atender ao mercado de madeira tratada, o eucalipto é a espécie mais estudada para esse fim. Em decorrência, principalmente, das inúmeras vantagens do gênero, como crescimento rápido, boa forma, boa aceitação no mercado e fácil reprodução, sendo essas características importantes para a cadeia produtiva.

Nos últimos anos, o uso de madeira tratada vem se destacando no país e isto se deve a uma fiscalização mais efetiva, visando a coibir a extração ilegal de madeira de espécies nativas. Esse aumento do consumo de madeira tratada, demandou a realização de pesquisas tendo como foco a melhoria da qualidade da madeira voltada para a produção de sólidos. Dessa forma, o melhoramento genético, associado à tecnologia, tem contribuído bastante para esse avanço. Porém, sabe-se que os estudos de seleção de genótipos direcionados para o segmento de madeira tratada ainda são escassos.

Contudo, existem algumas limitações do eucalipto para atender ao segmento. A principal delas está associada ao rápido crescimento das árvores, que acabam desenvolvendo tensões internas na árvore viva, chamadas de tensões de crescimento. Essas tensões levam ao aparecimento de rachaduras nas toras e, conseqüentemente, o produto diminui o rendimento físico e lucrativo para determinados usos.

O programa de melhoramento pode obter ganhos para a qualidade da madeira em relação à tensão de crescimento, uma vez que parte do seu controle é decorrente dos efeitos genéticos, e tem-se uma grande variabilidade entre as espécies. A fenotipagem usada na

seleção de clones para o segmento de madeira tratada nos programas de melhoramento genético é a do índice de rachadura do topo de tora. Esse índice que tem trazido bons resultados, é obtido a partir da medição do diâmetro da tora e do comprimento e largura das rachaduras de topo de tora.

O índice de rachadura de topo de tora é muito utilizado na seleção de clones para madeira serrada verde e, sendo assim, a avaliação acontece num período de 48 a 72 horas após o corte das árvores. Nesse pequeno intervalo entre o corte das árvores e a medição, poucas e pequenas rachaduras surgem na tora. Entretanto, a avaliação de rachadura para a seleção de clones para o segmento de madeira tratada acontece, aproximadamente, 30 dias após o corte, em decorrência do teor de umidade na madeira. Assim, quando se tem muitos clones, a medição pode levar alguns dias e isto pode mascarar o resultado da análise, porque os indivíduos não estão sendo analisados ao mesmo tempo. Além disso, os dados precisam ser digitalizados e processados, o que demanda ainda mais tempo, ou seja, os procedimentos utilizados tornam o desenvolvimento da análise um processo moroso.

Outras metodologias tornariam o processo menos moroso. Uma dessas metodologias seria a avaliação visual, onde cada avaliador daria nota conforme um parâmetro pré-estabelecido por uma escala de notas.

A avaliação por análise de imagem também reduziria esse tempo gasto na avaliação, desde que o software utilizado faça a leitura das áreas das rachaduras e da área da face de forma automatizada de acordo com algum comando.

Alguns estudos, como o de Minini *et al.* (2018), foram realizados, utilizando-se um tipo de análise de imagem, no qual o índice também foi estabelecido, a partir da medição do diâmetro da tora e do comprimento e largura das rachaduras. A vantagem desse método é que a fotografia pode ser obtida em um tempo menor do que o tempo gasto na avaliação manual, porém, o tempo para medir o diâmetro e as rachaduras seria basicamente o mesmo. Isto é, o problema sobre o tempo de avaliação entre os clones é amenizado quando se tem muitos clones, mas a avaliação em si continua sendo demorada.

Entretanto, com o suporte das tecnologias no processamento de imagem pode-se promover o emprego de uma metodologia que economize tempo e que seja precisa na seleção de clones para tratamento de madeira. Desse modo, neste trabalho, objetivou-se comparar metodologias de fenotipagem de rachadura de topo de tora quanto à eficiência e ao tempo gasto na seleção de clones.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Histórico do melhoramento genético de eucalipto no Brasil

O percurso histórico do melhoramento genético do eucalipto no Brasil está ligado aos primeiros estudos com essa cultura, iniciado por Edmundo Navarro de Andrade, a partir de 1904, na extinta Companhia Paulista de Estradas de Ferro. O plantio do eucalipto foi estimulado nessa época, buscando fornecer, no menor tempo possível, o combustível e a madeira para os postes e dormentes necessários para a ferrovia. As espécies *E. grandis*, *E. saligna* e *E. urophylla* foram identificadas como as mais promissoras, entretanto, o plantio dessas espécies apresentava baixa qualidade, o que se demandava iniciar as pesquisas com intuito de melhorar os genótipos existentes (FERREIRA; SANTOS, 1997).

Em 1941, Edmundo Navarro convidou Carlos Arnaldo Krug, do Instituto Agrônômico de Campinas (IAC), para elaborar um programa de melhoramento genético de eucalipto. Neste programa, objetivou-se: melhorar a uniformidade das plantações; reduzir o número de falhas e o número de árvores dominadas; melhorar a forma do tronco, as características dos ramos, o crescimento em altura e o diâmetro das árvores; melhorar a capacidade de brotação e aumentar a produtividade (FERREIRA; SANTOS, 1997).

Nos anos seguintes, foram conduzidos programas intensivos de seleção de áreas de produção de sementes, seleção de árvores superiores, síntese de híbridos interespecíficos e seleção de híbridos espontâneos, além da introdução de novas espécies e de híbridos selecionados em outros países. De acordo com Ferreira e Santos (1997), os testes dos materiais genéticos demonstraram alta potencialidade, sobretudo para os híbridos interespecíficos *E. grandis* x *E. urophylla* e *E. grandis* x *E. tereticornis*, produzidos por polinização controlada, assim como os efeitos depressivos da autofecundação em *E. grandis* x *E. urophylla*.

A década de 1960 é reconhecida como o marco para a consolidação e expansão da pesquisa florestal com eucalipto no Brasil. No início da década, foi realizada a 2ª Conferência Mundial do Eucalipto que teve grande repercussão nacional. Também, nessa década, aconteceram dois fatores importantes para o desenvolvimento da pesquisa florestal. O primeiro foi a criação dos cursos pioneiros de Engenharia Florestal no país. E o segundo foi a Lei de Incentivos Fiscais para o Reflorestamento que impulsionou a criação das cooperativas de pesquisa, destacando-se o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF, a Sociedade

de Investigações Florestais - SIF e a Fundação de Pesquisas e Estudos Florestais - FUPEF, associados às universidades (FERREIRA; SANTOS, 1997).

Especificamente, no ano de 1967, deu-se início a um intenso programa de melhoramento genético, por meio da seleção de árvores superiores, ao mesmo tempo em que se implantava o programa de certificação de sementes (CASTRO *et al.*, 2016; FERREIRA; SANTOS, 1997). O plantio, nesse período, era realizado com sementes, contudo, rapidamente observou-se que árvores plantadas, dessa forma, obtinham baixa produtividade e problemas com patógenos. Visando a minimizar essa questão, diferentes espécies foram cruzadas para se obter híbridos, com o objetivo de melhor explorar o potencial de cada uma delas. Isso promoveu maior vigor e redução da suscetibilidade a doenças, em decorrência da heterose. A resistência ao cancro, por exemplo, foi um relevante marco para aquela época, já que o primeiro surto importante dessa doença apareceu no final dos anos 1960 (CASTRO *et al.*, 2016).

No início da década de 1970, as preocupações mantiveram-se voltadas ao melhoramento genético, período considerado um marco inicial das pesquisas aplicadas. Esse movimento se deu, principalmente, em função de recursos financeiros provenientes da Lei de Incentivos Fiscais que foram disponibilizados para a aplicação em projetos de pesquisa. Naquele período, com a implementação dos projetos de reflorestamento com recursos dessa lei, dois grandes problemas se destacaram. O primeiro foi a falta de sementes de boa qualidade para atender à demanda e o outro se estabeleceu a partir da falta de conhecimentos básicos sobre as espécies indicadas para o plantio nas diversas regiões. Diante disso, buscando resolver essas questões, o órgão que administrava a execução dos projetos incentivados de reflorestamento, o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), estabeleceu um convênio com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e a Food and Agriculture Organization (FAO), para organizar a pesquisa florestal em âmbito federal. Assim, foi criado o Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal (PRODEPEF), que deu início às pesquisas florestais, com grande ênfase no melhoramento florestal (SHIMIZU, 2001).

Nesse contexto, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em 1978, criou o Programa Nacional de Pesquisa Florestal (PNPF) e a Unidade Regional de Pesquisa Florestal Centro-Sul que, posteriormente, se tornou o Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. Nesse período, já havia muitas espécies florestais em uso intensivo, no Brasil, para fornecimento de matéria-prima para as indústrias de celulose e papel, carvão siderúrgico, madeira serrada, chapas e outros produtos. Contudo, grande parte das pesquisas sobre

melhoramento genético era desenvolvida de forma isolada, “por empresas do setor florestal e instituições de pesquisa, nas Regiões Sul e Sudeste, com ênfase em ensaios de espécies e procedências, instalação de áreas de produção de semente e pomares de semente” (SHIMIZU, 2001, p. 76).

Nesse contexto, foi constatado que, principalmente com o eucalipto, não houve o progresso esperado em relação à produtividade e qualidade. Em parte, esse efeito se devia à restrição da base genética e às hibridações interespecíficas descontroladas. Por outro lado, o genótipo disponível não era apropriado para plantios nas novas fronteiras que se expandiam por áreas sem tradição florestal no resto do país. A partir dessa constatação e buscando resolver essas questões, a Embrapa constituiu e coordenou o Grupo de Trabalho em Melhoramento Genético Florestal, congregando especialistas das principais instituições de pesquisa e universidades (SHIMIZU, 2001).

Entretanto, no período que compreende a segunda metade da década de 1970 até o ano de 1990, destacou-se o fim do subsídio para o setor florestal, revelando um cenário efetivamente competitivo, em que as empresas se viram obrigadas a produzir mais e melhor, a custos menores. A pesquisa florestal ligada ao melhoramento genético foi reorientada no intuito de diminuir custos, desativando laboratórios de sementes e de qualidade da madeira e de solos (FERREIRA; SANTOS, 1997).

No setor de celulose e papel, a silvicultura clonal passou a ser a prioridade, diante dos altos rendimentos por ela obtidos em curto prazo e pelos benefícios administrativos, quantitativos e econômicos. Assim, as pesquisas básicas em melhoramento genético florestal são preteridas, em relação à preocupação com a árvore, como unidade de propagação clonal. E nos anos 1990, nas regiões em que os programas de melhoramento são mais avançados, Sul e Sudeste, há um foco na melhora da capacidade de rebrota do *E. grandis*, por meio da hibridização, utilizando gerações avançadas melhoradas das espécies (FERREIRA; SANTOS, 1997).

Dos anos 2000 em diante, de acordo com Foelkel (2007), com relação à qualidade da madeira e da floresta, tem se buscado o melhoramento genético, no intuito de selecionar clones mais produtivos no aspecto florestal e industrial. A intenção é o desenvolvimento de clones com maior quantidade de produtos finais produzidos, menor consumo específico, menor desperdício e mais qualidade desses produtos finais. Finalmente, destacam-se na atualidade, a genômica e biotecnologia como novas ferramentas, colaborando no estabelecimento das melhores correlações entre as expressões fenotípicas e as sequências do mapeamento genético. Os caracteres pesquisados envolvem a densidade da madeira;

sensibilidade a pragas, doenças, frio e herbicidas; forma das árvores; teor de lignina, rendimento em produção de celulose.

2.2 Tratamento preservativo da madeira

À medida que o melhoramento genético tem impulsionado a produtividade florestal e industrial, o eucalipto tem se destacado entre as diversas espécies de interesse econômico, plantadas, comercialmente, nas zonas tropicais e subtropicais. Esse gênero apresenta rápido crescimento, diversidade de espécies e várias possibilidades de usos industriais. As características apresentadas pelo eucalipto fazem com que ele se converta numa fonte de matéria-prima fabril de destaque, sobretudo, pela sua capacidade produtiva e adaptabilidade a ambientes distintos (ASSIS, 1999).

Em 2018, no Brasil, 1,4 milhão de metros cúbicos de madeira de eucalipto foram tratados e comercializados (IBÁ, 2019). Ainda que o consumo de madeira destinada à indústria de preservação seja inferior se comparado a outros setores da base florestal, existe uma alta demanda por esse tipo de produto. De forma geral, essa madeira é empregada com frequência na arquitetura rural, em construções de pontes, em linhas de transmissões e em mourões para cerca. Além das construções e benfeitorias rurais, a madeira do eucalipto vem sendo usada na construção civil, assim como na confecção de móveis para ambientes externos e internos.

Por muito tempo, a madeira foi vista como material impróprio para a construção, principalmente, em decorrência da concepção de que sua vida útil seria muito curta para esse fim. Contudo, apesar de estar sujeita ao ataque de organismos deterioradores sob determinadas condições, a madeira pode tornar-se um material muito durável, desde que preparada com tecnologia e tratamento preservativo eficiente. A partir da aplicação desses mecanismos, a proteção efetiva da madeira pode atingir períodos longos, chegando a 50 anos ou mais (CALIL JUNIOR; DIAS, 1997).

Considerando-se que grande parte das espécies de eucalipto é susceptível ao ataque de organismos deterioradores, Silva (2005) corrobora, destacando que o tratamento químico fornece proteção contra fungos e insetos xilófagos, aumentando a vida útil da madeira. Nesse sentido, Vivian *et al.* (2012) enfatizam que diante de situações em que a madeira é submetida a condições adversas ou ao contato com o solo, a alta durabilidade torna-se uma qualidade essencial. No entanto, quando a madeira não apresenta a durabilidade natural necessária é

imprescindível que apresente facilidade de impregnação para que possa passar por tratamentos de preservação.

No contexto atual, o tratamento de madeira tem ganhado destaque entre as diversas atividades realizadas no segmento florestal, especialmente, quando se pretende usá-la em sua forma natural. O processo consiste, basicamente, em se introduzir produtos químicos na estrutura da madeira, de forma que ela passe a ser tóxica aos organismos que a utilizam para se alimentarem (ROCHA *et al.*, 2016). A seiva da madeira é substituída por solução que contém elementos preservantes que, após a secagem, permanecem retidos dentro da madeira.

O tratamento pode ser realizado manualmente ou por processo industrial com a utilização de equipamentos específicos. O processo de tratamento manual é frequentemente utilizado em pequenas propriedades para o tratamento de mourões, em ambiente aberto e ventilado. Já o tratamento industrial é realizado a vácuo ou sob pressão em autoclave que é um cilindro que suporta pressão, onde a madeira é introduzida e, em seguida, os produtos químicos preservantes são injetados (SILVA, 2005). Dentre os métodos de preservação de madeira mundialmente utilizados, os mais eficientes são os aplicados sob condições de vácuo e pressão, destacadamente, o processo Bethell ou método da “célula cheia”. Nesse método, as células da madeira são preenchidas com o máximo de produto preservativo.

Os preservantes mais utilizados são o creosoto, pentaclorofenol (óleos solúveis) e a associação entre vários sais, como sulfato de cobre, bicromato de potássio ou sódio, sulfato de zinco, ácido crômico, ácido arsênico, ácido bórico (hidrossolúveis). Um dos principais produtos preservantes da madeira é o arseniato de cobre cromatado (CCA), produto hidrossolúvel a base de cobre, cromo e arsênio que deve ser utilizado por processos preservativos a vácuo e pressão, principalmente de célula cheia. Ainda que não haja preservativo para a madeira totalmente seguro ao homem e altamente efetivo contra deterioração biológica, o CCA apresenta-se como o mais eficiente e com melhor relação benefício/custo (ARAÚJO; MAGALHÃES; OLIVEIRA, 2012).

Apesar da ampla aceitação do CCA, a presença do arsênio faz com que esse preservante apresente toxidez ao homem. Na tentativa de buscar a solução para essa questão, o preservativo borato de cobre cromatado (CCB) foi desenvolvido, na Alemanha, no início dos anos 1960. Entretanto, esse produto que substitui o arsênio por boro na composição apresenta desvantagens significativas, como maior lixiviação e menor eficiência para a proteção contra insetos. Dessa forma, o CCA segue sendo o preservativo responsável pelo maior volume de madeira tratada e tem sido utilizado no mundo inteiro (ARAÚJO; MAGALHÃES; OLIVEIRA, 2012).

As empresas de preservação em autoclaves oferecem garantia de durabilidade para a madeira tratada com CCA de 15 anos, considerando a madeira utilizada em contato com o solo. Enquanto uma durabilidade que varia de 20 a 30 anos é indicada por indústrias químicas fabricantes dos produtos preservativos. De forma geral, além da qualidade do preservativo, a durabilidade da madeira preservada também é influenciada pelo processo utilizado para o tratamento, pelas características anatômicas da madeira, pela presença de substâncias recalcitrantes e condições ambientais (ARAÚJO; MAGALHÃES; OLIVEIRA, 2012). No caso do eucalipto, de acordo com Beltrame *et al.* (2012), apesar da madeira apresentar inúmeros atributos para fins madeireiros, esse gênero apresenta limitações decorrentes das tensões de crescimento.

2.3 Anatomia da madeira

A madeira é um tecido originário de um sistema biológico complexo e, por isso, torna-se um material de extrema variabilidade. Sua estrutura e composição química, bem como suas propriedades físicas e mecânicas, variam significativamente entre espécies, entre árvores de uma mesma espécie e, entre diferentes partes de uma mesma árvore. A variabilidade encontrada dentro de uma árvore, deve-se, provavelmente, às mudanças sofridas pelo câmbio durante o envelhecimento e modificações impostas pelas condições ambientais (OLIVEIRA; SILVA, 2003).

Formada a partir do cambio vascular, a madeira tem em sua constituição distintos tipos de células lenhosas que se organizam de diferentes formas e proporções, determinando suas propriedades tecnológicas (EVANGELISTA *et al.*, 2010). No grupo das folhosas, as principais células que formam a madeira são: as fibras libriformes e os fibrotraqueídeos, responsáveis pela resistência mecânica; os elementos de vaso, responsáveis pelo transporte de água e nutrientes; e as células parenquimáticas, que constituem os tecidos, tanto axial quanto radial, responsáveis pelo armazenamento e pela condução de nutrientes naquelas direções (MOREIRA, 1999).

Esses elementos anatômicos são formados pela diferenciação das iniciais cambiais ou iniciais fusiformes, que originam as células dispostas no sentido longitudinal (traqueídes, fibras, vaso e parênquima axial) e as iniciais radiais, que originam as células que se colocam no sentido radial (raios). O processo de desenvolvimento tem cinco etapas: 1) divisão celular; 2) diferenciação; 3) crescimento em área; 4) espessamento da parede e 5) lignificação (MOREIRA, 1999).

Segundo Cruz (2000), o aumento das dimensões de alguns elementos anatômicos da madeira, como o comprimento de fibra e a espessura de parede, ocorrem, em razão do grande desenvolvimento da madeira nas espécies do gênero *Eucalyptus*. Esse autor relata, ainda, que o crescimento inicial das células da madeira é acelerado e sua multiplicação acontece antes de atingirem o tamanho genético característico da espécie.

De uma forma geral, a parede celular das fibras é composta por três camadas, sendo elas a lamela média, a parede primária e a parede secundária. A parede secundária é subdividida nas camadas S1, S2 e S3, caracterizando as regiões: externa, mediana e interna, respectivamente. Essas camadas se diferem em espessura, orientação de microfibrilas e composição. A camada exterior (S1) e a interior (S3) possuem microfibrilas orientadas aproximadamente de maneira transversal e a camada intermédia (S2) é muito mais grossa que as outras duas e apresenta microfibrilas orientadas, longitudinalmente, em relação ao comprimento da célula. Essa orientação proporciona à célula grande resistência à tensão e à compressão (FENGEL; WAGENER, 1984). Além disso, a natureza das células depende da idade do tecido cambial, o que contribui para a variabilidade de características do lenho. Nessa concepção, diferentes zonas de madeira podem ser distinguidas dentro da árvore. No sentido radial, a madeira juvenil corresponde a uma região cilíndrica na parte central da árvore, com diâmetro quase uniforme, se estendendo da base ao topo e podendo formar parte do alburno ou do cerne no tronco, caso este último já esteja presente (BALLARIN; PALMA, 2003; EVANS; SENFT; GREEN, 2000; KRAHMER, 1986; RAMOS *et al.*, 2011; ZOBEL; BUIJETNEN, 1989).

O alburno, parte da madeira juvenil, é formado por células funcionais. Essas células são responsáveis pela condução ascendente de água e dos solutos que estão dissolvidos nela e, geralmente, são de coloração mais clara. As células do alburno passam a constituir o cerne a partir do momento em que se tornam inativas para o transporte de água. Esse processo, denominado cernificação, pode conter substância que lhe dão a coloração mais escura (óleos, resinas, gomas e compostos fenólicos) e, ao mesmo tempo, podem proporcionar maior durabilidade natural (COSTA *et al.*, 2003).

O processo de cernificação, para Silva e Trugilho (2003), além da morte celular do parênquima radial, é caracterizado pelo consumo de amido e aumento do conteúdo de extrativos e tilos, em gêneros como o *Eucalyptus*. A impermeabilidade do cerne, causada pela obstrução dos vasos por tilos, dificulta o transporte de água do interior para o exterior da madeira e, conseqüentemente, retarda o processo de secagem da madeira (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

A madeira juvenil frequentemente caracteriza-se por uma maior contração longitudinal, maior proporção de lenho e maior conteúdo de celulose. Entretanto, também caracterizam a madeira juvenil, traqueídes mais curtos, contração transversal menor, uma menor porcentagem de lenho tardio, paredes celulares mais finas e, conseqüentemente, uma menor resistência em relação à madeira adulta (BENDTSEN, 1978; PALMA; LEONELLO; BALLARIN, 2010; RAMOS *et al.*, 2011; ZOBEL, 1984).

Já, a madeira adulta, que corresponde a uma região mais próxima da casca, apresenta características anatômicas mais favoráveis em relação à madeira juvenil, como um maior comprimento das fibras e menor ângulo microfibrilar da camada S2 da parede celular. Tais características conferem à madeira adulta uma vantagem em termos de estabilidade e menor disposição a defeitos, durante a secagem e processamento mecânico (RAMOS *et al.*, 2011).

As diferenças entre um lenho juvenil e um lenho adulto são corroboradas por Latorraca e Albuquerque (2000), que entendem que a porção da madeira correspondente aos primeiros anéis de crescimento formados apresenta menor massa específica e fibras mais curtas, entre outras características que reforçam esta diferenciação. Segundo esses autores, as propriedades físicas da madeira de várias espécies variam conforme o raio de crescimento.

Nesse contexto, deve-se ainda destacar que a densidade básica da madeira é a propriedade física mais estudada, por ser considerada um forte indicador de qualidade da madeira. Trata-se de uma característica complexa, resultante da combinação de diversos fatores; incluindo as possibilidades diversas de variações, nos sentidos radial e axial e a influência dos fatores internos e externos. Considerando como fatores internos, a posição no tronco, a proporção de madeira adulta e juvenil, a proporção de cerne e albúrnio; e como fatores externos, o local de crescimento, as condições climáticas e os métodos silviculturais (MIRANDA *et al.*, 2012).

As variações da densidade, influenciada por fatores internos, dependem das mudanças no tamanho dos vasos e das espessuras das paredes celulares das fibras. A ocorrência do aumento da espessura da parede celular ou da proporção das fibras em relação aos vasos, por exemplo, pode resultar no aumento da densidade. Por outro lado, um aumento na proporção de vasos leva à redução na densidade, ainda que não haja decréscimo na espessura da parede celular (OLIVEIRA; SILVA, 2003).

Com relação às propriedades químicas, a madeira caracteriza-se por ser um material constituído por compostos com elevados graus de polimerização e pesos moleculares, como a celulose, as hemiceluloses e a lignina. Eles são considerados verdadeiros responsáveis pela morfologia e estrutura da madeira (MOREIRA, 1999). Ainda, conforme as considerações do

autor, os principais componentes químicos encontrados nas paredes das células da madeira podem ser agrupados em três tipos principais:

- a) Substâncias que formam o esqueleto da madeira: são substâncias rígidas, que se constituem em longas cadeias de polissacarídeos. Nesse grupo, está a celulose, que é um polissacarídeo linear, de comprimento de cadeias suficiente para ser insolúvel em água e álcali diluído à temperatura ambiente, composto somente de anidro glucose unidas por ligação β -1-4 e possuindo estrutura bem organizada;
- b) Substâncias que formam uma matriz que envolve o esqueleto da celulose, que são:
 - As hemiceluloses, que são os outros polissacarídeos da madeira. São polímeros de baixo peso molecular e são fortemente associados à celulose nos tecidos das plantas. Geralmente, são polímeros amorfos, constituídos de uma única cadeia central de unidades representativas, mais as cadeias laterais;
 - A lignina, que é um polímero de natureza aromática, composto por unidades fenil propanóides, possuindo cadeia altamente ramificada;
- c) Compostos acidentais: essas substâncias que são chamadas de extrativos, são compostos de baixo peso molecular, de vários tipos. Esses podem ser extraídos da , por meio de água e solventes orgânicos, muitos dos quais aproveitados pela indústria. Localizam-se no lúmen, nas paredes celulares e nas células de parênquima.

Segundo Rowell (2005), a lignina é responsável por até 84% da massa da lamela média composta (lamela média + parede primária), a camada S3 é constituída por até 87% de hemicelulose, com pouca ou nenhuma lignina, enquanto a camada S2 apresenta em média 54% de celulose. A deposição da lignina, durante a diferenciação celular e o consequente inchamento da parede celular são citados por Wilkins (1986) como uma das hipóteses para explicar o encurtamento das fibras que causa a tensão de tração na periferia da árvore. Contudo, outra hipótese sugere que a contração dos cristais de celulose nas microfibrilas da camada S2, causariam o encurtamento das células periféricas (BARCHET, 2001).

O processo de aumento da espessura das paredes das células recém-formadas tende a aumentar o diâmetro e a diminuir o comprimento celular. Sendo assim, a expansão diametral leva à compressão contra as células vizinhas, o que gera tensões tangenciais. Ao mesmo tempo, toda a camada de células aumenta o diâmetro, gerando tração da madeira antiga na direção radial. Em consequência, a ação cumulativa das camadas mais jovens gera uma tração

tangencial crescente na porção central. E o efeito das camadas mais jovens sobre as que estavam em compressão inicial suscita uma inversão do sentido da tensão a determinada distância do câmbio, levando a parte mais interna da madeira a estar sob tensão. A camada mais externa também sofre a ação das forças de tração após a formação do câmbio, processo que se repete sempre que uma nova camada de células é formada no câmbio (BARCHET, 2001).

2.4 Rachaduras de topo de tora

As tensões de crescimento estão relacionadas ao equilíbrio do tronco da árvore que deve suportar o peso da copa, a ação do vento e a inclinação do terreno (BELTRAME *et al.*, 2012). Essas tensões são comuns na maioria das árvores, e se desenvolvem de forma distinta nas diferentes espécies. Podem ser encontrados níveis baixos de tensão em gimnosperma, por outro lado, angiospermas apresentam altos níveis. No gênero *Eucalyptus*, problemas como cerne quebradiço, empenamento das peças serradas e fendas ou rachaduras de extremidade de tora, são ocasionados pelo elevado grau de tensão de crescimento (NICHOLSON, 1973 apud CRÊSPO, 2000).

O fenômeno da tensão do crescimento resulta da ação combinada de dois mecanismos, a maturação da parede celular e o aumento do peso. Como maturação, entende-se o último estágio da formação da parede celular, a partir da conclusão da deposição de polissacarídeos até a morte celular, e inclui a lignificação. Durante a maturação da parede secundária, a fibra do novo xilema tende a se deformar em suas direções longitudinal e transversal. A restrição resultante induz um estresse mecânico na superfície externa do xilema secundário. Além disso, a parte mais antiga do tronco deve suportar o aumento de peso da árvore. Assim, cada estágio de crescimento produz um estresse adicional e uma distribuição complexa de estresse mecânico é instalada no tronco (GRIL *et al.*, 2017).

Segundo Garcia (1995), uma árvore recém-cortada tem o seu diâmetro aumentado em função das elevadas tensões de crescimento. Em decorrência desse aumento de dimensão, surgem rachaduras de extremidades que têm sido frequentemente consideradas indicadores no momento da seleção de árvores. Nesse sentido, Lima, Garcia e Piedade (2002) destacam que a tensão de crescimento pode ser calculada, de forma indireta, pela deformação de crescimento ou pela mensuração das rachaduras de extremidades de tora.

Além das rachaduras provocadas pela tensão de crescimento, Bariska (1990) apud Crêspo (2000) ressalta que degradam a madeira também, as rachaduras de fendilhamento que

surtem durante a queda da árvore e as rachaduras resultantes da secagem. Com relação às rachaduras causadas pela tensão de crescimento, o autor as classifica em dois tipos: a) as rachaduras com origem na medula e que se propagam em direção à periferia no plano transversal da tora; b) e as rachaduras ao longo da lateral do tronco que representam frequentemente, a continuação das rachaduras de extremidade.

Schacht, Garcia e Vencovsky (1998) comentam que a porcentagem de rachaduras de topo de toras, apesar de serem sensíveis ao erro experimental, podem ser considerados caracteres adequados para a seleção, desde que obtidas em condições padronizadas. Nesse sentido, alguns estudiosos vêm buscando obter técnicas que possam prever, com o máximo de exatidão, a extensão do dano possível no produto final, no estágio menos avançado possível.

Resgatando os estudos experimentais sobre rachaduras, Crêspo (2000) destaca autores como Villiers e François Malan que, na década de 1970, realizaram medições da circunferência antes da derrubada da árvore e após 72 horas. A circunferência da extremidade da tora aumenta em decorrência das aberturas das rachaduras, após um período de tempo. Esses autores constaram que o aumento da circunferência era inversamente proporcional ao rendimento da madeira serrada. Entretanto, somente influenciam no aumento do diâmetro, as rachaduras que chegam até a periferia da seção transversal.

Em 1980, Wilhelm Eduard Conradie propôs uma metodologia, visando a corrigir falhas da metodologia que haviam sido propostas por Villiers. Nessa metodologia, Conradie visou a incluir as rachaduras que não atingem a periferia da seção de corte. O método, sensível ao erro experimental, consiste numa avaliação visual que oferece rapidez e praticidade. Nessa metodologia, considera-se o peso 0,50 para todas as rachaduras que não atingem a periferia e o peso 1,00 para aquelas que alcançam o valor do raio da seção transversal (LIMA; GARCIA; PIEDADE, 2002).

Buscando melhorar a precisão da avaliação, Malan (1984) desenvolveu uma metodologia na qual as rachaduras seriam agrupadas em três classes de comprimento, tendo como referência a distância que alcançam no plano da seção transversal, a partir da medula. Atribui-se o peso 1,00 para as rachaduras que atingem a periferia, 0,75 para aquelas cujo comprimento não atinge a periferia, mas excedem $\frac{3}{4}$ do raio, e 0,50 para as rachaduras menores que $\frac{3}{4}$ do raio. Assim, o índice de rachadura é calculado por meio da seguinte Equação 1:

$$IR = \left(\frac{\sum_{i=1}^n P_i(a_i+1)}{0,01D} \right) \quad (1)$$

em que:

IR = índice de rachadura;

P_i = peso atribuído à rachadura da classe de comprimento i ;

a_i = abertura da rachadura medida na seção transversal (mm);

D = diâmetro médio da seção de corte (mm);

n = número de rachaduras.

Outro método de avaliação foi proposto por Bariska (1990) no qual o comprimento das rachaduras da seção de corte é medido no quinto dia após o seccionamento da tora (LIMA; GARCIA; PIEDADE, 2002). Para a análise, o autor desenvolveu um índice de proporção de rachadura, denominado Split Index Ratio (SIR), classificando a aptidão da madeira em três classes. $SIR < 0,5$, alta qualidade (material para serraria, com potencial para ser clonado); $0,5 < SIR < 1,5$, média qualidade (material para uso em minas); $SIR > 1,5$, baixa qualidade (material para uso em celulose e energia).

Outras metodologias direcionadas à quantificação das rachaduras de topo de tora, além das citadas, foram produzidas e testadas. Lima, Garcia e Piedade (2002), ao comparar algumas dessas metodologias, compreende que os índices de rachadura de extremidade de tora resultantes desses métodos diferenciam entre si. Além do mais, a precisão da estimativa apresentada por alguns métodos chega a ser apenas razoável. Buscando contribuir, nesse sentido, esses autores propõem uma metodologia que consiste na medição direta das dimensões de cada rachadura, sem atribuição de pesos. O cálculo do índice de rachadura é feito de acordo com as seguintes Equações 2 e 3:

$$IR_P = 200 \left(\frac{\sum_{i=1}^n a_i C_i}{\pi D^2} \right) \quad (2)$$

$$IR_{Paj} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i C_i}{2} \quad (3)$$

em que:

IR_P = índice de rachadura proposto (%);

IR_{Paj} = índice anterior ajustado (cm^2);

a_i = abertura máxima da rachadura i ($i= 1, \dots, n$)(cm);
 C_i = comprimento dessa rachadura (cm).

Dessa forma, a metodologia proposta por Lima, Garcia e Piedade (2002) apresenta maior confiabilidade e demonstra ser tão executável quanto os outros métodos. Enquanto em outras metodologias são atribuídos pesos apropriados às rachaduras, esses autores propõem que as medidas do comprimento das rachaduras sejam obtidas pela medição direta e não por aproximação. A metodologia proposta exigiu pouco tempo a mais na obtenção dos dados quando se compara as outras metodologias.

Utilizando-se do cálculo proposto por Lima, Garcia e Piedade (2002), alguns estudos incorporaram o suporte do *software Image-Pro Plus* para substituir a medição manual. Como é o caso de França (2014), que, a partir dessa orientação metodológica, obteve o índice de rachadura de topo de tora de sete clones do híbrido *E. grandis x E. urophylla*, empregando o *software* para processar o comprimento e a largura das rachaduras por meio de fotografia. Da mesma forma, Minini *et al.* (2018), estudando a evolução da rachadura de topo de tora do mogno brasileiro, durante o tempo de estocagem, usaram o *software* para analisar o diâmetro das toras, o comprimento e a largura das rachaduras. Diante dos dados processados, eles usaram o cálculo proposto por Lima, Garcia e Piedade (2002) para obter o índice de rachadura de topo de tora.

2.5 Fenotipagem

A fenotipagem refere-se a uma descrição quantitativa das características anatômicas, ontogenéticas, fisiológicas e propriedades bioquímicas de plantas e sua relação com o desempenho de um genótipo em determinado ambiente. Assim, a fenotipagem está fundamentada no genótipo, ambiente e fenótipo (SOUSA *et al.*, 2015).

Enquanto o genótipo pode ser compreendido como a constituição genética de uma célula ou de um indivíduo, ou apenas de uma característica específica a ser estudada, o fenótipo é caracterizado por uma enorme quantidade de processos, funções e estruturas que estão em constante mudança durante o crescimento e o desenvolvimento. Além disso, a regulação desses processos é afetada por múltiplos mecanismos dinâmicos de feedback proporcionados pelo ambiente em constante mudança. Embora o genótipo seja comparável às letras de um livro, a interpretação da informação genotípica é afetada pelo meio ambiente,

uma vez que genótipos diferentes podem responder de maneira diferente às condições de um ambiente ou de outro (WALTER; LIEBISCH; HUND, 2015).

Dessa forma, a interação genótipos por ambientes resulta em diferentes fenótipos observáveis em vários níveis organizacionais. Um fenótipo envolve uma série de processos que alteram sequencialmente a composição dos genes transcritos (transcriptoma) e suas proteínas resultantes (proteoma). Estes, por sua vez, afetam os metabólitos e íons e atuam no desenvolvimento da planta, levando a diferenças observáveis na fisiologia e morfologia das culturas. Assim como ocorre com o genótipo, o fenótipo como objeto de análise de cientistas pode caracterizar, tanto um conjunto quanto apenas uma característica em particular (WALTER; LIEBISCH; HUND, 2015).

Com relação aos estudos com eucaliptos, embora muitos trabalhos comentem a existência do efeito genético nas tensões de crescimento, poucos quantificam estes efeitos. Malan (1984), analisando a herdabilidade para tensão de crescimento em progênes de *Eucalyptus grandis* ressaltou que, embora a variação genética tenha sido detectada para a rachadura de topo de tora e, portanto, a resposta ao melhoramento seletivo possa ser esperada, a resposta não é previsível com precisão nas estimativas de herdabilidade obtidas.

Schacht, Garcia e Vencovsky (1998), estudando as variações genéticas e fenotípicas de indicadores de tensões de crescimento de um banco clonal de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, mostraram que os valores de herdabilidade encontrados para as rachaduras de extremidade de tora indicam que esses caracteres são fortemente herdáveis nesta espécie.

Valor alto para a herdabilidade (86,5%) do caráter rachadura de topo de tábua foi verificado por Souza (2002), quando estudou a deformação residual longitudinal causada pelas tensões de crescimento em clones híbridos de *Eucalyptus* e, assim, afirmou que a característica apresentou um alto controle genético que pode ser melhorada geneticamente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

O experimento foi conduzido na empresa Plantar S/A, localizada no município de Curvelo, MG. Todos os clones avaliados vieram de uma área experimental da empresa situada nas coordenadas geográficas 18°46'28" de latitude sul e 44°33'56" de longitude oeste, numa altitude de 703 metros. O solo é do tipo latossolo vermelho-amarelo (LVA). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw (clima tropical com inverno seco), apresentando anualmente média de temperaturas máximas de 22°C, mínimas de 18°C e a precipitação variando de 900 a 1300 mm (MARTINS *et al.*, 2018).

3.2 Condução dos experimentos

Os 32 clones utilizados nas avaliações de rachadura foram selecionados por volume ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) em um Teste Clonal Ampliado (TCA) com 7 anos de idade. Nesse TCA, as parcelas de cada clone eram compostas por 49 plantas (7 linhas x 7 plantas). Todos os clones tinham parcelas plantadas em dois espaçamentos: 3 x 3 e 3 x 5 metros. A seleção por volume foi realizada em duas etapas, a primeira foi por meio da seleção genética e estatística e a segunda por meio da seleção fenotípica que teve por finalidade excluir os clones que apresentaram características indesejáveis não contempladas pela análise estatística.

3.3 Avaliação de rachadura

Para a avaliação de rachadura foram cortadas, em cada espaçamento, duas árvores de cada um dos 32 clones, sendo que cada árvore foi considerada uma repetição. As árvores selecionadas para corte tinham valores do diâmetro na altura do peito (DAP) e da altura comercial que representavam a média dos valores da parcela do clone. De cada árvore, retiraram-se quatro amostras de um metro cada, coletadas nas alturas de 0%, 25%, 50% e 75% da altura comercial. A altura comercial considerada tinha um diâmetro mínimo de 4,0 cm com casca. O diâmetro considerado na altura comercial está relacionado com o principal negócio da empresa que é produção de carvão. Porém, esse diâmetro é considerado descarte no segmento de madeira tratada e, por isso, as amostras para este estudo foram retiradas até 75% da altura comercial. Dessa forma, as amostras representariam melhor as peças de madeira

tratada comercializadas. O propósito de coletar amostras nessas alturas foi obter uma melhor representatividade da árvore.

As amostras devidamente identificadas foram transportadas para um pátio da empresa para o processo de secagem da madeira. As avaliações aconteceram 30 dias após o corte, período médio que a madeira precisa para obter o teor de umidade de 30%, que é o ideal para o tratamento de madeira. Essas avaliações aconteceram de três formas. A primeira, por meio da medição das rachaduras (manual), a segunda, por meio de análise de imagem (foto) e a terceira por meio de avaliação visual (nota).

3.3.1 Avaliação manual

Essa avaliação, atualmente utilizada pela PLANTAR S/A, consiste em realizar a medição direta do comprimento e largura de cada rachadura com o auxílio de um paquímetro digital e do diâmetro da tora com o auxílio da fita métrica (FIGURA 1). Tais medidas foram tomadas nas duas faces de cada tora. As análises desses dados foram realizadas pelo método proposto por Lima, Garcia e Piedade (2002), por meio de um índice obtido de acordo com a Equação 4:

$$IR_P = 200 \left(\frac{\sum_{i=1}^n a_i C_i}{\pi D^2} \right) \quad (4)$$

em que:

IR_P = índice de rachadura proposto (%);

a_i = abertura máxima da rachadura i ($i= 1, \dots, n$) (cm);

C_i = comprimento dessa rachadura (cm);

D = diâmetro médio da seção de corte (mm);

n = número de rachaduras.

Figura 1 - Medição manual de rachaduras.



Fonte: Do autor (2020).

3.3.2 Análise de imagem

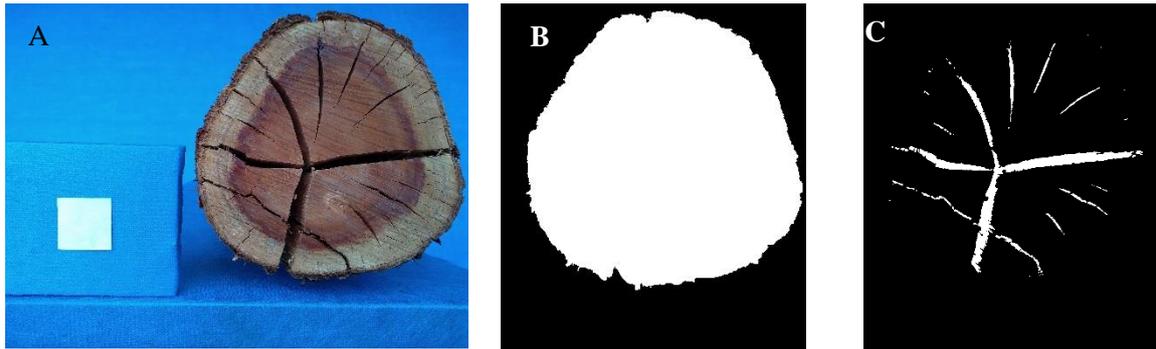
O método consiste na avaliação de rachadura de topo de tora por meio de fotografia. Elas foram fotografadas, individualmente, com uma câmera com resolução de 13 megapixels apoiado sobre um tripé de sustentação para auxiliar no controle da distância e ângulo da foto. Para a definição da escala da fotografia usou-se uma referência de mesmo tamanho ao lado de cada foto (FIGURA 2A).

Vários fatores podem interferir na imagem obtida e devem ser considerados no momento de fotografar. Os principais são: a influência de outros objetos na imagem (grama, outras árvores, dentre outros), as marcas deixadas na madeira pela operação com a motosserra e as sujeiras em geral (SCHAITZA *et al.*, 2003). Para minimizar a influência desses fatores realizou-se uma limpeza de cada topo de tora com o uso de uma escova grossa antes da obtenção da foto. Além disso, para evidenciar somente o topo da tora e a referência de escala da foto foi utilizado um fundo azul, preparado com tecido TNT, excluindo qualquer interferência visual.

O processamento e análise das fotos foi realizado por meio do Python, um software livre com linguagem completa (PYTHON SOFTWARE FOUNDATION LEGAL STATEMENTS, 2019), utilizando o pacote OpenCV. A rotina utilizada para processar as

imagens é apresentada no Apêndice A. Por meio dessa rotina, o software libera imagens processadas, uma refere-se à área da face da tora (FIGURA 2B) e a outra refere-se às áreas das rachaduras (FIGURA 2C). Além disso, ele calcula a área rachada e a área da face da tora. Para a análise foi considerada a razão da área da rachadura pela área da face da tora.

Figura 2 - Imagem original (A) e imagens processadas pelo software, B-Área da face e C-Área das rachaduras.



Fonte: Do autor (2020).

3.3.3 Avaliação por nota

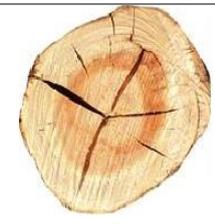
O método consiste na avaliação visual, por meio de um critério que leva em consideração a quantidade de rachaduras e o tamanho delas. As notas foram atribuídas por seis avaliadores na mesma época, os quais utilizaram uma escala de notas adotadas pela empresa PLANTAR S/A, que varia de um a cinco (TABELA 1).

Tabela 1 - Escala de notas para avaliação de rachadura de topo de tora.

(continua)

Nota	Parâmetro	Foto
1	Poucas rachaduras com comprimento igual ao raio da seção transversal e muito largas	
2	Muitas rachaduras com comprimento menor que o raio da seção transversal e largura razoável	

Tabela 1 - Escala de notas para avaliação de rachadura de topo de tora.

Nota	Parâmetro	Foto (conclusão)
3	Poucas rachaduras com comprimento menor que o raio da seção transversal e largura razoável	
4	Poucas rachaduras com comprimento menor que o raio da seção transversal e largura estreita	
5	Pouquíssimas rachaduras com comprimento menor que o raio da seção transversal e largura muito estreita, ou nenhuma rachadura	

Fonte: Do autor (2020).

3.4 Análises estatísticas

As análises estatísticas da avaliação manual e da análise de imagem foram realizadas com a média das toras e das faces, e para a avaliação por nota utilizou-se, além destas, a média dos seis avaliadores.

Inicialmente, foram realizadas as análises individuais das variáveis avaliadas (manual, imagem e nota), o modelo estatístico utilizado foi:

$$y_{ij} = m + c_i + r_j + e_{ij}$$

em que:

y_{ij} : refere-se à observação obtida do clone i no bloco j ;

m : constante associada a todas as observações;

r_j : efeito fixo da repetição j , sendo $j = 1, 2$;

c_i : efeito fixo do clone i ; sendo $i = 1, 2, 3, \dots, 32$;

e_{ijk} : erro experimental associado à observação y_{ij} , sendo $e_{ij} \sim N(0, \sigma_e^2)$

Foram então realizadas as análises conjuntas para espaçamento, seguindo o modelo estatístico:

$$y_{ijk} = m + c_i + a_j + ca_{ij} + ar_{(jk)} + e_{ijk}$$

em que:

Y_{ijk} : refere-se à observação obtida do clone i , no espaçamento j , dentro da repetição k ;

m : média geral do experimento;

c_i : efeito fixo do clone i , sendo $i = 1, 2, 3, \dots, 32$;

a_j : efeito fixo do espaçamento j , sendo $j = 1, 2$;

ca_{ij} : efeito da interação do clone i e o espaçamento j ;

$ar_{(jk)}$: efeito da interação entre o espaçamento j e a repetição k ;

e_{ijk} : erro médio associado à observação Y_{ijk} .

Para o agrupamento de médias, utilizou-se o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade e todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software Genes (CRUZ, 2013).

3.5 Correlação de Spearman

Com o objetivo de se conhecer o grau de associação entre as metodologias estudadas, estimaram-se as correlações de Spearman. As correlações foram estimadas a partir dos dados fenotípicos. Esse coeficiente varia entre -1 e 1, em que, quanto mais próximo de 1 for o valor do coeficiente maior será o grau de associação entre os diferentes métodos de avaliação de rachadura de topo de tora.

3.6 Índice de coincidência

Para avaliar a eficiência da seleção dos clones, foi estimado o índice de coincidência (IC) pela expressão de Hamblim e Zimmermann (1986) para a intensidade de seleção (12,5%), ou seja, foram selecionados 4 clones.

$$IC = \frac{A - C}{M - C} \times 100$$

em que:

C: número de clones selecionados ao acaso. Assume-se que o número de clones selecionados tem uma proporção igual a intensidade de seleção que coincidem ao acaso, ou seja: se selecionar 12,5% (4 clones), ou seja, 12,5% das 4 (0,5) irão coincidir por acaso;

A: número de clones selecionados comuns aos dois métodos considerados;

M: número de clones selecionados (4 clones).

3.7 Avaliação de tempo gasto nas avaliações

Para avaliar o tempo gasto nas três metodologias usou-se o cálculo das horas efetivas trabalhadas em cada uma delas. Para este cálculo levou-se em consideração a quantidade de pessoas envolvidas em cada avaliação, as horas trabalhadas por dia e a quantidade de dias trabalhados, conforme expressão abaixo:

$$HET = NP \times HT \times DT$$

em que:

HET: horas efetivas trabalhadas na avaliação;

NP: Número de pessoas envolvidas;

HT: horas trabalhadas por dia;

DT: Total de dias trabalhado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises de variâncias individuais em relação à rachadura de topo de tora nas diferentes metodologias em cada espaçamento revelaram que os efeitos de genótipos apresentaram variações significativas ($p < 0,05$) e, por isso, compreende-se que há variabilidade genética na população para esse caráter (TABELA 2). A acurácia seletiva foi superior a 96%, podendo inferir que a precisão de seleção é muito alta (RESENDE; DUARTE, 2007).

Tabela 2 - Resumo das análises de variância individual por espaçamento para os métodos de avaliações manual, visual e imagem.

FV	GL	Manual		Visual		Imagem	
		3x3	3x5	3x3	3x5	3x3	3x5
Clones (C)	31	1,4539*	1,9844*	0,2747*	0,2425*	1,0046 ⁻⁴ *	1,1927 ⁻⁴ *
Resíduos	31	0,1201	0,1461	0,0200	0,0179	7,3760 ⁻⁶	4,7240 ⁻⁶
Média		3,55	3,96	2,36	2,01	0,0250	0,0257
CVe (%)		9,76	9,66	5,99	6,65	10,86	8,44
$r_{\hat{g}g}$		0,96	0,96	0,96	0,96	0,99	0,99

Fonte: Do autor (2020)

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Na Tabela 2, também pode se observar que os valores de média das rachaduras de topo de tora foram maiores no espaçamento 3 x 5 metros em duas metodologias, manual e visual. Sabendo que o espaçamento de plantio pode influenciar significativamente na morfologia e no crescimento do diâmetro das árvores (SHIMOYAMA; BARRICHELO, 1989), pressupõe-se que as rachaduras tiveram um aumento desproporcional em relação ao aumento da área da face das toras quando avaliadas por essas duas metodologias. E isso é compreensível já que as medições aconteceram de forma indireta. Wilson (1985) também verificou um aumento na intensidade de rachadura com o aumento do diâmetro na mesma idade em *Eucalyptus macarthurii* e *Eucalyptus elata*, relacionando isso ao aumento da proporção de madeira juvenil em relação à madeira adulta.

Na metodologia de análise de imagem, a média das rachaduras foi praticamente a mesma nos dois espaçamentos e como a medição aconteceu de forma direta, por meio da razão da área das rachaduras pela área da face, constatou-se que o crescimento das rachaduras foi proporcional ao aumento da área da face das toras. Resultado semelhante foi obtido por Lima, Garcia e Stape (2007) quando avaliaram a intensidade de rachadura em duas classes de

diâmetros na altura do peito (DAP) e mostraram que não houve diferenças significativas entre elas.

Na Tabela 3, encontram-se o resumo das análises de variâncias conjuntas dos espaçamentos, em que é possível observar que, além do fator de variação clones, a interação genótipos por ambientes também apresentou grandeza significativa quanto aos quadrados médios. Isso indica que os genótipos apresentaram respostas diferenciadas para o caráter rachadura de topo de tora quando submetidos a ambientes distintos, nesse caso, diferentes espaçamentos de plantio.

Tabela 3 - Resumo das análises de variância conjunta dos espaçamentos para os métodos de avaliações manual, visual e imagem.

FV	GL	Manual	Visual	Imagem
Clones (C)	31	3,1077*	0,4307*	1,6384 ⁻⁴ *
Ambiente (A)	1	5,2605	3,9405*	1,7479 ⁻⁵
CxA	31	0,3306*	0,0821*	5,5882 ⁻⁵ *
Resíduos	62	0,1331	0,0190	6,0950 ⁻⁶
Média		3,75	2,19	0,0254
CVe(%)		9,72	6,30	9,73

Fonte: Do autor (2020)

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

O fator de variação ambiente não foi significativo ($p > 0,05$) na avaliação manual e na avaliação por imagem, porém, na avaliação visual, esse fator foi significativo (TABELA 3). Uma provável explicação para esse resultado pode ser o fato de a avaliação visual não levar em consideração a dimensão da área da face da tora, sendo que, nas outras duas avaliações o resultado foi obtido da proporção das rachaduras em relação à área da face, mesmo que medidas de forma indireta.

Pelo teste de agrupamento de Scott-Knott, apresentado nos Apêndices B, C e D, os clones foram agrupados na análise individual e na análise conjunta, para as três metodologias. Conforme o resumo da Tabela 4, percebe-se que o agrupamento na análise conjunta aconteceu de forma diferente entre as metodologias tanto em relação à quantidade de grupos quanto em relação à quantidade de clones por grupo, sendo que, no grupo 1, estão os clones com melhor desempenho.

Tabela 4 - Resumo do agrupamento de clones realizado pelo teste de Scott-Knott na análise conjunta das três metodologias avaliadas.

Grupos	Distribuição dos clones					
	Manual	Percentual	Visual	Percentual	Imagem	Percentual
1	3	9%	1	3%	1	3%
2	13	41%	3	9%	2	6%
3	12	38%	10	31%	5	16%
4	3	9%	13	41%	7	22%
5	1	3%	3	9%	7	22%
6			2	6%	5	16%
7					5	16%

Fonte: Do autor (2020).

Apesar da diferença entre os agrupamentos, observou-se que os clones 28, 30 e 32 seriam selecionados nas três metodologias, quando se aplicou uma intensidade de seleção de 12,5% (TABELA 5), sendo que o clone 32, o clone testemunha da empresa, apresentou melhor desempenho independente da metodologia de avaliação.

Tabela 5 - Clones selecionados nas três metodologias levando em consideração os dois espaçamentos, aplicando uma intensidade de seleção de 12,5%.

Classificação	Clone selecionado		
	Manual	Visual	Imagem
1	32	32	32
2	30	28	30
3	28	30	28
4	20	7	10

Fonte: Do autor (2020)

Levando em consideração esse índice de seleção e o agrupamento de Scott-Knott, na avaliação conjunta, vê-se que, na avaliação manual, os clones 28 e 30 ficaram no grupo 1, juntamente com o clone testemunha e, o clone 20 ficou no grupo 2 com outros 12 clones, e por isso, não é recomendado selecionar esse último clone. Na avaliação visual, o clone testemunha ficou sozinho no grupo 1 e os clones 28, 30 e 7 ficaram no grupo 2. Já na avaliação de imagem, o clone testemunha ficou no grupo 1, os clones 28 e 30 ficaram no grupo 2 e o clone 10 ficou no grupo 3 com outros 3 clones e, dessa forma, também não é recomendado selecionar esse último clone.

As estimativas dos coeficientes de correlação de Spearman, em cada par de parâmetros, foram significativas ($p < 0,05$) (TABELA 6). A significância da correlação foi realizada pelo teste de *Bootstrap* com 5 mil interações. Os valores das estimativas de

correlação entre as metodologias apresentaram valores positivos de alta magnitude, sendo de 0,78 entre a avaliação manual e a avaliação visual, de 0,76 entre a avaliação visual e a avaliação por imagem e de 0,72 entre a avaliação manual e a avaliação por imagem.

O índice de coincidência dos clones, selecionados nas três metodologias quando se aplicou uma intensidade de seleção de 12,5% foi em média de 0,71 (TABELA 6). De acordo com Pedrozo *et al.* (2009), quanto maior o coeficiente de coincidência entre dois métodos, maior será a concordância dos resultados de seleção entre eles. Pelos resultados obtidos, constata-se que a concordância de seleção entre as metodologias variou somente no quarto clone selecionado (TABELA 5). Dessa maneira, evidencia-se que a seleção de clones foi eficiente nas três metodologias quando aplicada uma intensidade de seleção de 12,5%.

Tabela 6 - Correlação de Spearman dos dados fenotípicos (abaixo da diagonal) para diferentes metodologias de avaliação de rachadura de topo de tora e índice de coincidência de quatro clones selecionados com uso da intensidade de seleção de 12,5% (acima da diagonal).

Metodologia	Manual	Nota	Imagem
Manual	1	0,714	0,714
Nota	0,7826*	1	0,714
Imagem	0,7244*	0,7646*	1

Fonte: Do autor (2020)

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste de *Bootstrap*.

Porém, como é possível observar na Tabela 7, o tempo consumido na avaliação manual é muito superior às demais. Para avaliar os 32 clones, consumiram-se 12 dias e meio, um tempo relevante quando se pensa no custo e na qualidade do experimento. Nesse caso, as avaliações, visual e por imagem, foram mais vantajosas, gastando 3 e 4 dias. Contabilizando o total de horas trabalhadas, consumiram-se 300 horas na avaliação manual, aproximadamente 4 vezes mais o tempo gasto nas demais metodologias.

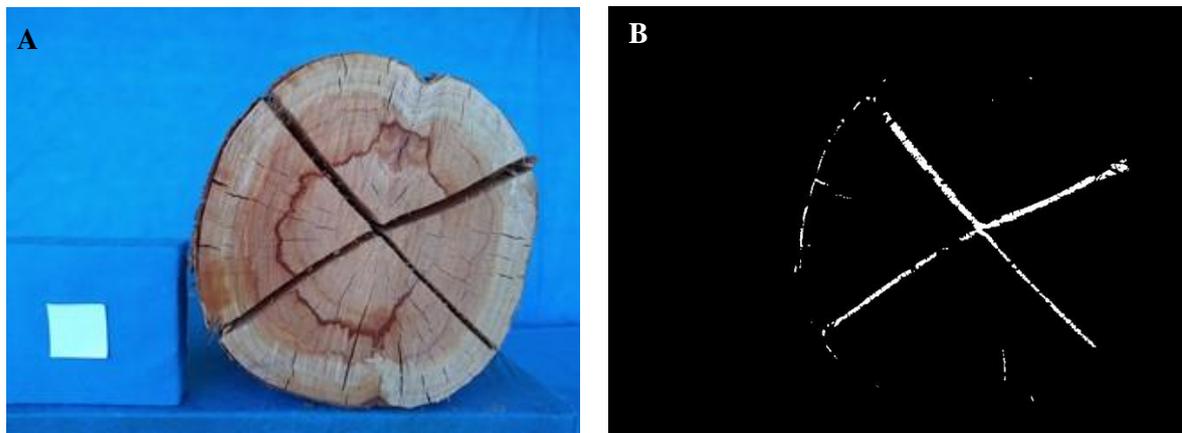
Tabela 7 - Tempo consumido na avaliação de rachadura de topo de tora nas três metodologias aplicadas.

Metodologia	Pessoas envolvidas	Horas trabalhadas/dia	Dias trabalhados	Total de horas trabalhadas
Manual	4	6	12,5	300
Visual	6	4	3	72
Imagem	3	6,5	4	78

Fonte: Do autor (2020).

Entretanto, apesar da avaliação por foto apresentar um bom desempenho na seleção de clones e ter demandando menos tempo de execução que a avaliação manual, uma pequena melhoria precisa ser considerada no momento de tirar a foto. Essa melhoria é a retirada da casca ao redor da face da tora. Se a casca começar a soltar ou escurecer, durante o período de secagem, no processamento da imagem, esse intervalo entre a casca e a madeira ou o escurecimento da casca pode ser contabilizado como rachadura (FIGURA 3).

Figura 3 - Deslocamento da casca ao redor da face sendo contabilizado como rachadura. A- Foto original e B- Foto processada.



Fonte: Do Autor (2020)

E apesar de haver certo preconceito com a avaliação visual por não haver dados de medição, o resultado desta foi muito coerente com as outras duas. Assim, observa-se que a avaliação visual, utilizada desde os primórdios do melhoramento genético de plantas, continua apresentando eficácia.

5 CONCLUSÃO

Todas as metodologias avaliadas foram eficientes para a seleção de clones quando se aplicou uma intensidade de seleção de 12,5%. Dos quatro clones selecionados, três foram comuns, em todas elas, isso mostra uma coincidência de seleção de alta magnitude. Porém, a avaliação visual e a avaliação por imagem foram mais viáveis, por demandar menos tempo e recurso do que a avaliação manual.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, H. J. B. de; MAGALHÃES, W. L. E.; OLIVEIRA, L. C. de. Durabilidade de madeira de eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson) tratada com CCA em ambiente amazônico. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, n. 1, p. 49-58, mar. 2012.
- ASSIS, T. F. de. Aspecto do melhoramento de *Eucalyptus* para obtenção de produtos sólidos de madeira. In: TÉCNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1999, Viçosa. **Workshop** [...]. Viçosa: DEF, 1999. p. 61-72.
- BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. Propriedades da resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 371-380, maio/jun. 2003.
- BARCHET, V. G. **Potencialidade de espécies de *Eucalyptus* para a produção de madeira serrada**. 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.
- BARISKA, M. A method for predicting timber quality in eucalypts. In: VON GADOW, K.; BREDEKAMP, B. V. **Management of *Eucalyptus grandis* in South Africa**. Stellenbosch: Southern African Institute of Forestry, 1990. p. 215-228.
- BELTRAME, R. *et al.* Determinação das deformações residuais longitudinais decorrentes das tensões de crescimento em *Eucalyptus spp.* **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 343-351, abr./jun. 2012.
- BENDTSEN, B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal**, Madison, v. 28, n. 10, p. 69-72, 1978.
- CALIL JÚNIOR, C.; DIAS, A. A. Utilização da madeira em construções rurais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 1, n. 1, p. 71-77, set./dez. 1997.
- CASTRO, C. A. de O. *et al.* Brief history of *Eucalyptus* breeding in Brazil under perspective of biometric advances. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 9, p. 1585-1593, jun. 2016.
- COSTA, C. G. *et al.* In: APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. (ed.). **Anatomia vegetal**. Viçosa: Ed. UFV, 2003. cap. 5, p. 129-154.
- CRÊSPO, E. A. **Tensão de crescimento e suas consequências, controláveis e não controláveis, no desdobro e secagem do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna***. 2000. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 35, n. 3, p. 271-276, jul./set. 2013.

- CRUZ, C. R. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus* para utilização na indústria madeireira**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- EVANGELISTA, W. V. *et al.* Caracterização anatômica quantitativa da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 273-284, jun. 2010.
- EVANS, J. W.; SENFT, J. F.; GREEN, D. W. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. **Forest Products Journal**, Madison, v. 50, n. 7/8, p. 75-87, 2000.
- FENGEL, D.; WAGENER, G. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions**. Berlin: Walter De Gruyter, 1984.
- FERREIRA, M.; SANTOS, P. E. T. Melhoramento genético Florestal dos Eucaliptos no Brasil: breve histórico e perspectivas. *In: CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTUS*, 1997, Salvador. **Proceedings [...]**. Colombo: Embrapa/CNPF, 1997. p. 14-34.
- FOELKEL, C. As plantações de florestas no Brasil. *In: BORÉM, A. (ed.). Biotecnologia florestal*. Viçosa: Ed. UFV, 2007. p. 13-24.
- FRANÇA, F. J. N. **Propriedades da madeira de eucalipto para a produção de madeira serrada**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2014.
- GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985.
- GARCIA, J. N. Técnicas de desdobro de eucalipto. *In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA*, 1995, São Paulo. **Anais [...]**. Piracicaba: IPEF, 1995. p. 59-67.
- GRIL, J. *et al.* Tree growth stress and related problems. **Journal of Wood Science**, New York, v. 63, n. 5, p. 411-432, 2017.
- HAMBLIN, J.; ZIMMERMANN, M. J. de O. Breeding common bean for yield mixtures. **Plant Breeding Reviews**, New York, v. 4, p. 245-272, 1986.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório 2019**. Brasília: IBÁ, 2019. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2020.
- KRAHMER, R. Fundamental anatomy of juvenile and mature wood. *In: A TECHNICAL WORKSHOP: JUVENILE WOOD-WHAT DOES IT MEAN TO FOREST MANAGEMENT AND FOREST PRODUCTS*, 1985, Washington. **Proceedings [...]**. Madison: Forest Products Research Society, 1986. p. 12-16.

- LATORRACA, J. V. F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da Madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n. 1, p. 279-291, jan. 2000.
- LIMA, I. L. de; GARCIA, J. N.; PIEDADE, S. M. S. de. Rachaduras de extremidades de tora e suas implicações nas rachaduras da madeira serrada. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 61, p. 13-24, jun. 2002.
- LIMA, I. L. de; GARCIA, J. N.; STAPE, J. L. Influência do desbaste e da fertilização no deslocamento da medula e rachaduras de extremidade de tora de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 170-177, abr./jun. 2007.
- MALAN, F. S. **Studies on the phenotypic variation in growth stress intensity and its association with tree and wood properties of South African grown *Eucalyptus grandis* (Hill ex maiden)**. 1984. Thesis (Doctor of Philosophy Wood Science) - University of Stellenbosch, Stellenbosch, South Africa, 1984.
- MARTINS, F. B. *et al.* Classificação climática de köppen e de thornthwaite para minas gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, Presidente Prudente, n. 1, p. 295-312, Nov. 2018.
- MININI, D. *et al.* Rachaduras de topo de toras e desvios da grã na madeira de mogno brasileiro plantado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 3., 2017, Campinas. **Anais eletrônicos [...]**. Campinas: GALOÁ, 2018. p. 1-8.
- MIRANDA, M. C. de *et al.* Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Parkia gigantocarpa* Ducke. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 3, n. 2, p. 55-65, 2012.
- MOREIRA, W. S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira**. 1999. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.
- OLIVEIRA, J. T. da S.; SILVA, J. de C. Variação Radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 381-385, 2003.
- PALMA, H. A. L.; LEONELLO, E. C.; BALLARIN, A. W. Demarcação da madeira juvenil e adulta de *Corymbia citriodora*. **Cerne**, Lavras, v. 16, p. 114-148, jul. 2010. Suplemento.
- PEDROZO, C. Â. *et al.* Eficiência de índices de seleção utilizando a metodologia REML/BLUP no melhoramento da cana-de-açúcar. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.10, n. 1, p. 31-36, jan./fev. 2009.
- PIMENTEL, A. J. B. *et al.* Estimação de parâmetros genéticos e predição de valor genético aditivo de trigo utilizando modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 11, p. 882-890, nov. 2014.
- PYTHON SOFTWARE FOUNDATION LEGAL STATEMENTS. **PYTHON, 3.8.1 for windows**. Python Software Foudation, 2019. Disponível em: www.python.org. Acesso em: 14 jan. 2020.

- RAMOS, L. M. A. *et al.* Variação radial dos caracteres anatômicos da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden e idade de transição entre lenho juvenil e adulto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 411-418, dez. 2011.
- RESENDE, M. D. V. de; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 182-194, set. 2007.
- ROCHA, I. P. *et al.* Caracterização dos processos industriais de uma empresa de tratamento de madeira (nota científica). **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 205-211, dez. 2016.
- ROWELL, R. M. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Madison: CRC Press, 2005.
- SCHACHT, L.; GARCIA, J. N.; VENCOVSKY, R. Variação genética de indicadores de tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 54, p. 55-68, dez. 1998.
- SCHAITZA, E. G. *et al.* **Metodologias simples e baratas para análise de imagens planas**. Colombo: Embrapa, 2003. (Comunicado Técnico, 90).
- SHIMIZU, J. Y. Melhoramento de espécies florestais na Embrapa. *In*: WORKSHOP SOBRE MELHORAMENTO DE ESPÉCIES FLORESTAIS E PALMÁCEAS NO BRASIL, 2001, Curitiba. **Anais [...]**. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. p. 75-84.
- SHIMOYAMA, V. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. Densidade básica da madeira, melhoramento e manejo florestal. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 20, p. 1-22, ago. 1989.
- SILVA, D. A. da; TRUGILHO, P. F. Comportamento dimensional da madeira de cerne e alburno utilizando-se a metodologia de análise de imagem submetida a diferentes temperaturas. **Cerne**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 56-65, 2003.
- SILVA, P. H. M. **Tratamento e secagem da madeira**. Piracicaba: IPEF, 2005. Disponível em: http://www.ipef.br/tecprodutos/tratamento_secagem_madeira.asp. Acesso em: 14 jan. 2019.
- SOUSA, C. A. F. *et al.* Nova abordagem para a fenotipagem de plantas: conceitos, ferramentas e perspectivas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, nesp., p. 660-672, 2015.
- SOUZA, M. A. M. de. **Deformação residual longitudinal (DRL) causada pelas tensões de crescimento em clones de híbridos de Eucalyptus**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.
- VIVIAN, M. A. *et al.* Qualidade do tratamento preservativo em autoclave para a madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 96, p. 445-453, dez. 2012.

WALTER, A.; LIEBISCH, F.; HUND, A. Plant phenotyping: from bean weighing to image analysis. **Plant Methods**, [London], v. 11, p. 14, Mar. 2015.

WILKINS, A. P. Nature and origin of growth stress in trees. **Australian Forestry**, Canberra, v. 49, n. 1, p. 56-62, Apr. 1986.

WILSON, P. J. **Splitting studies on logs of *Eucalyptus macarthurii*, *E. elata*, and *E. radiata***. Pietermaritzburg: University of Natal, 1985.

ZOBEL, B. J.; BUIJTENEN, J. P. **Wood variation: its causes and control**. Berlin: Springer-Verlag, 1989.

ZOBEL, B. J. The changing quality of the world wood supply. **Wood Science and Technology**, New York, v. 18, n. 1, p. 1-17, 1984.

APÊNDICE A - ROTINA PARA PROCESSAMENTO DAS ÁREAS DE RACHADURA NO SOFTWARE PYTHON

```
import cv2

import numpy as np

from matplotlib import pyplot as plt

import os

from scipy.spatial.distance import euclidean

from imutils import perspective

from imutils import contours

import imutils

import glob

import pandas as pd

def pixel_per_cm2(area_lar, area_alt):

return (dist_in_pixel_larg * dist_in_pixel_alt) / (area_alt * area_lar)

medicoes=[]

areat = []

parcelas=[]

i=1

#####CARREGAR IMAGEM

path_of_images=##### colar aqui o diretório das imagens

outfile= ##### diretório dos dados referente às áreas das rachaduras

saida=##### diretório de saída das imagens processadas

saida_tora = ##### diretório de saída dos dados referente às áreas das faces
```

Continua...

```

filenames= glob.glob(path_of_images + "/*.jpg")

for imagem in filenames:

    img = cv2.imread(imagem)

    gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    edged = cv2.inRange(gray, 180, 255)

    cnts = cv2.findContours(edged.copy(), cv2.RETR_EXTERNAL,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

    cnts = imutils.grab_contours(cnts)

    # Sort contours from left to right as leftmost contour is reference object
    (cnts, _) = contours.sort_contours(cnts)

    # Remove contours which are not large enough
    cnts = [x for x in cnts if cv2.contourArea(x) > 1000]

    contorno = cv2.drawContours(img, cnts, 0, (0, 0, 255), 15)

    nome_legenda = os.path.basename(imagem)
    cv2.imwrite(os.path.join(outfile, nome_legenda), contorno)

#####ENCONTRAR A REFÊRENCIA

ref_object = cnts[0]

box = cv2.minAreaRect(ref_object)

box = cv2.boxPoints(box)

box = np.array(box, dtype="float")

```

Continua...

```

box = perspective.order_points(box)

(tl, tr, br, bl) = box

dist_in_pixel_larg = euclidean(tl, tr)

dist_in_pixel_alt = euclidean(bl, tl)

pixel_cm2 = pixel_per_cm2(3, 3)

Um_pixel_cm2 = (1 / pixel_cm2)

#####ENCONTRAR RACHADURA

hsv = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2HSV)

hedged = cv2.GaussianBlur(hsv, (7, 7), 0)

hedged = cv2.dilate(hedged, None, iterations=3)

hedged = cv2.erode(hedged, None, iterations=3)

h, s, v = cv2.split(hedged)

rachadura = cv2.inRange(v, 0, 50)

ntest = cv2.countNonZero(rachadura)

md = (ntest * Um_pixel_cm2).__round__(4)

plt.imshow(rachadura)

cv2.imwrite(os.path.join(saida, nome_legenda), rachadura) #####Foto rachadura

### ENCONTRAR A ÁREA DA TORA

l = np.array([0, 0, 0])

u = np.array([255, 210, 200])

tora = cv2.inRange(hedged, l, u)

cnts = cv2.findContours(tora, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

cnts = imutils.grab_contours(cnts)

# Remove contours which are not large enough

```

Continua...

```

cnts = [x for x in cnts if cv2.contourArea(x) > 1000]

mask = np.zeros(img.shape, dtype=np.uint8)

mask = cv2.drawContours(mask.copy(), [max(cnts, key=cv2.contourArea)], -1, (255,255,255), -
1)

areatora = cv2.countNonZero(mask)

atora = (areatora * Um_pixel_cm2).__round__(4)

cv2.imwrite(os.path.join(saida_tora, nome_legenda), mask) #####Foto rachadura

#####Salvar itens

medicoes.append(md)

parcelas.append(nome_legenda)

areat.append(atora)

a=(i/(len(filenamees))*100)

print("{0:.2f} % completed".format(round(a, 2)))

i=i+1

tabela= np.array([parcelas,medicoes,areat])

tabela=np.transpose(tabela)

df = pd.DataFrame (tabela)

df.columns = ['Foto','Rachadura(cm2)','Area_tora(cm2)']

df.to_csv("teste.csv",index=False,)

```

**APÊNDICE B - AGRUPAMENTO DE MÉDIA PELO TESTE SCOTT-KNOTT DOS
CLONES LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO A ANÁLISE INDIVIDUAL DE CADA
ESPAÇAMENTO (3X3 E 3X5) E A ANÁLISE CONJUNTA PARA A
METODOLOGIA MANUAL**

Clones	3x3	Clones	3x5	Clones	Conjunta
32	1,845 a	30	2,294 a	32	2,2132 a
30	2,267 a	28	2,496 a	30	2,2805 a
28	2,433 a	32	2,582 a	28	2,4645 a
26	2,556 a	20	2,683 a	20	2,9375 b
29	2,798 b	7	2,998 a	27	2,9504 b
4	2,840 b	27	3,031 a	4	3,0239 b
8	2,864 b	18	3,115 a	7	3,0352 b
27	2,870 b	5	3,147 a	26	3,1048 b
17	2,980 b	14	3,191 a	18	3,1468 b
7	3,073 b	4	3,208 a	14	3,1789 b
23	3,101 b	10	3,304 a	10	3,241 b
14	3,167 b	12	3,349 a	5	3,2837 b
10	3,178 b	26	3,654 b	17	3,3598 b
18	3,179 b	17	3,740 b	8	3,3758 b
20	3,193 b	8	3,888 b	12	3,3985 b
5	3,420 b	13	3,904 b	29	3,5784 b
12	3,448 b	9	3,934 b	24	3,8237 c
24	3,530 b	2	4,078 c	23	3,8326 c
2	3,628 b	24	4,117 c	2	3,8529 c
31	3,696 b	6	4,328 c	13	3,9732 c
1	3,900 c	1	4,329 c	1	4,1147 c
13	4,042 c	29	4,359 c	31	4,1982 c
16	4,157 c	25	4,527 c	6	4,2595 c
6	4,191 c	11	4,557 c	9	4,3014 c
15	4,229 c	23	4,564 c	16	4,374 c
25	4,291 c	16	4,591 c	25	4,4088 c
19	4,384 c	31	4,701 c	11	4,5616 c
11	4,566 c	19	4,967 c	19	4,6753 c
21	4,612 c	3	5,087 c	15	4,9675 d
9	4,669 c	15	5,707 d	3	4,9796 d
3	4,872 c	21	5,739 d	21	5,1751 d
22	5,641 d	22	6,425 d	22	6,033 e

**APÊNDICE C - AGRUPAMENTO DE MÉDIA PELO TESTE SCOTT-KNOTT DOS
CLONES LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO A ANÁLISE INDIVIDUAL DE CADA
ESPAÇAMENTO (3X3 E 3X5) E A ANÁLISE CONJUNTA PARA A
METODOLOGIA VISUAL**

Clones	3x3	Clones	3x5	Clones	Conjunta
32	3,365 a	32	2,844 a	32	3,1042 a
29	2,885 b	30	2,771 a	28	2,7865 b
28	2,823 b	28	2,750 a	30	2,7761 b
7	2,813 b	7	2,417 b	7	2,6146 b
30	2,781 b	20	2,396 b	27	2,4792 c
26	2,719 b	27	2,344 b	5	2,4062 c
31	2,698 b	5	2,177 c	8	2,349 c
5	2,635 b	8	2,156 c	20	2,3333 c
27	2,615 b	4	2,146 c	26	2,3333 c
17	2,563 b	11	2,115 c	31	2,3125 c
8	2,542 b	24	2,094 c	29	2,3073 c
1	2,521 b	18	2,042 c	4	2,2864 c
4	2,427 c	9	2,021 c	24	2,25 c
24	2,406 c	25	2,011 c	1	2,2292 c
10	2,385 c	10	1,979 c	10	2,1823 d
18	2,313 c	12	1,948 c	18	2,1771 d
21	2,292 c	26	1,948 c	17	2,1615 d
16	2,292 c	6	1,948 c	25	2,1094 d
23	2,281 c	1	1,938 c	11	2,1042 d
20	2,271 c	31	1,927 c	23	2,0938 d
2	2,261 c	23	1,906 c	12	2,0469 d
25	2,208 c	14	1,844 d	21	2,0469 d
12	2,146 c	13	1,833 d	16	2,0156 d
19	2,115 c	21	1,802 d	2	2,0104 d
11	2,094 c	17	1,760 d	14	1,9531 d
14	2,063 d	2	1,760 d	9	1,9427 d
15	1,979 d	16	1,740 d	6	1,9375 d
6	1,927 d	29	1,729 d	19	1,8698 e
13	1,865 d	15	1,635 d	13	1,849 e
9	1,865 d	19	1,625 d	15	1,8073 e
3	1,813 d	3	1,469 e	3	1,6406 f
22	1,698 d	22	1,354 e	22	1,5261 f

**APÊNDICE D - AGRUPAMENTO DE MÉDIA PELO TESTE SCOTT-KNOTT DOS
CLONES LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO A ANÁLISE INDIVIDUAL DE CADA
ESPAÇAMENTO (3X3 E 3X5) E A ANÁLISE CONJUNTA PARA A
METODOLOGIA COM FOTOS**

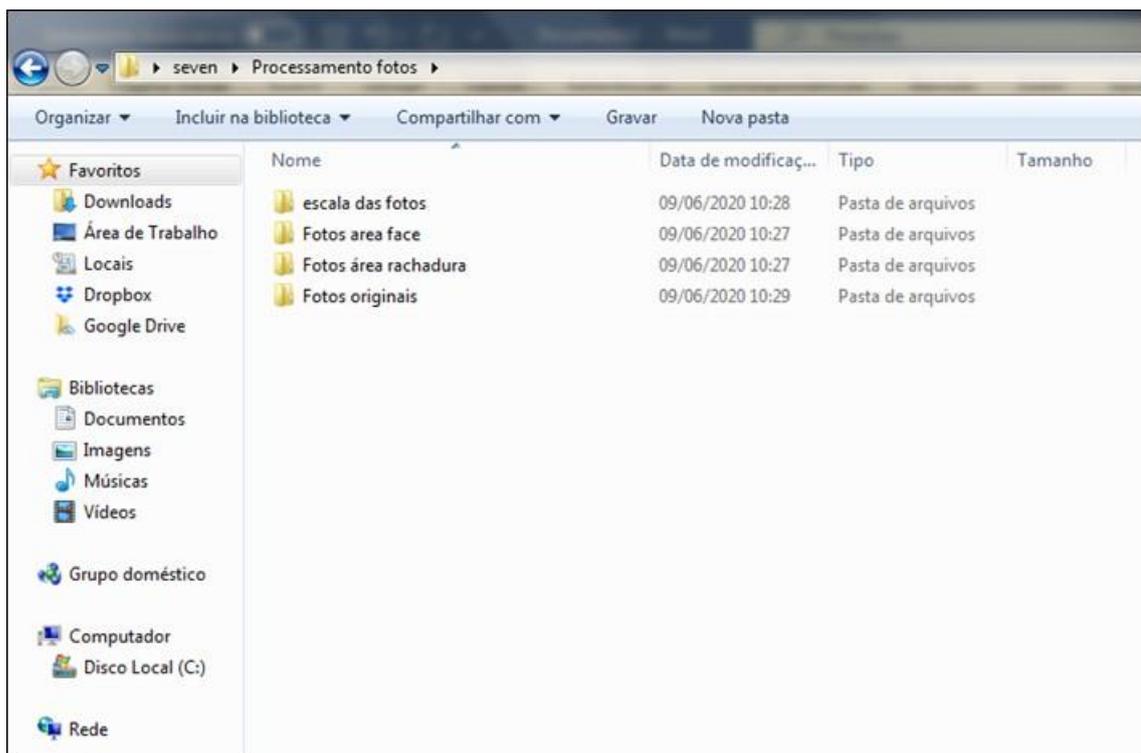
Clones	3x3		Clones	3x5		Clones	Conjunta
32	0,01247	a	32	0,0085	a	32	0,01048 a
29	0,01501	a	30	0,00991	a	30	0,01436 b
28	0,01538	a	28	0,01543	b	28	0,0154 b
31	0,01833	b	20	0,01685	b	10	0,0196 c
27	0,0187	b	8	0,01948	c	27	0,01961 c
30	0,01881	b	4	0,01994	c	20	0,01962 c
10	0,01889	b	10	0,02031	c	29	0,01964 c
4	0,01992	b	27	0,02053	c	4	0,01993 c
17	0,02061	b	11	0,02082	c	8	0,0215 d
7	0,0221	c	5	0,02122	c	5	0,02201 d
26	0,02216	c	18	0,02195	c	31	0,02277 d
20	0,02239	c	25	0,02265	c	25	0,02315 d
5	0,0228	c	12	0,02422	c	7	0,02337 d
1	0,02295	c	29	0,02428	c	18	0,0237 d
8	0,02351	c	7	0,02463	c	12	0,02434 d
25	0,02365	c	24	0,02538	c	1	0,0258 e
12	0,02447	c	16	0,02642	d	17	0,02585 e
23	0,02491	c	14	0,0267	d	23	0,0259 e
15	0,02532	c	23	0,0269	d	16	0,02612 e
18	0,02545	c	13	0,02709	d	26	0,02726 e
16	0,02583	c	31	0,0272	d	24	0,02746 e
21	0,02584	c	1	0,02866	d	14	0,02817 e
3	0,02634	c	6	0,02908	d	3	0,02899 f
2	0,02858	d	17	0,03109	e	15	0,02998 f
24	0,02955	d	3	0,03165	e	21	0,03041 f
14	0,02965	d	26	0,03235	e	13	0,03043 f
19	0,03032	d	9	0,03312	f	6	0,03072 f
6	0,03237	d	15	0,03463	f	11	0,03364 g
13	0,03377	d	21	0,03498	f	2	0,03397 g
22	0,0356	d	19	0,03805	g	19	0,03418 g
9	0,03823	e	2	0,03937	g	9	0,03567 g
11	0,04647	f	22	0,04064	g	22	0,03812 g

ANEXO A - TUTORIAL PARA PROCESSAMENTO DE FOTOS PARA ANÁLISE DE RACHADURA DE TOPO DE TORA NO SOFTWARE PYTHON

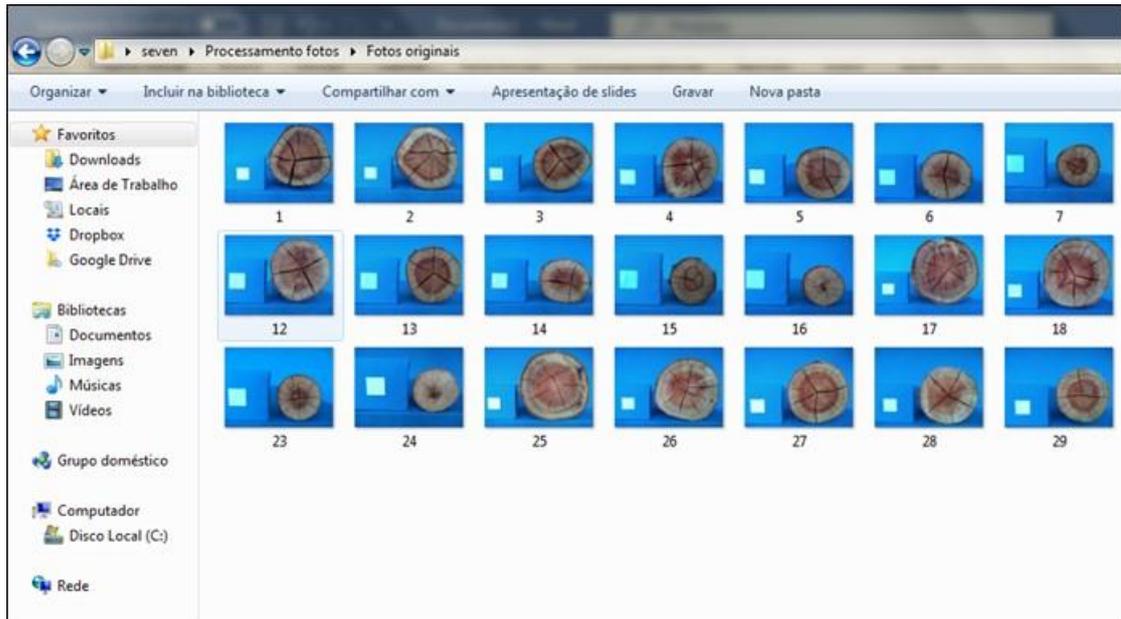
Processar uma imagem significa modificar ou extrair suas informações. Neste caso queremos extrair informações por meio da linguagem de programação Python, que é um software livre que pode ser baixado gratuitamente no site <https://www.python.org/>. E o objetivo deste tutorial é oferecer a metodologia de processamento de fotografias para a análise de rachadura de topo de tora.

Além do Python, é necessário baixar também o Pycharm, que é um ambiente de desenvolvimento integrado e ele tem como objetivo proporcionar as ferramentas necessárias para o desenvolvimento produtivo em Python. A versão gratuita pode ser baixada no site <https://www.jetbrains.com/pt-br/pycharm/>, escolhendo a opção Community.

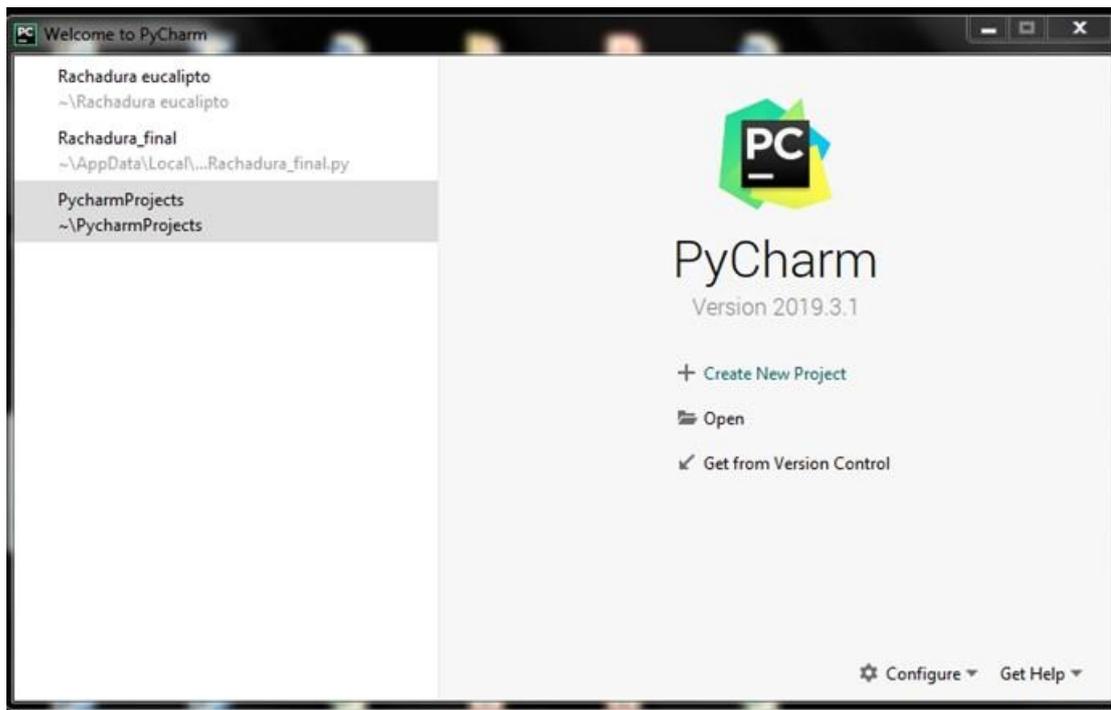
Antes de abrir o Pycharm e colar a rotina da análise que está descrita na dissertação METODOLOGIAS DE FENOTIPAGEM DE RACHADURA DE TOPO DE TORA DE CLONES DE *Eucalyptus spp.* PARA MADEIRA TRATADA, é necessário criar uma pasta, no seu perfil de usuário do computador, que nela contenha as seguintes pastas dentro: Fotos originais, Fotos área da face, Fotos área rachadura e fotos da escala (Não necessariamente estes nomes, tem que ser conforme o seu entendimento).



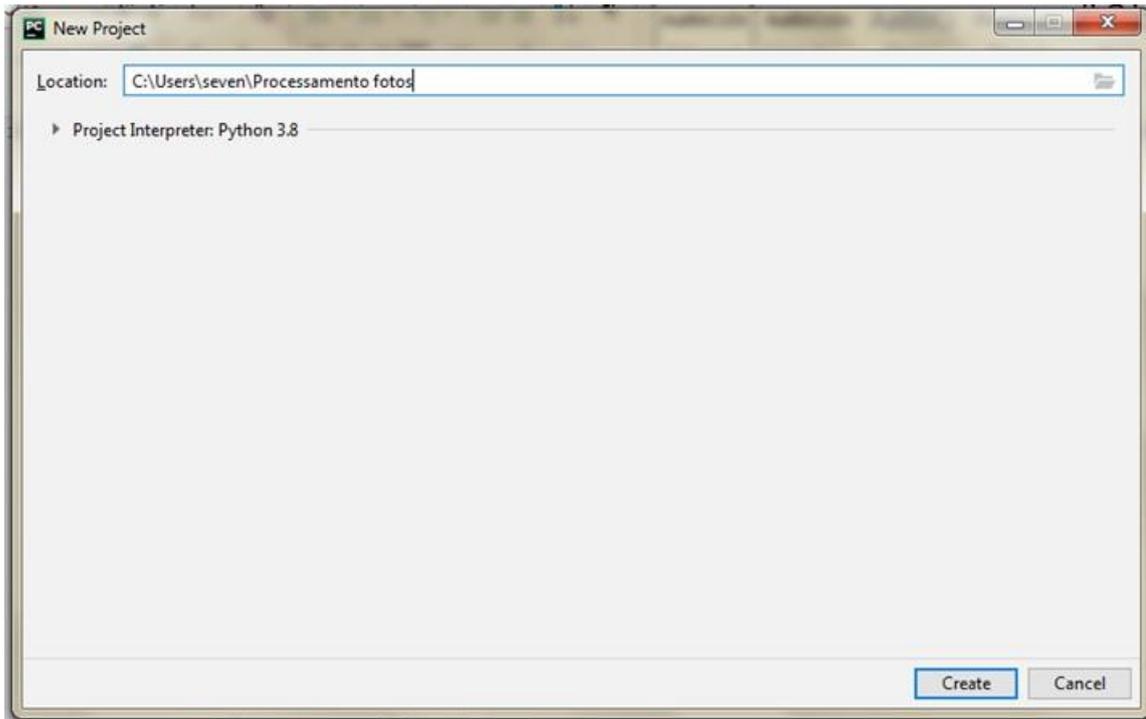
Na pasta “Fotos originais” estarão as fotos que serão processadas.



Quando abrir o Pycharm, clicar em “Create New Project”.



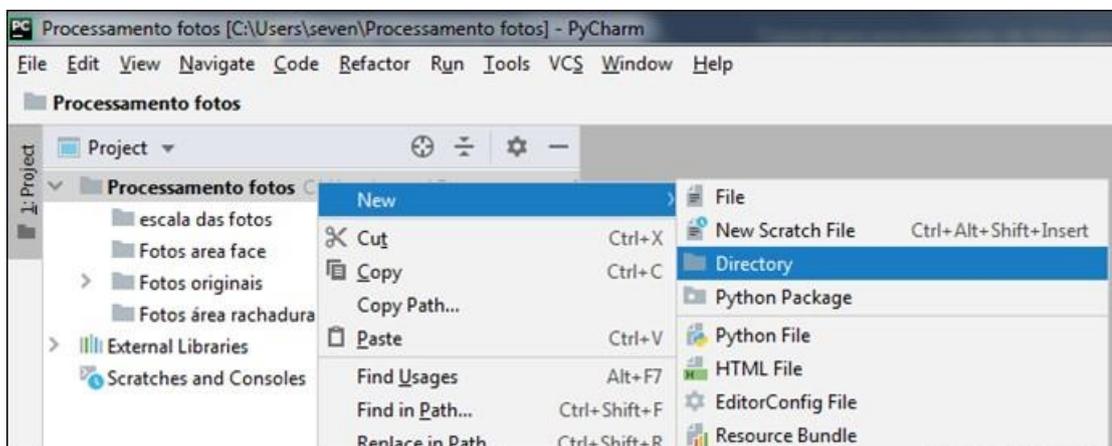
A próxima janela será para colocar o endereço onde o projeto ficará salvo. O Pycharm já sugere um local, mas o ideal é salvar na pasta criada dentro do seu usuário, neste caso na pasta “processamento de fotos”. Feito isso clique em Create.



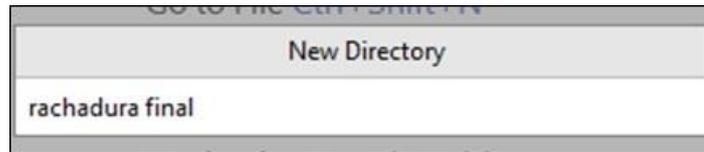
Aparecerá a seguinte mensagem dizendo que o diretório não está vazio e se deseja criar um projeto a partir das fontes existentes. Clique em Yes.



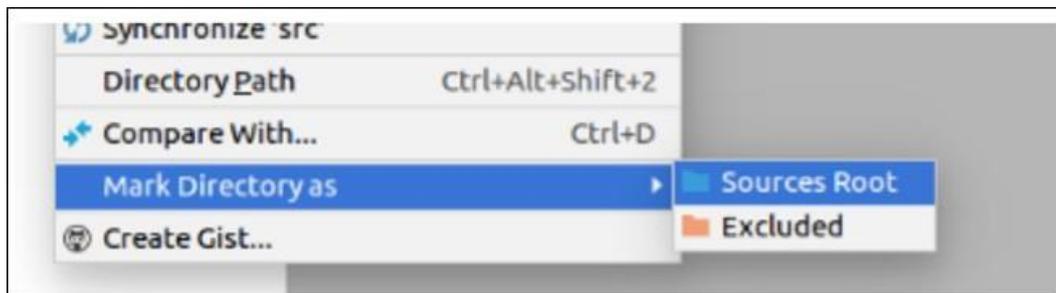
O próximo passo é criar uma pasta raiz do projeto onde estará o diretório dos comandos. Para isso clique com o botão direito do mouse na pasta com o nome de processamento de fotos -> New -> Directory.



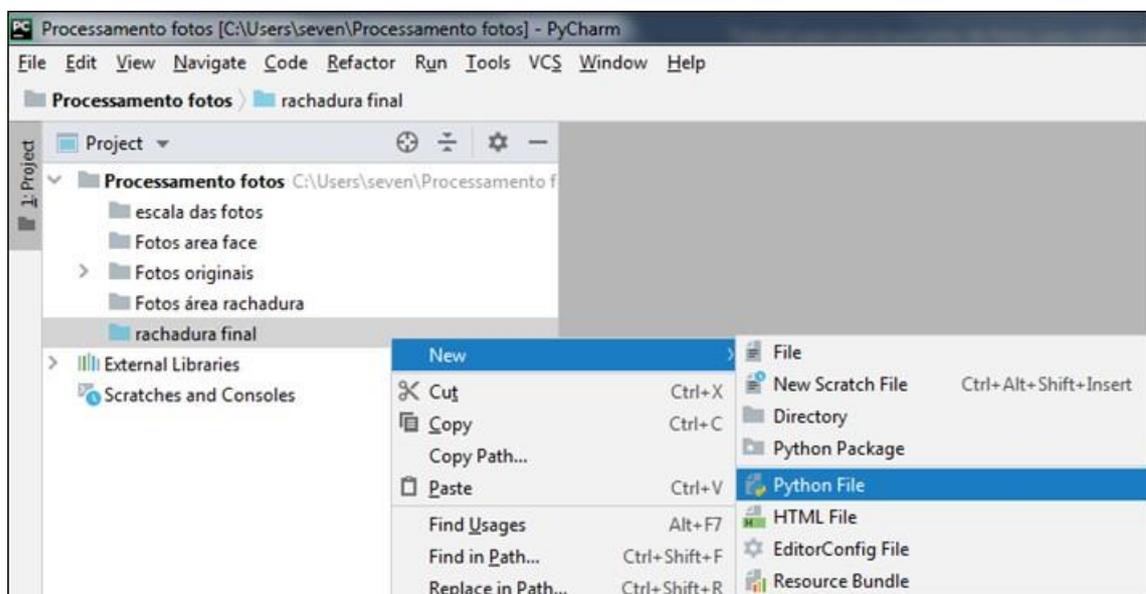
Defina o nome do diretório e clique em “enter”.



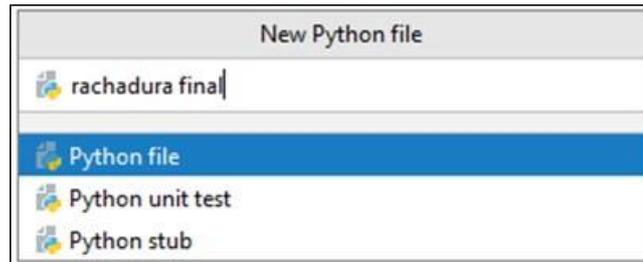
Para defini-lo como pasta raiz, clicar com o botão direito do mouse no diretório, navegar até Mark Directory as e escolher Sources Root. Você notará que a pasta muda da cor cinza para azul.



Agora é hora de criar o arquivo rachadura.py que conterà nossa rotina para o processamento das fotos. Para isso, clique com o botão direito do mouse em ‘rachadura final’ e vá em New -> Python File:



Digite o nome do arquivo e clique em 'OK'. Vamos nomear o arquivo como rachadura final e apertar a tecla “enter”:



Pronto! Agora na janela ao lado, deve-se colar a rotina do processamento que está no apêndice da dissertação.

```

1  import cv2
2  import numpy as np
3  from matplotlib import pyplot as plt
4  import os
5  from scipy.spatial.distance import euclidean
6  from imutils import perspective
7  from imutils import contours
8  import imutils
9  import glob
10 import pandas as pd
11
12
13 def pixel_per_cm2(area_lar, area_olt):
14     return (dist_in_pixel_larg * dist_in_pixel_olt) / (area_olt * area_lar)
15
16
17 medicoes=[]
18 areat = []
19 parcelas=[]
20 i=1
21
22 os.chdir('D:\My Drive\Arquivos-notebook\Python-projects\Eucalipto-rachadura\python')
23
24 #####CARREGAR IMAGEM
25 path_of_images='D:\My Drive\Arquivos-notebook\Python-projects\Eucalipto-rachadura\python\I
26 outfile='D:\My Drive\Arquivos-notebook\Python-projects\Eucalipto-rachadura\python\Referenc
27 saida='D:\My Drive\Arquivos-notebook\Python-projects\Eucalipto-rachadura\python\Rachadura'
28 saida_tora = 'D:\My Drive\Arquivos-notebook\Python-projects\Eucalipto-rachadura\python\Fac
29 filenames= glob.glob(path_of_images + "/*.jpg")

```

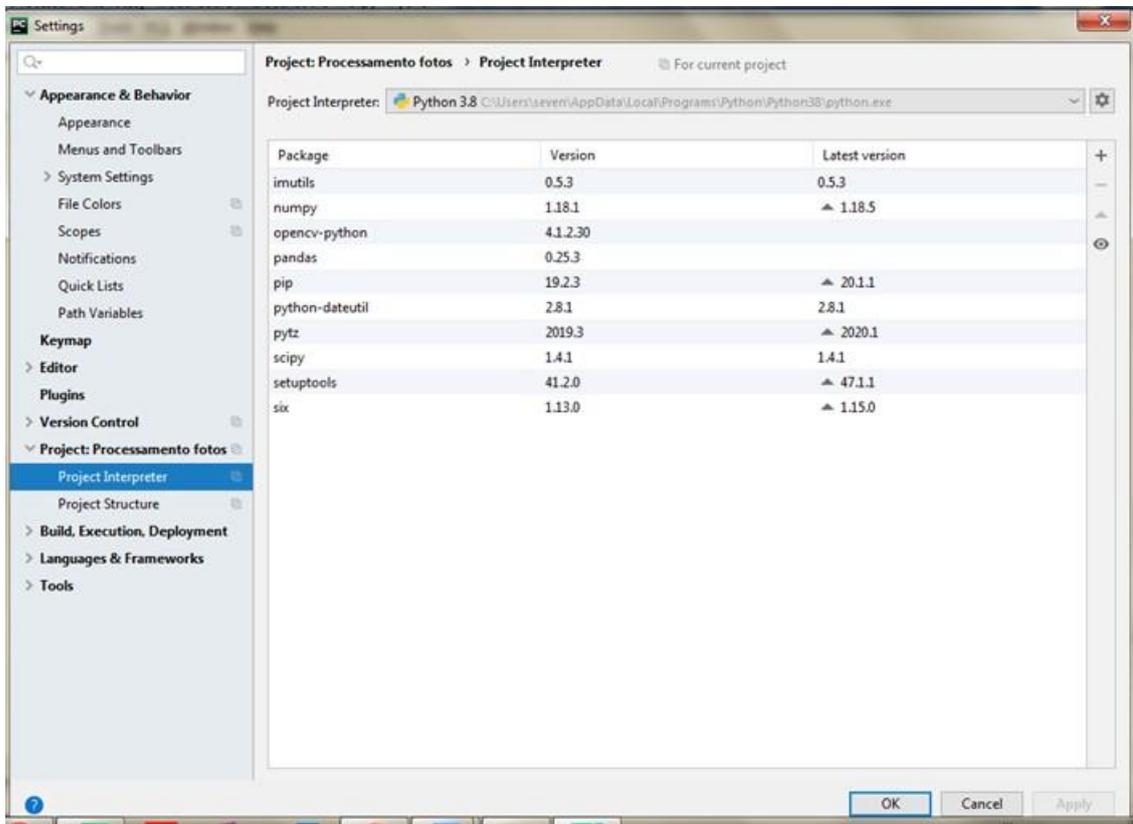
A primeira a coisa a se fazer depois de copiar a rotina é instalar os pacotes necessários para rodar a análise. Os pacotes são os primeiros itens da rotina. Indo de **import cv2** até **import pandas as pd**.

```

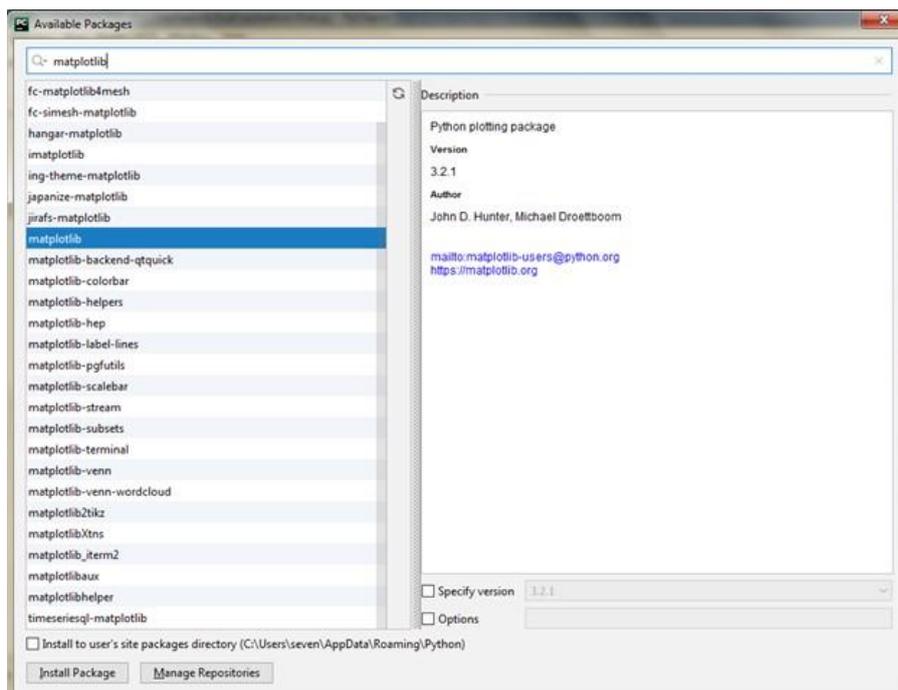
import cv2
import numpy as np
from matplotlib import pyplot as plt
import os
from scipy.spatial.distance import euclidean
from imutils import perspective
from imutils import contours
import imutils
import glob
import pandas as pd

```

Para a instalação faça o seguinte processo: Files => Settings => Project: Processamento de fotos => Project interpreter. Abrirá a seguinte janela:



Nesta janela estão os pacotes instalados no seu computador. Para adicionar algum pacote, é só clicar no sinal de “+” no lado direito superior da janela. Abrirá a seguinte janela:



Na parte superior você busca o pacote que necessita e quando encontrar, clique nele e depois clique em Install Package.

O próximo passo é editar as linhas de comando que estão na rotina. A primeira delas (os.chdir) diz respeito à pasta onde estão os arquivos que iremos trabalhar. Aquela pasta criada lá no início.

```
os.chdir('C:\Users\seven\Processamento fotos')
#####CARREGAR IMAGEM
path_of_images='D:\My Drive\Arquivos-notebook\Python-projects\Eucalipto-rachadura\python\Test'####diretorio das imagens
outfile='D:\My Drive\Arquivos-notebook\Python-projects\Eucalipto-rachadura\python\Referencia'
saida='D:\My Drive\Arquivos-notebook\Python-projects\Eucalipto-rachadura\python\Rachadura'
saida_tora = 'D:\My Drive\Arquivos-notebook\Python-projects\Eucalipto-rachadura\python\Face'
filenames= glob.glob(path_of_images + "/*.jpg")
```

Na segunda linha, logo após o descritivo “Carregar imagem”, colocar o endereço de onde estão as fotos que serão processadas. Neste caso, colocamos dentro da pasta fotos originais.

```
os.chdir('C:\Users\seven\Processamento fotos')
#####CARREGAR IMAGEM
path_of_images='C:\Users\seven\Processamento fotos\Fotos originais'####diretorio das imagens
outfile='D:\My Drive\Arquivos-notebook\Python-projects\Eucalipto-rachadura\python\Referencia'
saida='D:\My Drive\Arquivos-notebook\Python-projects\Eucalipto-rachadura\python\Rachadura'
saida_tora = 'D:\My Drive\Arquivos-notebook\Python-projects\Eucalipto-rachadura\python\Face'
filenames= glob.glob(path_of_images + "/*.jpg")
```

Na terceira linha está o endereço da pasta que serão colocadas as fotos com a referência de escala. Neste caso, estas imagens servirão para verificar se a escala está de acordo com a referência do quadrado branco. A pasta de endereço é aquela com o nome de “escala das fotos”.

```
os.chdir('C:\Users\seven\Processamento fotos')
#####CARREGAR IMAGEM
path_of_images='C:\Users\seven\Processamento fotos\Fotos originais'####diretorio das imagens
outfile='C:\Users\seven\Processamento fotos\escala das fotos'
saida='D:\My Drive\Arquivos-notebook\Python-projects\Eucalipto-rachadura\python\Rachadura'
saida_tora = 'D:\My Drive\Arquivos-notebook\Python-projects\Eucalipto-rachadura\python\Face'
filenames= glob.glob(path_of_images + "/*.jpg")
```

Na quarta linha está o endereço da pasta que sairá as imagens processadas com as áreas das rachaduras. Neste caso, a pasta é “fotos área rachadura”.

```

os.chdir('C:\Users\seven\Processamento fotos')
#####CARREGAR IMAGEM
path_of_images='C:\Users\seven\Processamento fotos\Fotos originais'####diretorio das imagens
outfile='C:\Users\seven\Processamento fotos\escala das fotos'
saida='C:\Users\seven\Processamento fotos\Fotos area rachadura'
saida_tora = 'D:\My Drive\Arquivos-notebook\Python-projects\Eucalipto-rachadura\python\Face'
filenames= glob.glob(path_of_images + "/*.jpg")

```

Na quinta linha de comando será inserido o endereço da pasta que saíra com as imagens processadas com a área da face da tora. Neste caso a pasta é “fotos área face”.

```

os.chdir('C:\Users\seven\Processamento fotos')
#####CARREGAR IMAGEM
path_of_images='C:\Users\seven\Processamento fotos\Fotos originais'####diretorio das imagens
outfile='C:\Users\seven\Processamento fotos\escala das fotos'
saida='C:\Users\seven\Processamento fotos\Fotos area rachadura'
saida_tora = 'C:\Users\seven\Processamento fotos\Fotos area face'
filenames= glob.glob(path_of_images + "/*.jpg")

```

OBS.: É possível ocorrer erro no momento de executar a rotina por causa do endereço das pastas. Uma sugestão é duplicar as barras que separam as pastas do endereço como na imagem abaixo:

```

os.chdir('C:\\Users\\seven\\Rachadura')
#####CARREGAR IMAGEM
path_of_images='C:\\Users\\seven\\Rachadura\\Fotos'####diretorio das imagens
outfile='C:\\Users\\seven\\Rachadura\\Escala'
saida='C:\\Users\\seven\\Rachadura\\Rachadura'
saida_tora = 'C:\\Users\\seven\\Rachadura\\Face'
filenames= glob.glob(path_of_images + "/*.jpg")

```

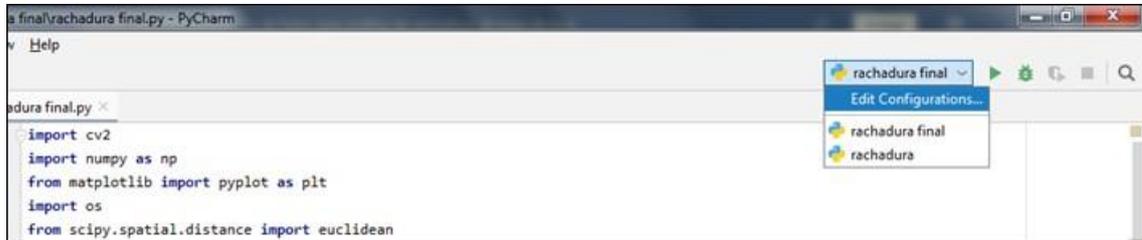
Depois disso vem a rotina em si, que não necessita de alterações. No final dela tem um comando que é de salvar as medidas em um arquivo de formato CSV. Este arquivo será salvo na pasta “processamento de fotos” com as áreas das faces e das rachaduras de cada foto.

```

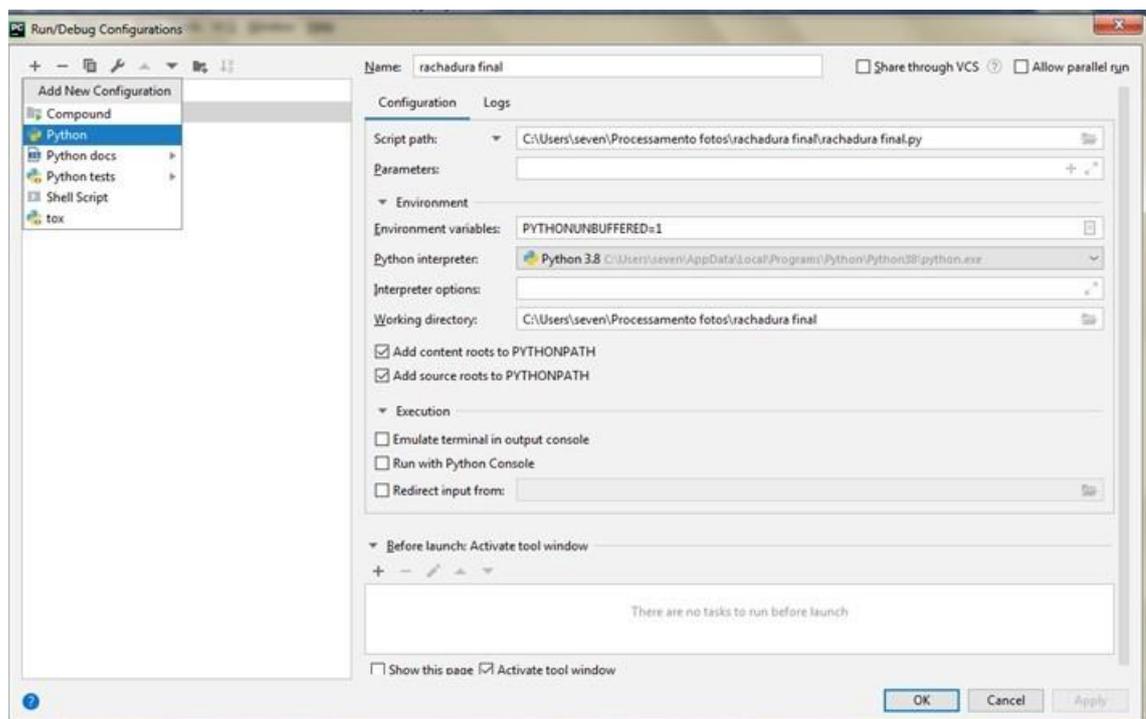
#####Salvar itens
medicoes.append(md)
parcelas.append(nome_legenda)
areat.append(ator)
a=(i/(len(filenames))*100)
print("{0:.2f} % completed".format(round(a, 2)))
i=i+1
tabela= np.array([parcelas,medicoes,areat])
tabela=np.transpose(tabela)
df = pd.DataFrame (tabela)
df.columns = ['Foto', 'Rachadura(cm2)', 'Area_Face(cm2)']
df.to_csv("medidas.csv",index=False,)

```

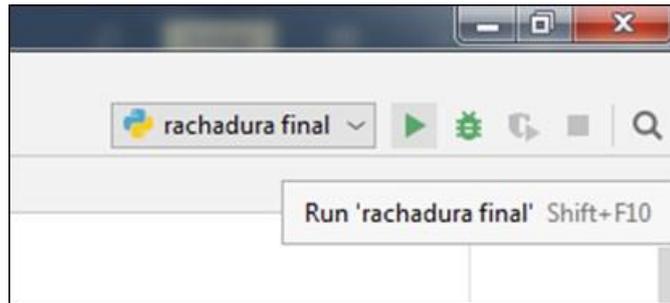
Antes de clicar no botão executar, é necessário dizer qual rotina você quer executar e para isso basta clicar no botão “Edit Configurations...”, que está no lado direito superior da janela.



Na próxima janela, clique no botão com o sinal de “+”, depois em Python e em seguida dê o endereço onde salvou a rotina. Neste caso, está dentro da pasta processamento de fotos. Após ter feito isso, clique em OK.



Agora é só executar a rotina. Clicando no botão de seta verde no canto superior direito da janela.



Terminado o processamento das fotos, é necessário editar o documento CSV salvo com as áreas das imagens processadas, que sairão da seguinte maneira:

Foto,Rachadura(cm2),Area_Face(cm2)		
1.jpg,13.0862,174.535		
10.jpg,8.119,179.6889		
11.jpg,7.186,126.4548		
12.jpg,4.2288,105.9338		
13.jpg,3.8507,83.2261		
14.jpg,2.5657,73.0743		
15.jpg,3.7489,47.2424		
16.jpg,1.2197,36.0598		
17.jpg,7.1404,253.3139		
18.jpg,5.9403,191.6855		
19.jpg,6.9035,139.5959		
2.jpg,5.4532,197.9798		
20.jpg,4.488,131.8695		
21.jpg,3.4707,90.6884		
22.jpg,2.6452,81.6905		
23.jpg,1.8096,45.7878		

Os dados estão separados por vírgula. Para separa em colunas diferentes, basta colocar os dados no excel e fazer o seguinte caminho: Dados => Texto para colunas => Escolha o campo delimitado e clique em avançar => marque o delimitador vírgula e clique em avançar => confira se ficou correto e clique em concluir. A planilha ficará da seguinte forma:

Foto	Rachadura(cm2)	Area_Face(cm2)
1.jpg	13,0862	174,5350
10.jpg	8,1190	179,6889
11.jpg	7,1860	126,4548
12.jpg	4,2288	105,9338
13.jpg	3,8507	83,2261
14.jpg	2,5657	73,0743
15.jpg	3,7489	47,2424
16.jpg	1,2197	36,0598
17.jpg	7,1404	253,3139
18.jpg	5,9403	191,6855
19.jpg	6,9035	139,5959
2.jpg	5,4532	197,9798
20.jpg	4,4880	131,8695
21.jpg	3,4707	90,6864
22.jpg	2,6452	81,6905
23.jpg	1,8096	45,7878