

LUCAS DE FREITAS FIALHO

**SELEÇÃO DE MATERIAIS GENÉTICOS DE *Eucalyptus* sp. PARA A
PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL UTILIZANDO ANÁLISE
MULTIVARIADA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

F438s
2018 Fialho, Lucas de Freitas, 1993-
Seleção de materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. para a produção
de carvão vegetal utilizando análise multivariada / Lucas de Freitas
Fialho. - Viçosa, MG, 2018.
vi, 51f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 41-48.

1. Carvão vegetal. 2. Análise por agrupamento. 3. Análise de
componentes principais. 4. Dessorção térmica. 5. Madeira - Química. I.
Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. II. Título.

CDO adapt. CDD 634.98675

LUCAS DE FREITAS FIALHO

**SELEÇÃO DE MATERIAIS GENÉTICOS DE *Eucalyptus* sp. PARA A
PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL UTILIZANDO ANÁLISE
MULTIVARIADA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 28 de fevereiro de 2018



Benedito Rocha Vital



Antônio Policarpo Souza Carneiro



Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho



Marcos Oliveira de Paula



Angélica de Cassia Oliveira Carneiro
(Orientadora)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por proporcionar tantas alegrias em minha vida.

Aos meus pais, Ailton e Rita, por acreditarem em meu sonho e estarem sempre ao meu lado me apoiando nas minhas escolhas.

À minha namorada Clarissa, pela compreensão, dedicação, paciência, pelas ajudas durante o mestrado e o experimento e pelos momentos incríveis que passamos junto.

Aos meus amigos e familiares por todo o incentivo e ajuda.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal, pela oportunidade.

À minha orientadora, Angélica de Cassia Oliveira Carneiro, pela orientação, compreensão e ensinamentos durante todo este período de convivência.

Aos professores Benedito Rocha Vital, Ana Marcia Macedo Ladeira Carvalho, Antônio Policarpo Souza Carneiro e Marcos Oliveira de Paula pelas contribuições durante o desenvolvimento do trabalho.

A todos os amigos e funcionários do Laboratório de Propriedades da Madeira (LPM – DEF/UFV), Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM – DEF/UFV) pela ajuda e amizade, em especial aqueles que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

À FAPEMIG, pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao projeto PNUD pelo apoio financeiro ao Laboratório de Painéis e Energia da Madeira.

A empresa Aperam BioEnergia pela disponibilização do material, por toda a atenção, interesse e confiança no nosso trabalho.

A Clara Mendoza pelas análises termogravimétricas.

Aos Doutores Stewart I. Cameron e Ron Smith pela oportunidade de realizar parte do mestrado no Canadá.

Ao Hugo e a Mayra pela ajuda com as figuras, esquemas e desenhos técnicos.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

OBRIGADO!

BIOGRAFIA

LUCAS DE FREITAS FIALHO, filho de Ailton de Freitas Fialho e Rita de Cassia de Freitas Fialho, nasceu em 10 de março de 1993 na cidade de Viçosa, Minas Gerais, onde concluiu o Ensino Fundamental e Médio.

Em 2011 ingressou no curso superior de Engenharia Florestal, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa - MG.

Em janeiro de 2012 ingressou na pesquisa, trabalhando nos Laboratórios de Painéis e Energia da Madeira e de Propriedades da Madeira.

Em julho de 2014 e entre janeiro e março 2015 estagiou na empresa Aperam BioEnergia Ltda, no setor de Carvão Vegetal em Itamarandiba-MG e Capelinha-MG, respectivamente.

Em janeiro de 2016, concluiu o curso de Engenharia Florestal e, em março deste mesmo ano, iniciou o curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal, em nível de mestrado, na Universidade Federal de Viçosa.

De janeiro a junho de 2017 realizou um período sanduiche na University of New Brunswick em Fredericton-NB no Canadá, sob orientação do Doutor Stewart I. Cameron.

Em fevereiro de 2018 concluiu os requisitos necessários à obtenção do título de *Magister Scientiae*.

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo geral	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. A produção de carvão vegetal no Brasil	4
3.2. Carbonização da madeira	4
3.3. Análises estatísticas	5
3.3.1. Análise estatística univariada	6
3.3.2. Análises Multivariadas	7
3.3.2.1. Análise de componentes principais	7
3.3.2.2. Análise de agrupamentos (Análise de cluster)	8
4. MATERIAL E MÉTODOS	9
4.1. Materiais e local de estudo	9
4.3. Propriedades da madeira	11
4.3.1. Incremento médio anual	11
4.3.2. Relação cerne/alburno (C/A)	11
4.3.3. Densidade básica	12
4.3.4. Análise morfológica de fibras	12
4.3.6. Composição química estrutural	13
4.3.7. Poder calorífico superior	13
4.4. Rendimento gravimétrico e propriedades do carvão vegetal	14
4.5. Análise dos dados	16
4.5.1. Análise estatística univariada	16
4.5.2. Análise estatística multivariada	17
4.5.2.1. Análise de componentes principais	17
4.5.2.2. Análise de agrupamento	18
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5.1. Propriedades da madeira e do carvão vegetal	19
5.1.1. Análise termogravimétrica – TGA	25
5.2. Análise estatística univariada	27
5.3. Análise estatística multivariada	30
6. CONCLUSÕES	40
7. REFERENCIAL TEÓRICO	41
ANEXO 1 – Curvas TG/DTG da madeira dos materiais genéticos de Eucalyptus spp. 49	

RESUMO

FIALHO, Lucas de Freitas, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2018. **Seleção de materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. para a produção de carvão vegetal utilizando análise multivariada.** Orientadora: Angélica de Cássia Oliveira.

Os avanços dos estudos a respeito da qualidade da madeira e do carvão vegetal evidenciam a importância da investigação por completa das características inerentes a matéria-prima e ao produto final. No entanto, isso acarreta um crescimento do número de variáveis a serem analisadas e estudadas, tornando a sua interpretação cada vez mais complexa. Neste contexto, a escolha da análise estatística a ser utilizada, como a medida da magnitude das diferenças entre as observações entre as propriedades, é essencial para que sejam obtidos resultados fidedignos da população em estudo. Diante do exposto, buscou-se, neste trabalho, por meio das propriedades da madeira e do carvão vegetal, selecionar os materiais superiores por meio de análises estatísticas univariada e multivariada. Utilizou-se 25 materiais genéticos de *Eucalyptus* spp., aos 87 meses de idade, cultivados em espaçamento 3 x 3 metros, provenientes de um teste clonal pertencente a uma empresa florestal no município de Itamarandiba, Minas Gerais. Foram determinadas as propriedades da madeira e do carvão vegetal para todos os materiais genéticos, além do rendimento gravimétrico. Os dados foram submetidos ao algoritmo de agrupamento hierárquico Scott-Knott, como uma análise univariada. Para a realização da abordagem multivariada se utilizou uma combinação entre as análises de componentes principais e a análise de agrupamentos hierárquicos. Ambas as análises se mostraram eficiente na seleção de materiais genéticos para a produção de carvão vegetal. As propriedades da madeira e do carvão vegetal, independente do clone, apresentaram-se satisfatórias para a produção de carvão vegetal para uso siderúrgico. A maior parte das propriedades apresentaram baixo coeficiente de variação. De acordo com o teste de Scott-Knott, os materiais genéticos 9 (Híbrido de *E. urophylla* e *E. maidenii*) e 21 (Híbrido de *E. urophylla*, *E. camaldulensis*, *E. grandis* e *Eucalyptus* sp.) foram os mais indicados para a produção de carvão vegetal. Entretanto, através das análises multivariadas os mais indicados foram o 9 (Híbrido de *E. urophylla* e *E. maidenii*), 10 (Híbrido de *E. urophylla* e *Eucalyptus* sp.) e 21 (Híbrido de *E. urophylla*, *E. camaldulensis*, *E. grandis* e *Eucalyptus* sp.). Portanto, é possível concluir que o teste de Scott-Knott permite a visualização dos resultados de cada parâmetro de qualidade de forma independente, em contrapartida, as ferramentas multivariadas permitiram a observação das relações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal.

ABSTRACT

FIALHO, Lucas de Freitas, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February 2018. **Material genetic selection of *Eucalyptus* sp. to charcoal production using multivariate analysis.** Adviser: Angélica de Cássia Oliveira.

Advances in studies on the quality of wood and charcoal evidence the importance of the complete investigation of the inherent characteristics of the raw material and the final product. However, this leads to an increase in the number of variables to be analyzed and studied, making their interpretation increasingly complex. In this context, the choice of the statistical analysis to be used, as the measure of the magnitude of the differences between the observations of the properties, is essential to obtain reliable results of the study population. In view of the above, it was sought, in this work, through the properties of wood and charcoal, selecting superior materials using analysis univariate and multivariate statistics. Twenty-five genetic materials of *Eucalyptus* spp. were used at 87 months of age, cultivated in spacing 3 x 3 meters, from a clonal test belonging to a forest company in the municipality of Itamarandiba, Minas Gerais. The properties of wood and charcoal were determined for all genetic materials, besides to the gravimetric yield. Data were submitted to the Scott-Knott hierarchical clustering algorithm as a univariate analysis. To perform the multivariate analysis were used a combination between of principal components analysis and hierarchical clustering analysis. Both analyzes were efficient in the selection of genetic material to produce charcoal. The properties of wood and charcoal, independent of the genetic material, were satisfactory to produce charcoal for the pig iron industry. Most of the properties had a low coefficient of variation. According to Scott-Knott's test, genetic materials 9 (Hybrid of *E. urophylla* and *E. maidenii*) and 21 (Hybrid of *E. urophylla*, *E. camaldulensis*, *E. grandis* and *Eucalyptus* sp.) Were the most indicated to produce charcoal. However, through the multivariate analyzes, the most indicated were 9 (Hybrids of *E. urophylla* and *E. maidenii*), 10 (Hybrids of *E. urophylla* and *Eucalyptus* sp.) And 21 (Hybrids of *E. urophylla*, *E. camaldulensis*, *E. Grandis* and *Eucalyptus* sp.). Therefore, it is possible to conclude that the Scott-Knott test allows the visualization of the results of each quality parameter independently, in contrast, the multivariate tools allowed the visualization of the relationships between the properties of wood and charcoal.

1. INTRODUÇÃO

As preocupações globais em relação ao aumento de emissões antropogênicas têm gerado a implementação de políticas governamentais de apoio as energias renováveis. De acordo com IEA/IRENA (2017), mais de 60 países apresentaram planos de suporte a este tema. No Brasil, o Plano Nacional de Alterações Climáticas (MME, 2007), o 2030 Plano de Energia Nacional (EPE, 2007) e o Plano Decenal (EPE, 2010) estabelecem metas de reduções das emissões de gases de efeito estufa e a progressiva eliminação da utilização dos combustíveis fósseis. Salienta-se ainda que, paralelo aos impactos ambientais causados pelas fontes não renováveis de energia, o declínio de suas reservas, instabilidade dos preços e questões de segurança tem reforçado a necessidade da diversificação da matriz energética global (GARCIA *et al.*, 2018).

Neste contexto, a biomassa surge como uma alternativa interessante para os vários setores nos quais há um predomínio dos combustíveis fósseis. Dentre as vantagens da sua utilização, a biomassa pode ser considerada carbono neutro, uma vez que durante seu crescimento ocorre a retirada de CO₂ da atmosfera por meio da fotossíntese. Além disso, contém baixos teores de nitrogênio e enxofre, o que acarreta baixas emissões de NO_x e SO₂ durante sua utilização (QIAN *et al.*, 2011).

O Brasil detém uma vasta disponibilidade de biomassas, que, somando-se a geração de energia hidroelétrica já existente no país, pode equilibrar as demandas de energia primárias, (WELFLE, 2017). A biomassa à base de recursos madeireiros é uma das principais fontes capazes de suprir parte deste mercado. Nesse contexto, o Brasil se destaca em virtude de sua área de florestas plantadas, além de sua produtividade volumétrica. Em 2016, a área total de florestas plantadas foi de 7,84 milhões de hectares e produtividade média de 35,7 m³ha⁻¹ano⁻¹ (IBA, 2017). O *Eucalyptus* é o principal gênero utilizado no segmento de florestas plantadas brasileiro, representando 72,32% de toda a área plantada (IBA, 2017), uma vez que apresenta vantagens como rápido crescimento e adaptabilidade às condições edafoclimáticas. Destaca-se que, a maximização da produção volumétrica deve estar sempre associada a uma matéria-prima de qualidade para determinado uso, o que, frequentemente, não é considerado por diferentes setores produtores de florestas.

No caso do setor de carvão vegetal, a seleção de *Eucalyptus* é fundamentada, de modo geral, apenas na densidade básica da madeira (PEREIRA *et al.*, 2013). No entanto, estudos tem evidenciado a importância de análises mais completas das características

inerentes a matéria-prima, pois o rendimento e qualidade do carvão vegetal são influenciados pelas variações existentes nas propriedades da madeira, em sua estrutura anatômica, química ou física, além das variáveis do processo de carbonização.

A medida que ocorre um aumento na complexidade das análises, verifica-se também, um aumento do número de variáveis a serem estudadas, tornando a sua interpretação cada vez mais difícil. As ferramentas estatísticas são algumas das principais abordagens utilizadas no auxílio da interpretação das características de importância de uma determinada observação. Logo, a escolha da análise estatística a ser utilizada, como a medida da magnitude das diferenças entre as observações das propriedades, é fundamental para que sejam obtidos resultados fidedignos da população de estudo, uma vez que análises ou interpretações incorretas da estatística podem resultar em prejuízos econômicos (BOOS e STEFANSKI, 2011; COLQUHOUN, 2014).

Na seleção de materiais genéticos para produção de carvão vegetal, usualmente é utilizado o teste Tukey (1953) como análise de comparação das médias entre os tratamentos. Este teste divide as médias dos tratamentos em grupos que não são completamente distintos, o que pode resultar, por exemplo, na presença de muitos materiais genéticos em diferentes grupos simultaneamente, conforme observado por diferentes pesquisadores (ARANTES, 2009; FREDERICO, 2009; CASTRO, 2011; PEREIRA, 2012). Este fenômeno é chamado de sobreposição, e dificulta a interpretação final dos resultados (CALINSKI e CORSTEN, 1985).

Algumas das alternativas para solucionar esse problema é a utilização de diferentes métodos de análise estatística, como o algoritmo de agrupamento hierárquico Scott-Knott, ou as análises multivariadas. O teste de Scott-Knott é uma análise univariada que apresenta a vantagem de dividir os materiais genéticos (tratamentos) em grupos completamente distintos, não apresentando, portanto, o problema das sobreposições (JELIHOVSCHI *et al.*, 2014). A análise multivariada, especificamente o uso combinado da análise de componentes principais e a análise de agrupamentos, permite, além da divisão dos materiais genéticos (tratamentos) em grupos completamente distintos, a interpretação da relação entre as propriedades estudadas e a redução da dimensionalidade dos dados.

Visando contribuir para a avaliação da variabilidade de materiais genéticos de eucalipto, buscou-se, neste trabalho, por meio das propriedades da madeira e do carvão vegetal, selecionar os materiais superiores por meio de análises estatísticas univariada e multivariada.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar a variabilidade de materiais genéticos de eucalipto por meio das propriedades da madeira e do carvão vegetal utilizando análises estatísticas univariada e multivariada visando a seleção de materiais superiores.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar as propriedades anatômicas, físicas e químicas da madeira;
- Determinar o rendimento gravimétrico em carvão vegetal e suas propriedades físicas e químicas;
- Descrever as propriedades da madeira e do carvão vegetal por meio de medidas de estatística descritivas;
- Avaliar a degradação térmica da madeira por meio de análises termogravimétricas;
- Indicar o(s) material genético com maior potencial para a produção de carvão com base no teste de Scott-Knott;
- Indicar o(s) material genético com maior potencial para a produção de carvão com base na análise de componentes principais e análise de agrupamentos.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. A produção de carvão vegetal no Brasil

A área total de florestas plantadas no Brasil, em 2016, foi igual a 7,84 milhões de hectares, dos quais os plantios das espécies do gênero *Eucalyptus* representaram 72,70% desta área. Neste sentido, as empresas do setor de celulose e papel concentram 34% da produção de madeira no país, seguido pelos proprietários independentes e pequenos e médios produtores de programas de fomentos florestais (29%), e segmento de siderurgia a carvão vegetal (14%) (IBA, 2017).

O Brasil é o principal produtor e consumidor de carvão vegetal em escala industrial, sendo responsável por 14% da produção mundial de carvão vegetal. No ano de 2016, foram produzidos 6,5 milhões de toneladas de carvão vegetal no país (FAO, 2017). A produção de carvão vegetal brasileira é voltada para abastecimento do mercado interno, na qual os principais consumidores são os setores de ferro-gusa e aço, com 84,4% do total produzido, e de ferro-liga, que utiliza 11,6%, seguidos pelo consumo industrial e residencial (AMS, 2015).

Mais de 120 indústrias dos setores de ferro-gusa e aço utilizam o carvão vegetal como termoreductor, no entanto, este segmento está operando com menos de 50% da sua capacidade de produção, como reflexo da crise econômica (IBA, 2016). Apesar disso, investimentos na implantação e manutenção das florestas renováveis continuam sendo realizadas por tal segmento, e com a iminente perspectiva de recuperação desse mercado, espera-se a expansão dos plantios florestais (SINDIFER, 2016).

Em relação a procedência da matéria-prima para produção de carvão vegetal, em 2016, cerca de 84% do total foi oriunda de florestas plantadas, em detrimento de florestas naturais (IBA, 2017). Atribui-se a pressão realizada por órgãos ambientais de fiscalização, sobretudo a lei 18.365/2009, a retração no consumo total de carvão vegetal originado de nativas. De modo geral, a utilização de plantios florestais para suprimento da demanda por madeira no setor de carvão vegetal, diminui a pressão sob espécies nativas, contribuindo assim para uma maior sustentabilidade da produção de carvão vegetal.

3.2. Carbonização da madeira

A produção de carvão vegetal ocorre por meio da degradação térmica da madeira em condições controladas de oxigênio. Este processo é conhecido como carbonização ou

pirólise lenta. O seu principal objetivo é a eliminação de oxigênio presente na madeira pela ação do calor, e consequentemente concentração de carbono no carvão vegetal (VALE e GENTIL, 2008). Durante todo o processo ocorre uma sequência de reações químicas e físicas que resultam na liberação de vapor de água, gases condensáveis e não condensáveis e o produto final sólido. Os produtos gerados durante a pirólise são afetados, entre outros fatores, pela composição química da madeira (OLIVEIRA, 2009).

Os principais componentes da madeira são a celulose, hemiceluloses, lignina, extrativos e cinzas, sendo que, cada um desses componentes se comporta de forma diferente quando submetido a um processo de degradação térmica (ROWELL *et al.*, 2005). Segundo Yang *et al.* (2007) durante o processo de pirólise as hemiceluloses são as primeiras a se degradarem, entre 220 a 315°C. A celulose se degrada a temperaturas mais elevadas, de 315 a 400°C, com a maior perda de massa observada a 355°C. Segundo esses autores a lignina apresenta a maior faixa de degradação, de 160 a 900°C, apresentando a decomposição térmica mais difícil, sendo, portanto, a principal responsável pelo produto sólido do processo de pirólise. Embora a decomposição térmica da lignina se inicie próxima a 160°C, apenas uma pequena fração dela é degradada a temperaturas inferiores a 400°C (ELYOUNSSI *et al.*, 2010).

Segundo Trugilho *et al.* (2001), na primeira etapa da carbonização, de 100 a 200°C, ocorre, principalmente, a secagem da madeira. Na etapa seguinte, de 200 a 280°C, ocorre a liberação de ácido acético, metanol, água, CO₂, entre outros compostos. Ainda segundo os autores, entre 280 a 500°C, as reações deixam de ser endotérmicas e passam a ser exotérmicas, ocorrendo a liberação de gases como CO e CH₄ e alcatrões.

Diante do exposto, o rendimento gravimétrico e a qualidade do carvão vegetal dependerão das características físicas, químicas e anatômicas da madeira, além do processo de carbonização.

3.3. Análises estatísticas

As análises estatísticas, de forma geral, são ferramentas utilizadas para auxiliar na organização, descrição, análise e interpretação de dados obtidos de estudos ou experimentos, realizados em qualquer área de conhecimento (PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2002).

A análise descritiva é a fase inicial deste processo, permitindo organizar, resumir e descrever os aspectos relevantes de um conjunto de características observadas em uma determinada população. Existem diversos tipos de ferramentas descritivas como gráficos

e tabelas, além de medidas de tendência central como média aritmética e mediana, e medidas de dispersão como amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação.

A descrição dos dados tem como alguns de seus objetivos a identificação de anomalias, registros incorretos de valores, dados dispersos e resultados que não seguem a mesma tendência geral do restante do conjunto.

Apesar de algumas informações serem perdidas ao se concentrar dados por meio da análise descritiva, uma vez que não são apresentadas as observações originais, segundo Reis e Reis, (2002) esta perda pode ser considerada pequena quando comparado aos ganhos em facilidade de interpretação dos dados proporcionados por essa análise.

3.3.1. Análise estatística univariada

Um passo importante quando se objetiva a seleção de materiais genéticos para a produção de carvão vegetal é a utilização de métodos estatísticos para a comparação entre os tratamentos, sendo que, ao final dessas comparações busca-se obter grupos de médias distintos. O teste proposto por Tukey (1953) é um dos mais utilizados, no Brasil, para esta finalidade (SANTOS *et al.*, 2011; NEVES *et al.*, 2011; REIS *et al.*, 2012; PEREIRA *et al.*, 2013; TRUGILHO *et al.*, 2015; CARNEIRO *et al.*, 2017).

O teste de Tukey usualmente divide as médias dos tratamentos em grupos que não são completamente distintos, podendo ocorrer sobreposição ou ambiguidade (CALINSKI e CORSTEN, 1985). A medida que o número de tratamentos aumenta é observado o aumento da sobreposição, o que dificulta a interpretação do resultado por parte do pesquisador/executor (JELIHOVSCHI *et al.*, 2014).

Uma alternativa para o problema da sobreposição é a utilização das análises de agrupamento, em detrimento aos métodos de comparações múltiplas (O'NEILL e WETHERILL, 1971). O algoritmo SK, proposto por Scott e Knott (1974), é uma análise de agrupamentos hierárquicos que divide os tratamentos em grupos distintos. Apesar de existirem uma série de outros algoritmos que tem o mesmo objetivo, o SK é muito utilizado por apresentar aplicação simples e bons resultados (GATES e BILBRO, 1978; JELIHOVSCHI *et al.*, 2014). Além disso, pode ser aplicado nas mais diversas áreas de estudo, se tornando um algoritmo abrangente e consolidado (PEREIRA *et al.*, 2016, MELO *et al.*, 2016, ALMEIDA *et al.*, 2018, COSTA *et al.*, 2018).

3.3.2. Análises Multivariadas

As análises multivariadas consistem em uma coleção de métodos que podem ser aplicados quando várias variáveis são mensuradas de cada objetos/observação em uma ou mais amostras (RECHER, 2002). Alguns dos principais objetivos de utilização das análises multivariadas incluem:

1. Redução da dimensionalidade ou simplificação da estrutura de dados: Consiste na representação do fenômeno em estudo o mais simples possível sem que sejam perdidas as informações importantes. Espera-se que esta transformação deixe a interpretação dos dados mais fácil.
2. Classificação ou agrupamento: Consiste na formação de grupos de objetos/observações ou variáveis similares, com base nas características medidas.
3. Investigação da dependência entre variáveis: Consiste na identificação das relações naturais entre as variáveis de interesse, identificando se as elas são mutuamente independentes ou são dependentes umas das outras.

Historicamente a maior parte das aplicações das técnicas multivariadas era voltada para as áreas de ciências comportamentais e biológicas, porém, o interesse por métodos multivariados se espalhou por diversas áreas de estudo como educação, química, física, geologia, engenharia, direito, negócios, literatura, religião, radiodifusão pública, enfermagem, mineração, linguística, biologia, psicologia e muitos outros campos (JOHNSON e WICHERN, 2007).

3.3.2.1. Análise de componentes principais

A análise de componentes principais (PCA) é uma técnica multivariada, que consiste na transformação de um conjunto de variáveis originais em um outro conjunto, de mesma dimensão, denominado de componentes principais.

Os componentes principais apresentam algumas propriedades importantes como, cada componente principal é a combinação linear de todas as variáveis em estudo; são ortogonais, ou seja, independentes entre si; e, são estimados com o propósito de reter o máximo de informação em termo de variância total dos dados (JOHNSON e WICHERN, 2007).

Segundo Hongyu *et al.* (2015) algumas das principais utilizações dessa análise multivariada é a redução da dimensionalidade dos dados, agrupamento de indivíduos/observações pela similaridade e a explicação da estrutura da variância e

covariância de um vetor aleatório composto pela combinação linear das variáveis originais.

3.3.2.2. Análise de agrupamentos (Análise de cluster)

A análise de agrupamentos é uma ferramenta exploratória que auxilia na interpretação das relações multivariadas de uma determinada população. Essa análise busca otimizar o agrupamento de observações ou objetos, de forma que, cada um dos elementos dentro de um mesmo grupo seja similar, e os grupos sejam dissimilares entre si (RECHER, 2002).

O primeiro passo para uma análise de agrupamentos é a construção de uma escala quantitativa a qual será utilizada para medir a associação. Quando o objetivo é a formação de grupos de objetos/observações, de forma geral, utiliza-se uma unidade de medida de distância. Entretanto, quando o objetivo é a formação de grupo de variáveis, de forma geral, utiliza-se o coeficiente de correlação entre as variáveis (JOHNSON e WICHERN, 2007).

Existem diversos algoritmos utilizados para a formação dos grupos, de acordo com as medidas de associação, porém os mais utilizados são métodos de agrupamento hierárquicos aglomerativos (RECHER, 2002). Estes métodos reúnem procedimentos que permitem classificar i populações em grupos, com base na medida de p características.

Dois dos principais métodos de agrupamentos hierárquicos aglomerativos são o *single linkage* e o *complete linkage*. No método *single linkage* a distância entre dois grupos A e B é definida como a menor entre um ponto em A e um ponto em B. A cada passo desse método os dois grupos com a menor distância são unidos, até que seja formado apenas um grupo. Em contrapartida, no método *complete linkage* a distância entre dois grupos A e B é definida como a maior entre um ponto em A e um ponto em B. A cada passo desse método os dois grupos com a menor distanciam são unidos, até que seja formado apenas um grupo.

De forma geral, o primeiro método leva em consideração apenas os pontos onde os grupos são mais próximos, já o segundo método é influenciado por todos os pontos do grupo. Isso faz com que o *complete linkage* forme grupos menores e menos dispersos, porém isso causa uma maior sensibilidade a *outliers* (DAY e EDELSBRUNNER, 1984).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Materiais e local de estudo

Neste trabalho foram utilizados vinte e cinco materiais genéticos de *Eucalyptus* spp. (Tabela 1) aos 87 meses de idade, cultivados em espaçamento 3 x 3 metros, provenientes de um teste clonal em parcelas de 6 linhas com 4 plantas por linha, pertencentes a empresa Aperam BioEnergia no município de Itamarandiba, Minas Gerais.

Tabela 1- Informações sobre os materiais genéticos de *Eucalyptus* spp.

Identificação	Material Genético
1	<i>Eucalyptus cloeziana</i>
2	Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>Eucalyptus</i> sp.
3	Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>Eucalyptus</i> sp.
4	Híbrido de <i>E. urophylla</i> e <i>Eucalyptus</i> sp.
5	Híbrido de <i>E. urophylla</i> e <i>Eucalyptus</i> sp.
6	Híbrido de <i>E. urophylla</i> e <i>Eucalyptus</i> sp.
7	Híbrido de <i>E. urophylla</i> e <i>Eucalyptus</i> sp.
8	Híbrido de <i>E. grandis</i> e <i>E. urophylla</i>
9	Híbrido de <i>E. urophylla</i> e <i>E. maidenii</i>
10	Híbrido de <i>E. urophylla</i> e <i>Eucalyptus</i> sp.
11	Híbrido de <i>E. urophylla</i> , <i>Eucalyptus</i> sp. e <i>E. globulus</i>
12	Híbrido de <i>E. urophylla</i> , <i>E. camaldulensis</i> , <i>E. grandis</i> e <i>E. maidenii</i>
13	Híbrido de <i>E. urophylla</i> , <i>E. camaldulensis</i> , <i>E. grandis</i> e <i>E. globulus</i>
14	Híbrido de <i>E. urophylla</i> , <i>E. camaldulensis</i> , <i>E. grandis</i> e <i>Eucalyptus</i> sp.
15	Híbrido de <i>E. camaldulensis</i> , <i>E. grandis</i> , <i>E. urophylla</i> e <i>Eucalyptus</i> sp.
16	Híbrido de <i>E. urophylla</i> , <i>E. camaldulensis</i> , <i>E. grandis</i> e <i>Eucalyptus</i> sp.
17	Híbrido de <i>E. urophylla</i> , <i>E. camaldulensis</i> , <i>E. grandis</i> e <i>Eucalyptus</i> sp.
18	Híbrido de <i>E. urophylla</i> , <i>E. camaldulensis</i> , <i>E. grandis</i> e <i>Eucalyptus</i> sp.
19	Híbrido de <i>E. urophylla</i> , <i>E. camaldulensis</i> , <i>E. grandis</i> e <i>Eucalyptus</i> sp.
20	Híbrido de <i>E. urophylla</i> , <i>E. camaldulensis</i> , <i>E. grandis</i> e <i>Eucalyptus</i> sp.
21	Híbrido de <i>E. urophylla</i> , <i>E. camaldulensis</i> , <i>E. grandis</i> e <i>Eucalyptus</i> sp.
22	Híbrido de <i>E. urophylla</i> , <i>E. camaldulensis</i> , <i>E. grandis</i> e <i>Eucalyptus</i> sp.
23	Híbrido de <i>E. urophylla</i> , <i>E. camaldulensis</i> , <i>E. grandis</i> e <i>Eucalyptus</i> sp.
24	Híbrido de <i>E. urophylla</i> , <i>E. pellita</i> e <i>Eucalyptus</i> sp.
25	Híbrido de <i>E. urophylla</i> , <i>E. pellita</i> e <i>Eucalyptus</i> sp.

Selecionou-se três árvores de diâmetro médio para cada um dos vinte e cinco clones, totalizando setenta e cinco árvores. As árvores que apresentavam defeitos visuais e /ou localizadas nas bordas foram excluídas.

O teste clonal encontra-se em uma região de clima do tipo Cwa, pela classificação de Köppen, com a temperatura média anual de 20 °C, sendo a temperatura média máxima anual de 26 °C e a temperatura média mínima de 15 °C. O Índice pluviométrico anual média é de 1.160 mm, concentrada entre os meses de outubro e março, sendo os verões quentes e chuvosos e os invernos amenos e secos. Os solos da região são predominantemente o latossolo vermelho distrófico típico e vermelho amarelo distrófico típico, com textura argilosa ou muito argilosa, bem estruturada. A topografia é plana (chapada) e a vegetação nativa é de Cerrado (PULROLNIK *et al.*, 2009; HENRIQUES, 2012).

4.2. Preparo de amostras

De cada árvore foram retirados seis discos de 10 cm de espessura, correspondentes a 0%, DAP (diâmetro a altura do peito), 25%, 50%, 75 % e 100 % da altura comercial do tronco, até o diâmetro de 7 cm. Primeiramente, realizou-se a medição das porcentagens de cerne e alburno de cada disco. Os discos referentes à altura do DAP foram usados para a determinação das propriedades anatômicas da madeira. Dos demais discos, retirou-se cunhas opostas, passando pela medula, as quais foram utilizadas para a determinação da densidade básica da madeira. Salienta-se que a avaliação das propriedades densidade básica e a percentagem de cerne e alburno foram realizadas no sentido base-topo.

O restante de cada disco foi seccionado, formando uma amostra composta para cada árvore, sendo uma parte destinada a produção de carvão vegetal e o restante utilizado na determinação das demais propriedades de cada material genético.

Paras a análise química elementar, análise química estrutural e poder calorífico superior, as amostras foram transformadas em serragem, por meio do moinho tipo Wiley, de acordo com a norma TAPPI 257 om-52 (TAPPI, 2001).

Após as carbonizações, foi calculado o rendimento gravimétrico em carvão. Uma parte do carvão foi empregado para a determinação da densidade relativa aparente e friabilidade, o restante foi triturado para realização da análise química imediata e determinação do poder calorífico superior.

4.3. Propriedades da madeira

4.3.1. Incremento médio anual

Para cálculo do volume, foram tomadas medidas de diâmetro a cada metro do fuste, da base de corte de cada árvore até o diâmetro mínimo de 7 cm. O volume de cada secção foi calculado por meio da fórmula proposta por Smalian, obtendo-se o volume total de cada árvore somando-se os volumes das secções (RIBEIRO *et al.*, 2017).

O volume total de madeira produzido por hectare foi calculado por meio da multiplicação do volume das árvores selecionadas pelo número de árvores por hectare. Por fim, foi calculado o incremento médio anual, aos 7,25 anos, de acordo com a fórmula:

$$\text{IMA} = \frac{V}{t} \quad (1)$$

onde,

IMA = Incremento Médio Anual ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$)

V = Volume de madeira por hectare ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)

t = Idade (anos)

4.3.2. Relação cerne/alburno (C/A)

A determinação da relação cerne/alburno (C/A) foi realizada de acordo com Castro (2011). Para identificar a região de transição entre o cerne e o alburno foi usada uma lupa com aumento de dez vezes. Nesse processo, foram traçadas duas retas perpendiculares, passando pela medula. Fez-se a medida da distância da borda até o cerne, nas duas extremidades da reta, e a medida do cerne. A área do alburno foi obtida por meio da subtração da área total do disco pela área do cerne e a relação cerne/alburno, de cada disco, foi determinada segundo a fórmula (2). Por fim, os valores médios da relação C/A, para cada material genético, foram calculados a partir da média ponderada da relação C/A dos discos de madeira de cada árvore, utilizando o volume das toras entre dois discos consecutivos como fator de ponderação.

$$\text{Relação cerne/alburno} = \frac{D_c^2}{D^2 - D_c^2} \quad (2)$$

onde,

D_c: Diâmetro do cerne, em cm; e,

D: Diâmetro do disco sem casca, em cm.

4.3.3. Densidade básica

A densidade básica da madeira foi determinada de acordo com o método de imersão em água descrito pela norma ABNT NBR 11941 (ABNT, 2003).

Os valores médios de densidade básica, para cada material genético, foram calculados por meio da ponderação das densidades das cunhas retiradas ao longo do tronco, utilizando o volume das toras entre dois discos consecutivos como fator de ponderação, conforme descrito por Vital (1984).

4.3.4. Análise morfológica de fibras

Foram retirados pequenos fragmentos ao longo do sentido radial nas regiões do cerne dos discos correspondentes ao DAP de cada árvore. As fibras foram individualizadas acondicionando-as em solução de peróxido de hidrogênio e ácido acético (DADSWELL, 1972). A partir das fibras individualizadas montaram-se lâminas temporárias para a medição de diâmetro do lume e largura de 30 fibras. Utilizou-se microscópio ótico com câmera acoplado, sistema de aquisição de imagens, e o software Axio-Vision para mensuração das propriedades das fibras. A espessura da parede celular da fibra foi determinada matematicamente pela metade da diferença entre a largura da fibra e o diâmetro do lume. A fração parede foi determinada segundo a fórmula (3).

$$FP = \left(\frac{2 \times EP}{LF} \times 100 \right) \quad (3)$$

onde,

FP = Fração parede (%);

EP = Espessura da parede celular da fibra (μm);

LF = Largura da fibra (μm).

Para determinação do diâmetro e da frequência de poros utilizou-se amostras da região do cerne periférico do DAP das árvores. Foram realizados cortes anatômicos, de espessura média de 16 μm , por meio de um micrótomo de deslize horizontal, para obtenção de cortes no plano transversal. Tais cortes foram desidratados em uma série alcoólica, corados com solução de safranina, e as lâminas fixadas com Entelan. Foram mensuradas 30 poros para cada árvore e a frequência em 5 micrografias por árvore. Para a realização das mensurações foi utilizado o software Axio-Vision 4.3.

4.3.5. Composição química elementar

A composição química elementar da madeira foi realizada em duplicatas, conforme a metodologia descrita por Paula *et al.*, (2011), utilizando-se amostra de 2,0 mg de serragem, sendo que, essas foram previamente classificadas por meio de peneiras sobrepostas com malhas de 200 e 270 mesh, e secas à temperatura de 103 ± 2 °C.

Após esse preparo, as amostras foram depositadas em um equipamento da marca Elementar, modelo Vario Micro Cube CHNS-O, para execução da análise. Os gases utilizados no processo foram o hélio (gás de arraste) e o oxigênio (gás de ignição). Posterior a combustão, os gases foram direcionados por arraste para o tubo de redução e seguiram para a coluna de detecção. Assim, o carbono, nitrogênio, hidrogênio e enxofre foram identificados por meio de um detector de termocondutividade. Determinou-se o teor de oxigênio pelo somatório dos elementos determinados decrescido de 100. Ao final descontou-se o teor de cinzas dos resultados obtidos por meio da análise química elementar.

4.3.6. Composição química estrutural

A composição química estrutural da madeira foi determinada utilizando-se uma amostra composta por árvore. Utilizou-se para as análises a fração de serragem que ficou retida entre as peneiras de 40 e 60 mesh (ASTM, 1982). O teor de absolutamente seco da madeira foi determinado conforme a norma TAPPI 264 om-88 (TAPPI, 1998).

O teor de extrativos totais foi determinado de acordo com TAPPI 204 om-88 (TAPPI, 1996), em duplicatas, substituindo o etanol/benzeno por etanol/tolueno. A lignina solúvel e insolúvel foi determinada de acordo com Gomide e Demuner (1986) e Goldshimid (1971), respectivamente. O teor de cinzas foi determinado conforme a norma ABNT NBR 8112 (ABNT, 1986), adaptando o cadinho de platina por cadinho de porcelana e a temperatura de 750 °C por 600° C.

O teor de lignina total foi obtido somando-se os teores de lignina insolúvel e lignina solúvel. O teor de holoceluloses foi calculado subtraindo-se de 100 os teores de lignina total, extrativos. Ao final descontou-se o teor de cinzas dos resultados obtidos por meio das análises químicas estruturais.

4.3.7. Poder calorífico superior

O poder calorífico superior da madeira foi determinado, em duplicatas, utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática IKA300, segundo metodologia descrita pela ABNT NBR 8633 (1984). A análise foi realizada com amostras de madeira previamente

selecionadas que passaram por uma peneira com malha de 40 mesh e ficaram retidas numa peneira com malha de 60 mesh (ASTM, 1982). Essas amostras foram secas em estufa a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$, até massa constante.

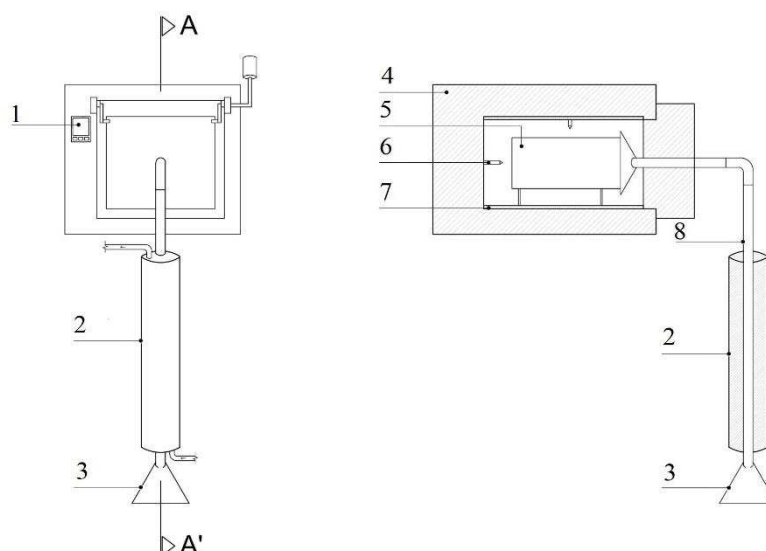
4.3.8. Análise termogravimétrica (TG/DTG)

A análise termogravimétrica da madeira foi realizada com amostras previamente selecionadas que passaram pela peneira com malha de 40 mesh e ficaram retidas na peneira de 60 mesh (ASTM, 1982). As análises foram realizadas no aparelho DTG-60H, Shimadzu, sob atmosfera de gás nitrogênio, a uma vazão constante de $120\text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$. As curvas termogravimétricas foram obtidas, utilizando-se aproximadamente 2 mg de serragem, a partir de 100°C até temperatura máxima de 600°C , com taxa de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$.

As curvas termogravimétricas (TG) obtidas para calcular a perda de massa em função da temperatura e as curvas da derivada de primeira da perda de massa (DTG) estão apresentadas no Anexo 1. A partir das curvas TG, procederam-se os cálculos de perda de massa nos seguintes intervalos de temperatura: temperatura $100\text{-}200^{\circ}\text{C}$, $200\text{-}300^{\circ}\text{C}$, $300\text{-}450^{\circ}\text{C}$. Calculou-se, também, a massa residual na temperatura de 450°C .

4.4. Rendimento gravimétrico e propriedades do carvão vegetal

A carbonização da madeira dos materiais genéticos foi realizada em um forno elétrico tipo mufla utilizando-se aproximadamente 300 gramas de madeira seca em estufa, a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$, até massa constante. Utilizou-se um recipiente metálico de aproximadamente $0,003\text{ m}^3$ para realização da carbonização no interior da mufla (Figura 1).



Legenda: 1 – Controlador de temperatura (termostato); 2 – Condensador de gases por fluxo de água; 3 – Coletor de gases condensáveis; 4 – Mufla; 5 – Container metálico; 6 – Termopar; 7 – Resistência elétrica; 8 – Duto de condução dos gases condensáveis e não-condensáveis.

Figura 1 - Diagrama esquemático do reator de carbonização.

O controle de aquecimento foi realizado, manualmente, com incrementos de 50 °C a cada 30 minutos, correspondente a uma taxa de aquecimento de 1,67°C/min, até a temperatura final de 450 °C, permanecendo estabilizada nesta última por 60 minutos. Ao final do processo final do processo, determinou-se o rendimento em carvão vegetal segundo a fórmula (4).

$$RG = \left(\frac{MC}{MM} \right) \times 100 \quad (4)$$

onde,

RG = Rendimento gravimétrico em carvão vegetal (%);

MC = Massa de carvão vegetal (g);

MM = Massa seca de madeira (g).

A densidade relativa aparente do carvão vegetal foi determinado por meio da imersão em mercúrio, utilizando o método hidrostático, conforme Vital (1984).

A friabilidade foi determinada de acordo com a metodologia proposta Oliveira *et al.* (1982) para carvão vegetal, utilizando-se amostra de aproximadamente 20 gramas. Esta amostra foi girada a 35 rpm por 15 minutos utilizando um friabilômetro eletrônico (MA-791). Após este processo, a amostra restante foi pesada e a friabilidade calculada segundo a fórmula (5).

$$\text{Friabilidade (\%)} = \left(\frac{\text{Massa inicial} - \text{Massa final}}{\text{Massa inicial}} \right) \times 100 \quad (5)$$

Os teores de materiais voláteis e cinzas do carvão vegetal foram determinados de acordo com a ABNT NBR 8112 (ABNT, 1986). O teor de carbono fixo foi calculado subtraindo-se de 100 os teores de materiais voláteis e cinzas. O poder calorífico superior foi determinado utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática IKA300, segundo metodologia descrita pela ABNT NBR 8633 (1984). Para essas análises foram utilizadas amostras trituradas de carvão vegetal, que passaram pela peneira com malha de 40 mesh e ficaram retidas na peneira com malha de 60 mesh (ASTM, 1982). As amostras foram secas em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até massa constante.

4.5. Análise dos dados

O experimento foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado, com vinte e cinco tratamentos (materiais genéticos), com três repetições (árvores), totalizando 75 unidades amostrais.

Para a análise estatística descritiva, realizou-se um estudo exploratório das propriedades da madeira e do carvão vegetal utilizando o *software* R versão 3.4.3 (R Core Team, 2017), calculando-se medidas de localização (média, mínimo e máximo) e medidas de dispersão (coeficiente de variação), para cada propriedade.

4.5.1. Análise estatística univariada

As análises estatísticas univariada dos dados, provenientes dos diferentes materiais genéticos, foram realizadas com o auxílio do *software* R versão 3.4.3 (R Core Team, 2017). Os dados foram submetidos a análise de variância (teste F, $p < 0,05$) e quando estabelecidas diferenças significativas, aplicou-se o algoritmo de agrupamento hierárquico Scott-Knott, a 5% de significância, como uma análise exploratória (SCOTT e KNOTT, 1974).

Para a aplicação desse algoritmo utilizou-se o Scott-Knott *package* (SNK) (disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/ScottKnott/index.html>). O Scott-Knott *package* é um código escrito por Jelihovschi *et al.* (2014) no ambiente do *software* R.

4.5.2. Análise estatística multivariada

4.5.2.1. Análise de componentes principais

A análise de componentes principais (PCA) é uma técnica de transformação linear dos dados. A realização desta transformação utiliza uma série de medidas estatísticas como desvio padrão, matriz de correlação, autovalores, autovetores. Para o cálculo das componentes principais (CPs) foi utilizado um algoritmo da PCA com o auxílio do *software* R versão 3.4.3 (R Core Team, 2017).

A PCA foi realizada com base na matriz de correlação existente entre as propriedades da madeira e do carvão (Figura 2), que resultou na formação de novos valores para cada ponto amostral, os escores de cada componente principal. Os autovalores são os valores que representam a contribuição relativa de cada variável para cada CP (SILVA *et al.*, 2010).

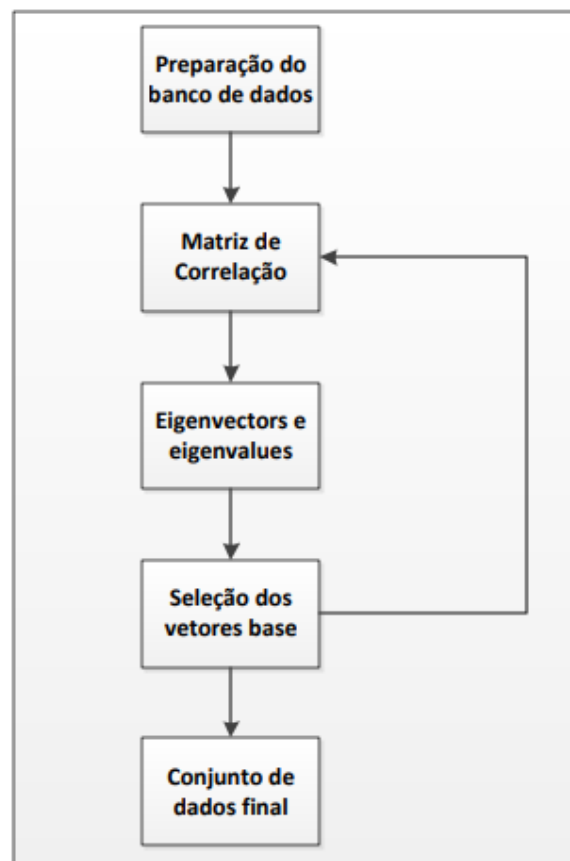


Figura 2 - Procedimento para a realização da análise de componentes principais (PCA).

Para seleção das propriedades mais importantes na discriminação dos materiais genéticos foram retiradas da análise aquelas que apresentaram maior autovetor na

componente principal (CP) de menor autovalor, sem que nenhuma informação importante fosse perdida, conforme procedimentos de Jolliffe (2002). Esse processo foi realizado retirando apenas uma propriedade por vez e repetindo o processo a cada retirada (Figura 2). Ao final desse processo foram selecionadas as CPs com autovalor maior que 1, sendo as CPs com variância maior que a variância média, baseado no critério de análise da qualidade de aproximação da matriz de correlações (MINGOTI, 2005).

4.5.2.2. Análise de agrupamento

A seleção dos materiais genéticos de eucalipto em grupos homogêneos foi realizada por meio da análise de agrupamentos hierárquicos aglomerativos, fazendo uso dos resultados obtidos na redução da dimensionalidade na PCA. Essa análise foi realizada com base no método de obtenção de grupos “*Complete linkage*” (RENCHEER, 2002). Utilizou-se o método de Mojena (1977) para determinar o número ótimo de grupos no dendrograma, adotou-se $k= 1,25$ como regra de parada na definição do número de grupos, como sugerido por Milligan e Cooper (1985).

A análise de agrupamentos é uma técnica que permite a formação de grupos de observações. O objetivo é a formação de grupos ótimos, nos quais, objetos do grupo sejam similares entre si, porém dissimilares dos objetos de outros grupos (RENCHEER, 2002).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Propriedades da madeira e do carvão vegetal

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da análise exploratória dos valores obtidos das propriedades da madeira e do carvão vegetal dos materiais genéticos avaliados. Verifica-se que a maior parte das propriedades tiveram coeficiente de variação abaixo de 12%. De acordo com proposta de classificação criada por Warrick e Nielsen (1980), são considerados coeficientes de variação baixos aqueles que tem valores inferiores a 12%, enquanto coeficientes entre 12% e 60% são considerados médios e acima de 60%, altos.

Tabela 2 - Análise exploratória das propriedades da madeira e do carvão vegetal

Parâmetro	n	Média	Coefficiente de variação (%)	Menor valor	Maior valor	Amplitude
Propriedades da madeira						
Incremento médio anual (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	75	46,66	20,82*	25,05	67,07	42,01
Relação cerne/alburno	75	0,70	34,29*	0,33	1,53	1,20
Densidade básica (g.cm ⁻³)	75	0,56	4,28	0,51	0,62	0,11
Fração parede (%)	75	63,38	7,62	52,38	73,02	20,64
Diâmetro de poros (µm)	75	115,98	10,06	78,12	138,70	60,58
Frequência de poros (poros.mm ⁻²)	75	11,14	24,33*	6,67	19,58	12,92
Teor de carbono (%)	75	48,50	2,21	46,53	52,31	5,78
Teor de hidrogênio (%)	75	6,78	3,74	6,19	7,17	0,98
Teor de nitrogênio (%)	75	0,08	36,27*	0,02	0,14	0,12
Teor de enxofre (%)	75	0,04	37,16*	0,01	0,06	0,06
Teor de oxigênio (%)	75	44,60	2,24	40,54	46,83	6,29
Extrativos totais (%)	75	4,96	30,60*	2,02	9,82	7,80
Lignina total (%)	75	30,85	7,73	24,94	35,75	10,81
Holoceluloses (%)	75	64,05	4,81	57,81	71,31	13,50
Cinzas (%)	75	0,13	46,15*	0,03	0,32	0,29
Poder calorífico superior (MJ.kg ⁻¹)	75	19,35	0,93	18,84	19,73	0,89
Propriedades do carvão vegetal						
Rendimento gravimétrico (%)	75	34,63	3,74	31,79	38,42	6,62
Densidade aparente (g.cm ⁻³)	75	0,32	12,11*	0,25	0,45	0,20
Friabilidade	75	6,67	20,68*	3,14	9,74	6,60
Teor de cinzas (%)	75	0,37	35,14*	0,11	0,70	0,59
Teor de materiais voláteis (%)	75	25,76	6,87	22,44	29,87	7,43
Teor de carbono fixo (%)	75	73,87	2,38	69,82	77,23	7,41
Poder calorífico superior (MJ.kg ⁻¹)	75	30,53	2,11	28,98	31,83	2,85

*Coeficiente de variação médio segundo Warrick e Nielsen (1980).

Observa-se que os valores de incremento médio anual (IMA) dos materiais genéticos avaliados variaram de 25,05 a 67,07 m³.ha⁻¹.ano⁻¹, com média de 46,66 m³.ha⁻¹.ano⁻¹. Em um empreendimento florestal, como produção de carvão vegetal, um aumento do IMA significa um maior volume de madeira por hectare, em um determinado período de tempo, o que pode favorecer economicamente o projeto. Em relação ao IMA médio das plantações de eucalipto no Brasil, o valor encontrado em 2016 foi de 35,7 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ (IBA, 2017). Dentre os materiais genéticos avaliados, 84% apresentaram valores de IMA superiores a médias brasileira.

A relação cerne/alburno demonstrou valor médio de 0,7 e coeficiente de variação de 34,29% para os materiais genéticos estudados. Segundo Panshin e Zeeuw (1980), as variações encontradas na relação entre a quantidade de cerne e alburno podem ser explicadas, entre outros fatores, pela variabilidade existente entre espécies, procedências e clones, além das condições de crescimento, idade da árvore e altura onde se coleta a amostras. Neste contexto, a variabilidade encontrada para esta propriedade advém do grande número de materiais genéticos estudados.

Quando se objetiva a produção de carvão vegetal, a relação cerne/alburno afeta as etapas de secagem da madeira, seja no campo ou durante a carbonização. Uma maior relação cerne/alburno pode dificultar a secagem da madeira, uma vez que, a permeabilidade do cerne é menor em relação ao alburno (GALVÃO e JANKOWSKY, 1985). Além disso, a maior relação cerne/alburno pode contribuir negativamente para a qualidade do carvão vegetal, uma vez que, valores mais elevados para essa propriedade podem contribuir para a geração de finos. Durante a carbonização, uma baixa permeabilidade da madeira pode dificultar a liberação dos gases, causando, assim, um rompimento das células do parênquima, conseqüentemente maior friabilidade do carvão vegetal (ISBAEX, 2014).

A densidade da madeira variou entre 0,51 e 0,62 g.cm⁻³. Segundo Pereira (2012), as maiores densidades básicas estão associadas, entre outros fatores, a maior fração parede das fibras e menor diâmetro de poros. Assim sendo a baixa variação verificada para esta propriedade pode ser consequência das baixas variações também observada para a propriedade da madeira fração parede e diâmetro de poros.

A densidade da madeira é um importante critério de avaliação de espécies para produção de carvão vegetal, sendo, atualmente, a propriedade mais utilizada pelas empresas do setor de carvão vegetal (PEREIRA et al., 2013). Na busca de materiais genéticos superiores do gênero *Eucalyptus*, é desejável aqueles que apresentem alta

densidade básica, uma vez que resultam em uma maior massa de madeira enfiada, e, conseqüentemente, em um incremento na produção de carvão vegetal para um mesmo volume de madeira.

Os valores de densidade básica encontrados no presente estudo corroboram com os resultados encontrados na literatura para produção de carvão vegetal. Costa *et al.* (2017) encontraram uma variação de 0,56 e 0,60 g.cm⁻³ para *Eucalyptus camaldulensis*, aos 7,5 anos de idade. Moulin *et al.* (2017), ao estudarem a influência do espaçamento de plantio e irrigação na densidade de *E. grandis* x *E. urophylla* verificaram intervalos de densidade entre 0,53 e 0,55 g.cm⁻³. De acordo com Trugilho *et al.* (2001) e Santos *et al.* (2011), quando o objetivo é produção de carvão vegetal para o setor siderúrgico, recomenda-se uma densidade da madeira superior a 0,55 g.cm⁻³. De acordo com essa recomendação, em torno de 80% dos materiais genéticos analisados obtiveram valores médios igual ou superior ao desejado para esse setor produtivo.

A fração parede média das fibras dos materiais genéticos foi de 63,38% e coeficiente de variação de 7,62%. De acordo com a classificação adotada nesse estudo, o coeficiente de variação obtido para essa propriedade é considerado como baixo. Durante a carbonização da madeira, uma maior fração parede pode significar uma maior quantidade de massa disponível, para uma mesma unidade de volume, e, conseqüentemente, maior disponibilidade de energia para que ocorra a degradação térmica (PAULA *et al.*, 2011). Sendo assim, uma elevada fração parede pode contribuir para uma maior densidade da madeira, conseqüentemente maior massa de madeira enfiada, além de reduzir custos com o transporte, o que pode aumentar a viabilidade econômica do processo. Segundo Siebeneichler *et al.* (2017), são considerados como materiais genéticos potenciais para produção de carvão vegetal, aqueles que apresentam valores acima de 60% de fração parede. Dentre os materiais analisados, 40% não se enquadraram nesta recomendação.

O diâmetro médio dos poros variou de 78,12 a 138,70 µm e a frequência média de poros ficou compreendida entre 12,92 e 19,58 poros.mm⁻². Segundo Evangelista *et al.* (2010), Lima *et al.* (2011) e Pereira (2012), de modo geral, maiores diâmetros de poros estão associados a menor frequência dos mesmos, tendência esta observada também para o presente estudo. Segundo Ferreira (2012), a fração parede dos vasos é muito baixa em relação ao espaço ocupado por esse elemento anatômico, podendo, em grandes quantidades, causar uma redução na densidade básica da madeira. Portanto, madeiras que

apresentem maiores diâmetros de vasos associado a maior frequência dos mesmos, não são desejadas para a produção de carvão vegetal.

Apesar das espécies do gênero *Eucalyptus* deterem algumas características anatômicas semelhantes entre si, como: fibras libriformes, vasos solitários de arranjo diagonal, parênquima paratraqueal vasicêntrico e raios unisseriados homocelulares; é importante a avaliação quantitativa dos constituintes anatômicos (EVANGELISTA *et al.*, 2010; ALVES *et al.*, 2011). Um menor volume de espaços vazios formado pelo lume das fibras e dos vasos da madeira são desejáveis para a produção de carvão vegetal, uma vez que esses espaços vazios podem influenciar negativamente na qualidade do carvão vegetal, além de não contribuírem para o rendimento gravimétrico e produtividade dos fornos.

Os teores médios de carbono, hidrogênio e oxigênio foram de 48,50; 6,78 e 44,60%, respectivamente. Observa-se que o coeficiente de variação obtido por essas três componentes elementares da madeira foi considerado baixo com valores menores que de 5%. Segundo Qian *et al.* (2011) a composição química elementar da madeira é semelhante para as espécies do gênero *Eucalyptus*, justificando, portanto, o baixo coeficiente de variação para estas propriedades.

Mesmo que as variações entre os materiais genéticos sejam mínimas, para a composição química elementar, quando o objetivo é a produção de carvão vegetal, devem ser preferidas as espécies com maiores teores de carbono e hidrogênio (PEREIRA *et al.*, 2013).

Observa-se que os teores de nitrogênio e enxofre variaram de 0,02 a 0,14 e 0,01 a 0,06 respectivamente. Valores semelhantes foram encontrados por Neves *et al.* (2011) e Juizo *et al.* (2017) estudando materiais genéticos de *Eucalyptus*. Segundo Trugilho *et al.* (2015), esses valores podem ser considerados baixos em relação aos combustíveis fosseis, principalmente em relação ao carvão mineral, o que contribui para que o carvão vegetal seja considerado mais ambientalmente interessante para setor siderúrgico.

A composição química estrutural da madeira é fundamental para seleção genética de eucalipto para produção de carvão vegetal devido à alta influência destes componentes no rendimento gravimétrico.

Os teores de extrativos totais apresentaram valor médio de 4,96%, enquanto que a lignina total apresentou valor médio de 30,85% e para as holoceluloses encontrou-se 64,05%. Constatou-se que apenas o teor de extrativos totais apresentou coeficiente de variação considerado médio, sendo que as demais apresentaram baixo coeficiente de

variação. As maiores variações do teor de extrativos em relação aos teores de lignina e holoceluloses pode ser explicado, devido a concentração destes compostos na madeira variar de acordo com o material genético, idade, tratos silviculturais, condições de clima, solo e adubação, além relação entre a quantidade de cerne e alburno (CARNEIRO *et al.*, 2017).

Os extrativos da madeira são compostos por grupos químicos de diferentes naturezas, entre eles estão presentes os ácidos graxos, fenóis, esteroides, resinas, dentre outros compostos orgânicos (ROWELL *et al.*, 2005). Os extrativos de origem fenólica, por exemplo, possuem elevado teor de carbono, podendo contribuir para o aumento do poder calorífico da madeira e do carvão, além de contribuir para o aumento do rendimento em carvão vegetal (FREDERICO, 2009).

A celulose e as hemiceluloses têm baixa resistência à degradação térmica quando comparadas a lignina, com picos máximos de massa perdidos no processo de pirólise na faixa de temperatura de 275 a 350 ° C (YANG *et al.*, 2007; SHEN e BRIDGWATER, 2010). A lignina apresenta uma alta resistência à degradação térmica, devido a presença de maior número de ligações C-C e C=C em sua estrutura, além de apresentarem alta percentagem de carbono elementar e baixo teor de oxigênio, quando comparados às holoceluloses (HAYKIRI-ACMA *et al.*, 2010).

O poder calorífico superior da madeira variou entre 18,84 e 19,73 MJ.kg⁻¹, com um coeficiente de variação de 0,93%. Segundo Trugilho *et al.* (2015), a energia liberada na degradação térmica da madeira está associada a entalpia do carbono, hidrogênio e enxofre. Devido à mínima concentração de enxofre nos materiais genéticos estudados, a baixa variação nos teores de carbono e hidrogênio contribuiu para o baixo coeficiente de variação do poder calorífico superior da madeira.

Costa *et al.* (2017) ao avaliarem a madeira de *Eucalyptus camaldulensis*, aos 7,5 anos de idade, encontraram valores médios de poder calorífico superior da madeira de 19,45 MJ.kg⁻¹. Arantes (2009) estudando híbridos de *Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla*, obtiveram valores variando entre 19,42 e 19,63 MJ.kg⁻¹, resultados semelhantes aos obtidos no presente estudo.

O rendimento gravimétrico médio em carvão vegetal dos materiais genéticos avaliados foi de 34,63%, com coeficiente de variação de 3,74%. Segundo Ferreira *et al.* (2013), Carneiro *et al.* (2017) e Juizo *et al.* (2017), algumas das propriedades da madeira que mais influenciam no rendimento em carvão vegetal são os teores de lignina, carbono e hidrogênio. Observando os coeficientes de variação de tais propriedades da madeira,

constata-se que todos se apresentaram baixos, justificando, em vista disso, o baixo coeficiente de variação obtido, também, para o rendimento.

Vale salientar que quanto maior o rendimento gravimétrico menor será a perda de massa e energia do processo de carbonização (PROTÁSIO *et al.*, 2011). Rocha *et al.* (2017) ao avaliarem a qualidade da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* obtiveram rendimento em carvão vegetal variando de 28,01 a 30,8%, valores inferiores aos observados neste estudo.

A densidade relativa aparente média do carvão vegetal foi igual a $0,32 \text{ g cm}^{-3}$ com coeficiente de variação 12,11%. Apesar da baixa variabilidade da densidade básica da madeira, obteve-se um coeficiente de variação médio para a densidade relativa aparente do carvão vegetal. Trugilho *et al.* (2005) e Arantes (2009), ao avaliarem a densidade do carvão vegetal produzido com madeira do cerne e do alburno, verificaram que, de modo geral, o carvão vegetal produzido com a madeira do alburno tem maior densidade relativa aparente. Logo, o coeficiente de variação considerado como médio para a densidade do carvão vegetal pode ser explicado devido a influência da relação cerne/alburno sobre essa propriedade.

Resultados semelhantes foram encontrados por Pereira (2012), ao avaliar híbridos de *Eucalyptus* spp., obtendo-se valores de densidade aparente variando de $0,361$ a $0,405 \text{ g cm}^{-3}$. Santos *et al.* (2016) obtiveram valores de densidade relativa aparente do carvão vegetal em um intervalo $0,266$ e $0,345 \text{ g cm}^{-3}$, ao avaliar híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis*, aos 7 anos de idade.

Observa-se que a friabilidade do carvão vegetal variou de 3,14 a 9,74% e coeficiente de variação de 20,68%. Essa propriedade está relacionada à relação cerne/alburno da madeira, na qual, a menor permeabilidade do cerne dificulta a liberação dos gases formados no interior das peças de madeira durante o processo de carbonização, provocando o rompimento das células parenquimáticas, aumentando, assim, a friabilidade do carvão vegetal. Portanto, a alta variabilidade da relação cerne/alburno corrobora, com a alta variabilidade obtida, também, para a friabilidade do carvão vegetal.

A friabilidade é a propriedade do carvão vegetal que indica a propensão desse produto à formação de finos, quando submetido a forças de abrasão e choques mecânicos. A baixa resistência do carvão vegetal é um problema na produção e utilização do carvão vegetal, gerando perdas durante todo o processo. Quanto menor a resistência do carvão, maior a geração de finos (CARDOSO, 2010).

Verifica-se que o teor de cinzas do carvão variou de 0,11 a 0,70%. Os materiais voláteis apresentaram uma média de 34,05%, com um coeficiente de variação de 6,85%, e o teor de carbono fixo variou de 69,32 a 77,23%. Durante a carbonização há degradação parcial dos materiais voláteis, resultando, portanto, na concentração de carbono fixo e cinzas no produto final (VAN DER STELT *et al.*, 2011; KOPPEJAN *et al.*, 2012).

A presença de cinzas diminui o poder calorífico do carvão vegetal, além de contribuir para o desgaste do alto-forno. Os materiais voláteis, por sua vez, atuam na estabilidade da chama e velocidade da combustão do carvão vegetal no alto-forno. No entanto, um alto teor de materiais voláteis pode significar menor eficiência redutora do processo de redução do minério de ferro. O carbono fixo é um parâmetro relacionado com o aproveitamento volumétrico do alto-forno, em que um maior teor de carbono fixo resulta em um menor volume ocupado pelo carvão, o que disponibiliza maiores espaços para o minério seja reduzido (ROCHA e KLITZE, 1998).

Para a produção de carvão vegetal para uso siderúrgico é recomendável que o teor de cinzas esteja menor que 1% e o teor de carbono fixo encontre-se entre de 70 a 80% (SANTOS *et al.*, 2011; CARNEIRO *et al.* 2017). Considerando os valores recomendados por estes autores, verificou-se que todos os materiais genéticos atenderam as especificações.

O poder calorífico superior do carvão vegetal variou de 29,98 a 31,83 MJ.kg⁻¹. O poder calorífico do carvão vegetal é maior do que o da madeira devido à degradação parcial da celulose e hemiceluloses, com aumento da concentração dos componentes mais estáveis a degradação, as ligninas, concentrando, dessa forma, os teores de carbono no carvão vegetal (PHANPHANICH e MANI 2011). Segundo Jenkins *et al.* (1998), o aumento em 1% na concentração de carbono da biomassa, pode elevar seu poder calorífico em até 0,39MJ/kg. Portanto, o baixo coeficiente variação dos teores de carbono e da lignina da madeira podem explicar a baixa variabilidade para o poder calorífico superior do carvão vegetal.

5.1.1. Análise termogravimétrica – TGA

Na Tabela 3 estão apresentadas as perdas de massa obtidas para cada material genético de *Eucalyptus*, em função de faixas de temperatura de 100 a 450°C, além da massa residual na temperatura de 450°C.

Tabela 3 - Valores da perda de massa da madeira de *Eucalyptus* em função das faixas de temperatura e massa residual a 450°C

Material genético	Perda de massa (%)			Massa residual (%)
	100-200°C	200-300°C	300-450°C	
1	0,85	12,24	61,46	25,45
2	0,73	13,87	61,26	24,14
3	0,55	12,91	62,46	24,08
4	0,45	11,06	66,00	22,49
5	0,90	12,12	61,09	25,89
6	0,53	15,07	60,7	23,70
7	0,30	13,00	63,33	23,37
8	0,55	12,85	62,54	24,06
9	0,96	13,99	57,47	27,58
10	0,78	14,18	55,49	29,55
11	0,57	12,76	63,68	22,99
12	0,47	12,87	62,80	23,86
13	0,54	12,42	62,44	24,60
14	0,76	11,91	62,38	24,95
15	0,56	13,41	63,20	22,83
16	0,59	11,53	63,37	24,51
17	0,46	13,35	61,79	24,40
18	0,45	14,11	62,30	23,14
19	0,59	13,25	61,29	24,87
20	0,73	13,15	60,14	25,98
21	0,69	13,49	58,85	26,97
22	0,51	13,43	61,67	24,39
23	0,53	12,53	63,26	23,68
24	0,67	13,59	61,38	24,36
25	0,65	11,87	61,72	25,76

Na faixa inicial de degradação da madeira (100 a 200°C), observa-se que a perda de massa menor, quando comparada as demais, com valores variando de 0,30% a 0,96%. Essa faixa de temperatura é chamada de zona de estabilidade térmica da madeira, onde os componentes da madeira são termicamente estáveis, desde que a mesma não seja exposta por um longo período (RAAD *et al.*, 2006). Os valores observados neste estudo corroboram com os encontrados por Castro (2011), que observou perda de massa média de 0,53%, estudando *Eucalyptus* spp. aos 7 anos.

De 200 a 300°C verificou-se uma perda de massa média de 13,00%, com valores variando de 11,06 a 15,07%. Nessa faixa de temperatura a maior parte da perda de massa pode ser atribuída a degradação térmica das hemiceluloses (CASTRO, 2011). Observando as curvas de TG/DTG no Anexo 1, o pico de degradação médio das

hemiceluloses ocorreu próximo a 280°C, o que corrobora com os valores obtidos por Yang *et al.* (2007) que observaram o pico de degradação térmica das hemiceluloses próximo a 268°C. Os valores encontrados para esse estudo são menores que os observados por Santos *et al.* (2013), indicando, possivelmente, um maior teor de hemiceluloses nos materiais genéticos estudados por esses autores.

Verifica-se que na faixa de temperatura de 300 a 450°C ocorre a maior perda de massa da madeira, com valores variando de 55,49 a 66,00%. Essa perda ocorre, principalmente, devido a degradação térmica da celulose. Observando as curvas TG/DTG no Anexo 1, constata-se que o pico de degradação de celulose médio ocorre a 369°C, o que corrobora com os valores obtidos por Yang *et al.* (2007) que observaram o pico de degradação térmica da celulose próximo a 350°C. Ao considerar que a madeira é composta por 48% de celulose, é possível afirmar que a maior parte da celulose foi degradada nessa faixa de temperatura, e que a degradação parcial da lignina contribuiu para os valores de perda de massa encontrados na faixa de 300 a 450°C. Segundo Yang *et al.* (2007), a degradação da lignina térmica ocorre em uma ampla faixa de temperatura, iniciando-se a temperaturas próximas a 160°C até temperaturas superiores a 450°C.

Os valores observados para a massa residual a 450°C variaram de 22,49 a 29,55%. Segundo Melo (2013), a massa residual da análise termogravimétrica apresenta uma correlação direta com o rendimento gravimétrico em carvão vegetal, onde os materiais genéticos mais resistentes a degradação térmica apresenta um maior rendimento em carvão. Nota-se que os materiais genéticos com maior potencial para a produção de carvão vegetal são 9, 10 e 21, devido as suas menores perdas de massa total.

5.2. Análise estatística univariada

A análise de Scott-Knott (Quadro 1) indicou a formação de diferentes números de grupos para cada propriedade da madeira e do carvão vegetal. Os grupos foram organizados em ordem decrescente de médias, sendo que o Grupo I contém as maiores médias para cada propriedade.

Quadro 1a - Materiais genéticos separados em grupos dissemelhantes entre si, para as propriedades da madeira, pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade

	Parâmetros	Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo IV	Grupo V	Grupo VI
Madeira	Incremento médio anual (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	7; 9; 18; 23; 21; 6; 19	3; 20; 11; 22; 10; 12	2; 17; 8; 13; 15	24; 14; 15; 4; 25; 1; 5	-	-
	Relação cerne/alburno (%)	6	13; 7; 11; 9; 3; 16	12; 19	21; 4; 24; 25; 03; 5; 17; 23	1; 8; 18	10; 15; 14; 22
	Densidade básica (g.cm ⁻³)	13; 5; 2	1; 11; 9; 21; 24; 19; 15; 25	22; 4; 14; 10; 7; 20; 23; 18; 16; 17; 12	8; 3; 6	-	-
	Fração parede (%)	2; 21; 16; 14; 5; 23; 20; 15; 22; 18; 24; 19; 4; 9	17; 13; 12; 8; 6; 3; 10; 11; 7; 1; 25	-	-	-	-
	Diâmetro de poros (µm)	25; 14; 8; 6; 12; 5; 18; 4; 3; 19; 16; 22; 23; 11; 7; 15; 2; 13	17; 24; 9; 20; 21; 10	1	-	-	-
	Frequência de poros (poros.mm ⁻²)	24	1; 4; 16; 21; 20	10; 5; 18; 15; 9; 25; 14; 22; 17; 12	3; 2; 23; 11; 19; 13; 7; 6; 8	-	-
	Teor de carbono (%)	13; 10; 12; 9; 25; 5; 19; 22; 24; 6; 21; 11; 20 2; 16; 23; 15	17; 14; 18; 7; 8; 4; 1; 3	-	-	-	-
	Teor de hidrogênio (%)	14; 2; 8; 7; 4; 15; 5; 6; 11; 16; 18; 13; 1; 17; 9	19; 23; 12; 22; 24; 20; 10; 21; 25; 3	-	-	-	-
	Teor de nitrogênio (%)	10; 21; 25; 11; 20; 9; 12; 22; 23; 6; 3	3; 1; 17; 19; 15; 5; 2; 14; 16; 24; 13; 8; 18; 4; 7	-	-	-	-
	Teor de enxofre (%)	1; 18; 8; 14; 4; 2; 7; 6; 5; 17; 16; 19; 9	11; 25; 23; 12; 13; 3; 21; 10; 20; 15; 22; 24	-	-	-	-
	Teor de oxigênio (%)	3; 1; 4 8; 7	18; 17; 23; 21; 14; 20; 15; 24; 16; 22; 1; 11; 19; 2; 25; 6; 5; 10; 9; 12; 13	-	-	-	-
	Extrativos totais (%)	21	10; 19; 24; 20; 25; 9; 22; 16; 1	8; 7; 23; 18; 6; 13; 12; 5	2; 15; 4; 3; 11; 17; 14	-	-
	Lignina total (%)	8; 6; 12; 5; 20; 17; 4; 14; 1; 18; 3; 13; 7; 25; 16; 1; 22; 2; 21; 15; 10; 23; 11; 9; 24	-	-	-	-	-
	Holoceluloses (%)	12; 6; 8; 14; 17; 5; 4; 3; 2; 13; 18	7; 1; 20; 15; 11; 16; 22; 25; 19; 23; 9; 10; 21; 24	-	-	-	-
	Teor de cinzas (%)	12; 3; 19; 8; 2; 4; 13; 24; 1; 25; 21; 20; 14; 11; 7; 6; 23; 17; 16; 15; 5; 22; 9; 18; 10	-	-	-	-	-
Poder calorífico superior (MJ.kg ⁻¹)	10; 25; 24; 22; 20; 17; 14; 19	21; 9; 12; 18; 16; 23; 2; 6; 13; 3; 8; 5; 7; 15; 1; 11; 4	-	-	-	-	

Quadro 1b - Materiais genéticos separados em grupos dissemelhantes entre si, para as propriedades do carvão vegetal, pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade

	Parâmetros	Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo IV	Grupo V	Grupo VI
Carvão vegetal	Rendimento gravimétrico (%)	9; 20; 10; 21; 25; 22; 13	3; 1; 10; 12; 5; 4; 24; 16; 8; 23; 7	6; 2; 17; 18; 11; 14; 15	-	-	-
	Densidade aparente (g.cm ⁻³)	21; 9; 11; 1; 10; 13; 4; 15; 25	23; 2; 6; 12; 8; 18; 7; 24; 17; 16; 19; 22; 14; 3; 20; 5	-	-	-	-
	Friabilidade (%)	6; 7; 23; 9; 24; 13; 16; 25; 3; 11; 19; 12; 2; 17; 4	4; 21; 20; 10; 5; 18; 1; 15; 8; 14; 22	-	-	-	-
	Teor de cinzas (%)	15; 1; 22; 23; 13; 14	8; 17; 7; 25; 2; 18; 4; 5; 10; 11; 24; 9; 16; 6; 20; 19; 21; 3; 12	-	-	-	-
	Teor de materiais voláteis (%)	1; 10; 21; 24; 13; 8; 6; 22; 7; 12; 19; 5; 9; 23; 3; 20; 16; 15; 4; 25; 14; 2; 18; 11; 17	-	-	-	-	-
	Teor de carbono fixo (%)	17; 11; 18; 2; 14; 25; 15; 4; 23; 16; 20; 9; 3; 5; 19; 7; 12; 22; 8; 6; 13; 24; 21; 10; 1	-	-	-	-	-
	Poder calorífico superior (MJ.kg ⁻¹)	18; 23; 2; 9; 22; 17; 24; 14; 16; 13; 19; 8; 15; 6; 11; 3; 25; 5; 21; 4; 10; 20; 7; 12; 1	-	-	-	-	-

De modo geral, as propriedades da madeira e do carvão vegetal, cujo coeficiente de variação foi classificado como médio, apresentaram a formação de um maior número de grupos quando comparado as propriedades que apresentaram coeficiente de variação baixo.

Para os teores de nitrogênio, enxofre e cinzas da madeira, e teor de cinzas do carvão vegetal verifica-se formação de poucos grupos, apesar do coeficiente de variação médio. Segundo Qian *et al.* (2011), a composição química elementar e o teor de cinzas da madeira são semelhantes para um mesmo material genético do gênero *Eucalyptus*, quando cultivados nas mesmas condições, justificando, portanto, a formação de poucos grupos para essas propriedades.

Para a densidade básica da madeira, apesar de apresentar um coeficiente de variação de 4,8%, verifica-se a formação de 4 grupos para essa propriedade. Isso se deve a baixa variabilidade entre as repetições de um mesmo material genético, reduzindo os resíduos da análise, e evidenciando o efeito dos diferentes materiais genéticos (tratamentos).

Observa-se no Quadro 1 que houve formação de apenas um grupo para os teores de lignina da madeira e, também, para os materiais voláteis, carbono fixo, além do poder calorífico superior do carvão vegetal. O baixo coeficiente de variação dessas propriedades não evidenciou o efeito dos tratamentos (materiais genéticos).

Verifica-se a ampla participação do material genéticos 9 e 21 na formação de grupos de propriedades com valores potenciais para a produção de carvão vegetal. A combinação de todas as propriedades qualifica-os como superiores para a produção de carvão vegetal, pois enquadraram no grupo de maior valor de incremento médio anual, teor de carbono. Quanto as propriedades do carvão, participaram dos grupos de maiores valores de rendimento gravimétrico e densidade relativa aparente. Além disso, esses materiais genéticos se enquadraram no grupo com os menores valores para teor de oxigênio e teor de holoceluloses da madeira, e friabilidade e teor de cinzas do carvão vegetal.

5.3. Análise estatística multivariada

Na utilização de uma abordagem univariada para a seleção com múltiplos materiais genéticos e propriedades, algumas subjetividades podem surgir sobre a interpretação final dos resultados, uma vez que, os materiais genéticos podem não se enquadrar em grupos potenciais para todas as variáveis de estudo, o que gerará dúvidas para o pesquisador/executor. Logo, a análise de componentes principais (PCA) pode ser uma

alternativa para o estudo conjunto das variáveis, de forma a permitir a visualização da estrutura dos dados, encontrar similaridade entre amostras, detectar amostras anômalas (*outliers*) e reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados (SOUZA e POPPI, 2012).

Da perspectiva da seleção de materiais genéticos de eucalipto, o primeiro passo para uma PCA é a redução da dimensionalidade do conjunto de dados, obtendo-se por consequência um conjunto de variáveis que retenham a maior parte da variância dos dados (HAYKIN, 1998). No descarte de variáveis, para os materiais genéticos estudados, foram retiradas as propriedades da madeira: diâmetro de poros; fração parede; teor de carbono; teor de hidrogênio; teor de nitrogênio, teor de enxofre; teor de oxigênio; holoceluloses; teor de cinzas e poder calorífico superior, e as seguintes propriedades do carvão vegetal: teor de carbono fixo; teor de materiais voláteis; teor de cinzas e poder calorífico superior.

As propriedades da madeira diâmetro de poros, fração parede, teor de holoceluloses e poder calorífico superior, e as propriedades do carvão teor de materiais voláteis, teor de carbono fixo e poder calorífico superior foram retirados da análise por apresentarem um maior autovetor na componente principal de menor autovalor, durante a análise de componentes principais. Além disso, essas variáveis apresentaram baixo coeficiente de variação, em relação as demais, o que corroborou com a sua retirada durante a PCA (JOLLIFFE, 2002).

Os teores de cinzas da madeira e do carvão vegetal não fizeram parte da base de dados final para análise de componentes principais, pois, apesar de apresentarem coeficiente de variação superior as demais propriedades, os teores de cinzas apresentaram-se dentro do recomendado por SANTOS *et al.* (2011) e CARNEIRO *et al.* (2017) para o uso siderúrgico do carvão vegetal. Portanto, tais variáveis não seriam critérios de seleção adequados, para esse estudo, podendo acarretar um resultado não representativo para a seleção dos materiais genéticos.

Ao final do processo de redução da dimensionalidade do banco de dados, foram mantidas oito propriedades: incremento médio anual; relação cerne/alburno; densidade básica; frequência de poros; teor de extrativos; rendimento gravimétrico em carvão vegetal; densidade relativa aparente do carvão vegetal; friabilidade do carvão vegetal.

A densidade básica e o rendimento gravimétrico em carvão vegetal apresentaram baixo coeficiente de variação quando comparados com as demais propriedades. Entretanto, a manutenção dessas duas propriedades durante a de redução da dimensionalidade se fez necessário devido à sua importância econômica, dado que a densidade é a propriedade tecnológica da madeira mais utilizada pelas empresas do ramo

de carvão vegetal para a seleção de materiais genéticos. O rendimento em carvão vegetal é a principal propriedade que oferece informações sobre a eficiência do processo de carbonização (CASTRO, 2011).

No Quadro 2 estão representadas as estimativas de autovalor, variância e variância acumulada para a análise de componentes principais. De acordo com os resultados, foram obtidos oito componentes principais, que explicaram 100% da variabilidade dos dados.

Quadro 2 - Estimativa de autovalores, variância e variância acumulada associadas aos componentes principais.

Parâmetros	Componentes Principais							
	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8
Autovalor	2,38	2,12	1,23	0,91	0,57	0,43	0,22	0,14
Variância (%)	29,8	26,45	15,42	11,42	7,1	5,38	2,71	1,72
Variância Acumulada (%)	29,8	56,25	71,67	83,09	90,19	95,57	98,28	100

Em todas as aplicações da análise de componentes principais deve-se tomar a decisão de quantos componentes principais devem ser utilizados para uma explicação eficiente dos dados. O uso de componentes com baixa representatividade do banco de dados pode gerar alguns problemas quanto a interpretação dos resultados. O primeiro deles é o risco de apresentar um resultado que não generalize a população, podendo, então, ser específico para uma única amostra. E o segundo deles é a componente principal ser dominada por uma única variável, não sendo, portanto, representativo de várias variáveis (RENCHER, 2002).

De acordo com o critério adotado neste estudo, foram selecionadas as componentes principais com autovalor maior que 1, extraíndo, dessa forma, as três primeiras, que, de forma acumulada, explicaram 71,67% da variabilidade total dos dados. Na Tabela 4 estão apresentados os autovetores de cada variável para cada umas das componentes principais selecionadas.

Segundo Zwick e Velicer (1982) considera-se um valor elevado de correlação entre a variável e a componente principal aqueles acima de 0,7, em módulo. Observa-se para o primeiro componente principal que o incremento médio anual e relação cerne/alburno e friabilidade tiveram correlação negativa. Isso indica que essas três propriedades, em conjunto, foram as principais responsáveis por 29,80% da variação dos dados explicada pela Comp. 1 (Quadro 2).

Tabela 4 - Autovetores das propriedades da madeira e do carvão vegetal para as componentes principais selecionadas

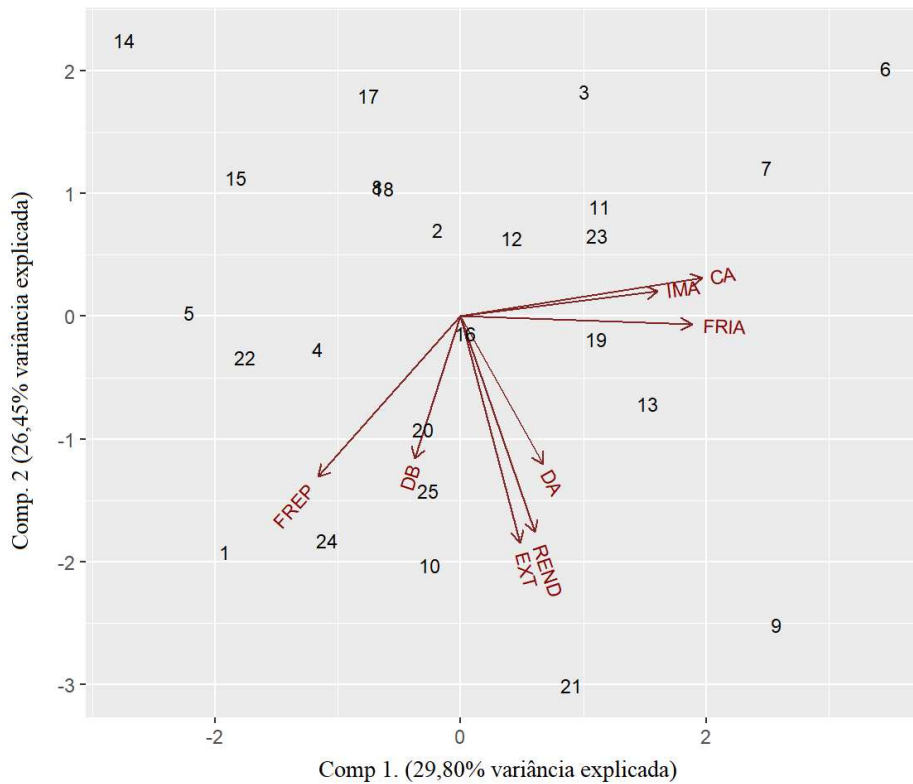
Propriedades	Componentes Principais		
	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3
Incremento médio anual (IMA)	0,70	0,09	-0,40
Relação cerne/alburno (CA)	0,86	0,14	0,29
Densidade básica (DB)	-0,16	-0,50	0,67
Frequência de poros (FREP)	-0,51	-0,57	0,03
Teor de extrativos totais (EXT)	0,21	-0,80	-0,43
Rendimento gravimétrico (REND)	0,26	-0,77	-0,32
Densidade relativa aparente (DA)	0,29	-0,53	0,45
Friabilidade (FRIA)	0,82	-0,03	0,24

De acordo com a Comp. 2, constata-se que o teor de extrativos totais e o rendimento gravimétrico em carvão vegetal apresentaram correlação positiva com essa componente, indicando que essas propriedades foram as principais responsáveis por 26,45% da variação dos dados. Em contrapartida, para a Comp. 3 não foi observada nenhuma correlação elevada, destacando-se apenas a densidade básica com um valor de -0,67.

Para uma melhor compreensão das CPs geradas em uma análise de componentes utilizou-se a representação gráfica do tipo *biplot* (Figuras 3 e 4). Proposta por Gabriel (1971), essa representação gráfica permite a visualização da matriz de dados, além de realização de inferências quanto a relação entre as variáveis e existência de similaridades entre as observações.

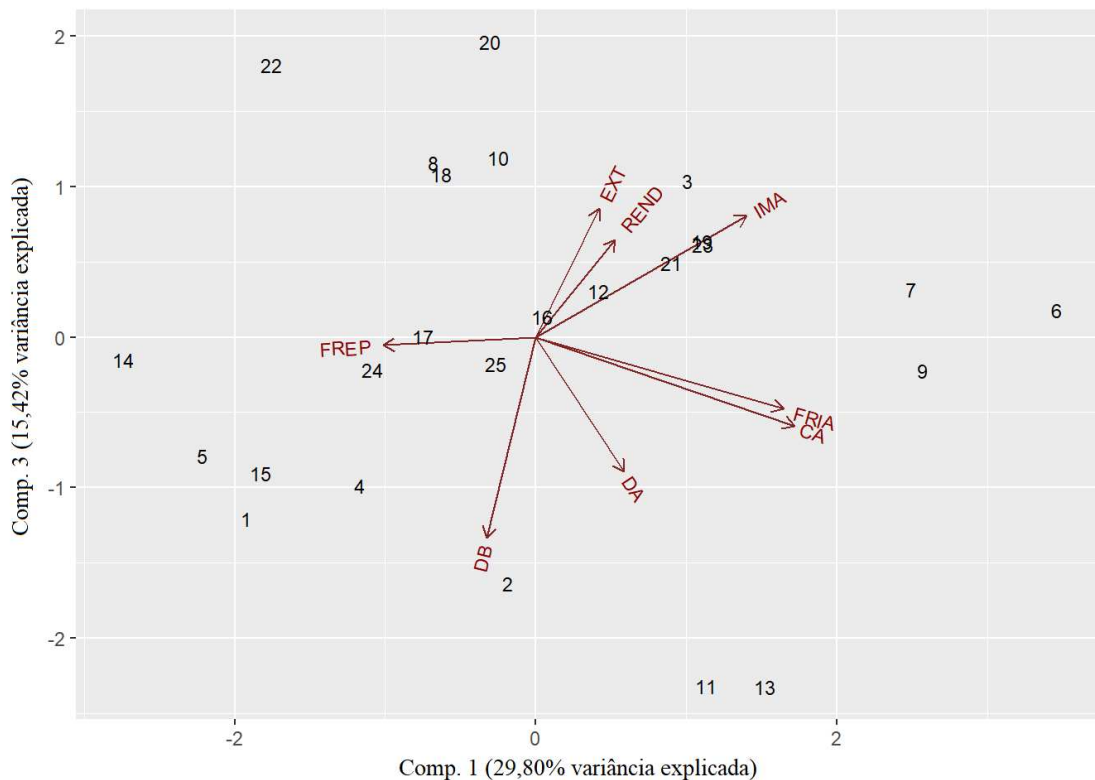
As informações a respeito da correlação entre as variáveis de estudo podem ser obtidas por meio do cosseno do ângulo formado entre dois vetores. Se ambos os vetores possuem a mesma orientação tem-se uma correlação positiva entre as variáveis. Em contrapartida, se os dois vetores possuem orientações opostas, tem-se uma correlação negativa entre as variáveis. Já se dois vetores são quase perpendiculares, a correlação será próxima de zero (JOHNSON e WICHERN, 2007).

Nas Figuras 3 e 4 os materiais genéticos estão representados por pontos, identificados com seus respectivos números, e as variáveis são representadas por seus respectivos vetores.



Legenda: IMA = Incremento médio anual ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$); CA = Relação cerne/alburno; DB = Densidade básica ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); FREP = Frequência de poros ($\text{poros} \cdot \text{mm}^{-2}$); EXT = Extrativos totais (%); REND = Rendimento gravimétrico em carvão vegetal (%); DA = Densidade relativa aparente do carvão vegetal ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); FRIA = Friabilidade do carvão vegetal (%).

Figura 3 - Vetores das propriedades da madeira e do carvão vegetal e dispersão dos escores dos 25 materiais genéticos em relação aos componentes principais 1 e 2.



Legenda: IMA = Incremento médio anual ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$); CA = Relação cerne/alburno; DB = Densidade básica ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); FREP = Frequência de poros ($\text{poros} \cdot \text{mm}^{-2}$); EXT = Extrativos totais (%); REND = Rendimento gravimétrico em carvão vegetal (%); DA = Densidade relativa aparente do carvão vegetal ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); FRIA = Friabilidade do carvão vegetal (%).

Figura 4 - Vetores das propriedades da madeira e do carvão vegetal e dispersão dos escores dos 25 materiais genéticos em relação aos componentes principais 1 e 3.

A correlação entre o rendimento gravimétrico e o teor de extrativos foi positiva, cujo ângulo formado entre os vetores próxima a 0° , indicando que a presença destes compostos contribuiu para o aumento do rendimento gravimétrico. Extrativos com elevado teor de carbono, como os fenólicos, podem contribuir para o aumento do rendimento gravimétrico em carvão vegetal (FREDERICO, 2009).

Os vetores formados pelo incremento médio anual, relação cerne alburno e a friabilidade do carvão vegetal formaram, entre si, um ângulo menor que 90° , o que evidencia uma correlação positiva entre essas propriedades. Alzate (2004) ao estudar clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis x urophylla* observou que, de forma geral, uma elevada produtividade florestal está associada a uma maior porcentagem de cerne em relação ao alburno, o que corrobora o resultado apresentado nas Figuras 3 e 4. Em contrapartida, uma maior relação cerne/alburno dificulta a liberação de gases e vapor de água do interior da madeira, durante a carbonização, devido à baixa permeabilidade do cerne. Esse aumento na pressão interna na madeira favorece o colapso das células da

madeira, o que reduz, a friabilidade do carvão vegetal (PEREIRA *et al.*, 2013). Assim sendo, é importante que o ganho em incremento em madeira seja aliado a um programa de melhoramento que reduza a relação cerne/alburno visando uma melhor qualidade do carvão vegetal.

A friabilidade do carvão vegetal e frequência de poros da madeira apresentaram alta correlação negativa, observa-se que os dois vetores apresentaram um ângulo entre si próximo a 180°. Uma maior frequência de poros está associada a uma maior permeabilidade da madeira, a qual pode facilitar a liberação dos gases e vapor de água do interior da madeira, durante a carbonização. Assim, uma menor pressão no interior da peça de madeira reduz o rompimento das células parenquimáticas, o que reduz a friabilidade do carvão.

A frequência de poros e a densidade básica da madeira apresentaram uma correlação positiva, com um ângulo formado entre seus vetores menor que 90°. Segundo Evangelista *et al.* (2010) e Lima *et al.* (2011) uma maior frequência de poros está associado a um menor diâmetro de poros, o que, de forma geral, está relacionado a uma maior densidade da madeira.

A densidade básica da madeira e a densidade relativa aparente do carvão vegetal apresentaram ângulos entre seus vetores menores que 90°. A correlação positiva entre a densidade básica da madeira e a densidade aparente do carvão vegetal é encontrada, também, na maioria dos trabalhos que correlacionam madeira e carvão vegetal como Santos *et al.* (2012) e Pereira *et al.* (2013). Uma correlação positiva entre a densidade básica da madeira e a densidade relativa aparente do carvão vegetal indicam que a seleção de um material genético com alta densidade da madeira melhorará a produtividade dos fornos de produção de carvão vegetal, além de produzir um carvão vegetal de melhor qualidade, com menor custo de transporte.

O estudo da dissimilaridade entre os materiais genéticos por meio da dispersão gráfica do tipo *biplot* dos escores gerados pelos componentes principais pode ser realizado por meio da observação dos pontos próximos no gráfico, sendo que os materiais mais distantes são mais dissemelhantes entre si que aqueles mais próximos (JOHNSON e WICHERN, 2007). Alguns materiais genéticos apresentaram maior similaridade entre si como por exemplo os materiais 21 e 9. É possível observar também a formação de alguns grupos que se apresentam similares entre si como o 18, 17, 15 e 14 (Figuras 3 e 4).

A dissimilaridade entre os materiais genéticos é resultado, principalmente, das propriedades da madeira e do carvão vegetal que apresentam maiores autovetores nas componentes principais selecionadas (JOHNSON e WICHERN, 2007). Para a componente principal 1 (Tabela 4), as propriedades que mais contribuíram para a dissimilaridade dos materiais genéticos foram, incremento médio anual, relação cerne/alburno e friabilidade, para a componente 2 o teor de extrativos totais e rendimento gravimétrico, já para a componente 3 foi a densidade básica da madeira.

A análise de agrupamentos é uma ferramenta eficiente na complementação dos resultados da análise de componentes principais (SILVA *et al.*, 2010). Essa análise é realizada com o objetivo de obter padrões em um conjunto de dados, por meio do agrupamento das observações. Uma das abordagens mais comuns de agrupar observações são os agrupamentos hierárquicos aglomerativos. Nesta ferramenta, inicia-se a análise com n agrupamentos, um para cada observação, finalizando com um único grupo contendo todas as n observações.

Na Figura 5 é apresentado o dendrograma dos agrupamentos dos materiais genéticos em função das propriedades da madeira e do carvão vegetal, selecionadas por meio da análise de componentes principais. Na Tabela 5 são apresentados os valores médios das propriedades da madeira e do carvão vegetal para cada grupo formado por meio da análise de agrupamentos hierárquico.

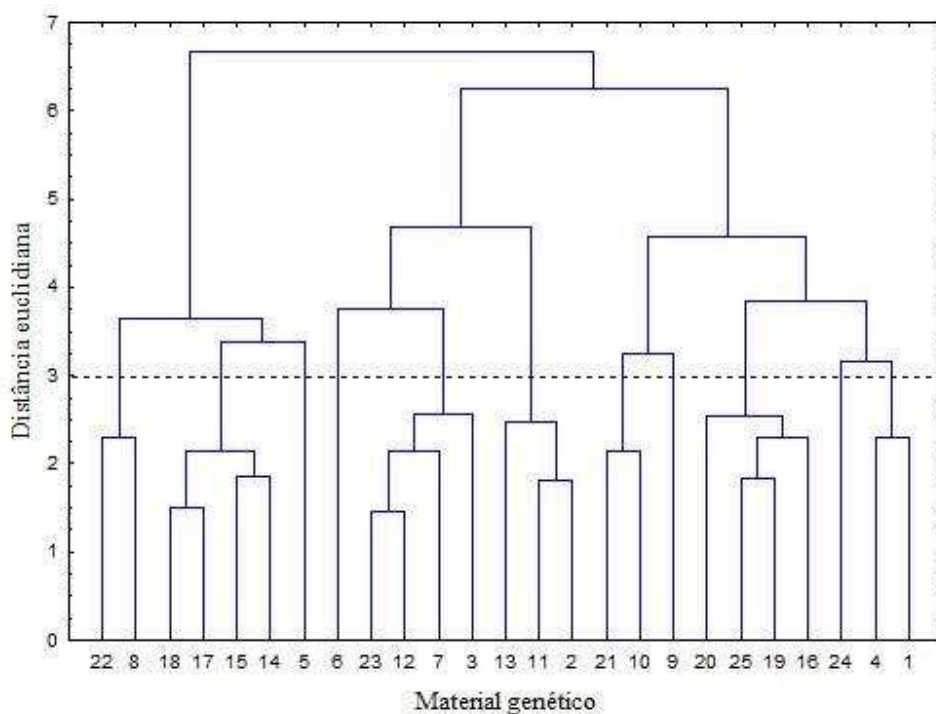


Figura 5 - Dendrograma obtido pelo método “*Complete linkage*”, utilizando a distância euclidiana obtida por meio de médias padronizadas de características da madeira e do carvão vegetal para os 25 materiais genéticos.

Tabela 5 - Valores médios das propriedades da madeira e do carvão vegetal para os grupos formados pela análise de agrupamento.

Grupo	Material genético	IMA	CA	DB	FREP	EXT	REND	DA	FRIA
I	22; 8	46,37	0,45	0,55	9,17	5,41	34,91	0,30	5,10
II	18; 17; 15; 14	46,50	0,48	0,55	11,18	3,50	33,03	0,31	5,94
III	5	29,98	0,58	0,60	11,94	4,28	34,75	0,26	6,11
IV	6	55,77	1,37	0,52	7,78	4,62	33,88	0,32	8,84
V	23; 12; 7; 3	54,46	0,82	0,54	9,41	4,41	34,58	0,30	7,81
VI	13; 11; 2	46,01	0,92	0,60	9,07	3,85	34,02	0,34	7,52
VII	21; 10	53,06	0,57	0,57	12,50	7,56	35,93	0,37	6,46
VIII	9	59,96	0,96	0,58	11,25	6,10	37,29	0,37	8,12
IX	20; 25; 19; 16	43,73	0,71	0,56	11,60	6,17	35,35	0,30	7,34
X	24; 4; 1	35,03	0,61	0,57	16,11	5,10	34,74	0,33	6,94

Legenda: IMA = Incremento médio anual ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$); CA = Relação cerne/alburno; DB = Densidade básica ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); FREP = Frequência de poros ($\text{poros} \cdot \text{mm}^{-2}$); EXT = Extrativos totais (%); REND = Rendimento gravimétrico em carvão vegetal (%); DA = Densidade relativa aparente do carvão vegetal ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); FRIA = Friabilidade do carvão vegetal (%).

O grupo composto pelos materiais genéticos 24, 4 e 1 (Grupo X) e o material genético 5 (Grupo III) são menos indicados para a produção de carvão vegetal. Nota-se que esses grupos tiveram incremento médio anual abaixo da média brasileira, que

segundo o IBA (2017) foi de 35,70 m³.ha⁻¹.ano⁻¹. Contudo, evidencia-se que, apesar de apresentarem resultados satisfatórios quanto as propriedades da madeira e do carvão vegetal, é necessário que os materiais genéticos de eucalipto apresentem alta produtividade volumétrica.

O grupo II, formado pelos materiais genéticos 18, 17, 15, e 14, e o grupo IV, formado pelo material genético 6, apesar de apresentaram valores adequados de incremento médio anual, densidade básica da madeira e densidade aparente do carvão vegetal, são menos indicados por apresentarem menor rendimento gravimétrico em carvão vegetal, 33,03 e 33,88%, respectivamente, quando comparados aos demais grupos. Quanto maior o rendimento gravimétrico menor será a perda de massa e energia do processo de carbonização, logo, um maior rendimento em carvão implica em maiores lucros na produção (OLIVEIRA, 2009).

Os grupos I, V, VI e IX podem ser considerados como intermediários para a produção de carvão vegetal. Neste contexto, os grupos I, VI e IX, apesar de demonstrarem valores satisfatórios para a maior parte das propriedades, os materiais genéticos 22 e 8 (grupo I) apresentaram baixa densidade relativa aparente, e os materiais 13, 11 e 2 (grupo VI) demonstraram uma alta friabilidade. Já o grupo IX, apresentou baixos valores para a densidade e friabilidade do carvão vegetal.

Em relação aos materiais genéticos 23, 12, 7 e 3 (grupo V), embora tenham apresentado altos valores de incremento médio anual, as demais propriedades indicaram valores de medianos a baixos, destacando-se a baixa densidade relativa aparente e a alta friabilidade desse grupo de materiais genéticos.

Observando-se os resultados das análises multivariadas foi possível constatar que os materiais genéticos mais indicados para a produção de carvão vegetal são 21, 10 e 9 (Grupos VII e VIII). Observa-se que este grupo apresentou altos valores de incremento médio anual, densidade básica da madeira, frequência de poros e extrativos totais. Além disso, apresentou altos valores de rendimento gravimétrico e densidade relativa aparente, e um baixo valor de friabilidade do carvão vegetal.

6. CONCLUSÕES

- De modo geral, as propriedades da madeira e do carvão vegetal, dos diversos materiais genéticos avaliados, apresentaram-se satisfatórias para a produção de carvão vegetal para uso siderúrgico. Sendo que, a maior parte das propriedades apresentaram baixo coeficiente de variação.
- A análise termogravimétrica da madeira permitiu a identificação de possíveis materiais genéticos superiores para a produção de carvão vegetal, com destaque para os materiais 9 (Híbrido de *E. urophylla* e *E. maidenii*), 10 (Híbrido de *E. urophylla* e *Eucalyptus* sp.) e 21 (Híbrido de *E. urophylla*, *E. camaldulensis*, *E. grandis* e *Eucalyptus* sp.);
- O teste de Scott-Knott mostrou-se eficiente para a seleção de materiais genéticos para a produção de carvão vegetal, sendo selecionado por meio desta ferramenta estatística o material genético 9 (Híbrido de *E. urophylla* e *E. maidenii*) e 21 (Híbrido de *E. urophylla*, *E. camaldulensis*, *E. grandis* e *Eucalyptus* sp.).
- As análises multivariadas de componentes principais e de agrupamentos mostraram-se eficazes para a seleção de materiais genéticos para a produção de carvão vegetal, sendo os materiais 9 (Híbrido de *E. urophylla* e *E. maidenii*), 10 (Híbrido de *E. urophylla* e *Eucalyptus* sp.) e 21 (Híbrido de *E. urophylla*, *E. camaldulensis*, *E. grandis* e *Eucalyptus* sp.) mais indicados por meio destas ferramentas estatísticas.
- Apesar de ambas as análises se mostrarem eficientes na solução do problema proposto pelo estudo, existem algumas peculiaridades que devem ser ressaltadas: o teste de Scott-Knott permite a visualização dos resultados de cada propriedade de forma independente, permitindo ao pesquisador/executor atribuir um peso maior a determinada propriedade em detrimento as outras; em contrapartida, a análise multivariada possibilitou a observação das relações entre as propriedades. Essa peculiaridade permite ao pesquisador saber qual ou quais propriedades estão contribuindo mais para a variância conjunta dos dados.
- Neste estudo as propriedades que mais contribuíram para a variância conjunta dos dados foram o incremento médio anual, relação cerne/alburno, densidade básica, frequência de poros e teor de extrativos da madeira. As propriedades do carvão vegetal que mais contribuíram foram rendimento gravimétrico, densidade relativa aparente e friabilidade.

7. REFERENCIAL TEÓRICO

ALMEIDA, W.S.; PANACHUKI, E.; OLIVEIRA, P.T.S.; MENEZES, R.S.; ALVES, T.S.; CARVALHO, S.F. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. **Soil & Tillage Research**, v.175, 2018, 130–138.

ALVES, I.C.N.; GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L.; SILVA, H.D. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose Kraft. **Ciência Florestal**, v.21, n.1, 2011, p.167-174.

ALZATE, S.B.A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis x urophylla***. 2004. 133p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials**. Philadelphia: 1982.

ARANTES, M. D. C. **Variação nas características da madeira e do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**. 2009, 149p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2009

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11941: Madeira: determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

Associação brasileira de normas técnicas (ABNT). **NBR 8112: Carvão vegetal: análise imediata**. Rio de Janeiro, 1986 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8633: Carvão vegetal: determinação do poder calorífico**. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA – AMS. **Anuário estatístico 2015: ano base 2016**. Belo Horizonte, 2016. 23p.

BOOS, D.B.; STEFANSKI, L.A. *P*-Value Precision and Reproducibility. **The American Statistician**, v.65, 2011, p.213-221.

CALINSKI, T.; CORSTEN, L.C.A. Clustering Means in ANOVA by Simultaneous Testing. **Biometrics**, v.41, n.1, 1985, 39–48.

CARDOSO, M.T. **Desempenho de um sistema de forno-fornalha para a combustão de gases na carbonização da madeira**. 2010. 89p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R.; FREDERICO, P.G.U.; FIALHO, L.F.; FIGUEIRÓ, C.G.; SILVA, C.M.S. Efeito do material genético e do sítio na qualidade do carvão vegetal de madeira de curta rotação. **Floresta**, v.46, n.4, 2017, 473 – 480.

CASTRO, A.F.N.M. **Efeito da idade e de materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. na madeira e carvão vegetal**. 2011. 97p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

- COLQUHOUN D. An investigation of the false discovery rate, and the misinterpretation of p -values. **Royal Society Open Science**, 2014.
- COSTA, A.C.S.; LEAL, C.S.; SANTOS, L.C.; CARVALHO, A.M.M.L.; OLIVEIRA, A.C.; PEREIRA, B.L.C. Propriedades da madeira de cerne e alburno de *Eucalyptus camaldulensis*. **Ciência da Madeira**, v.8, n.1, 2017, p.10-20.
- COSTA, A.E.S.; CUNHA, F.S.; HONORATO, A.C.; CAPUCHO, A.S.; DIAS, R.C.S.; BOREL, J.C.; ISHIKAWA, F.H. Resistance to Fusarium Wilt in watermelon accessions inoculated by chlamydospores. **Scientia Horticulturae**, v.228, 2018, 181–186.
- COSTA, L.J. **Caracterização mecânica do carvão vegetal de clones de *Corymbia***. 2016. 90. Dissertação (mestrado acadêmico) – Universidade Federal de Lavras, 2016.
- DADSWELL, H.E. **The anatomy of eucalypt wood**. CSIRO Forest Products Laboratory, Melbourne, n.66, p.1-28, 1972.
- DAY W.H. AND EDELSBRUNNER H. Efficient Algorithms for Agglomerative Hierarchical Clustering Methods. **Journal of Classification**, v.1, 1984, p.1-24.
- ELYOUNSSI, K.; BLIN, J.L.; HALIM, M. High-yield charcoal production by two-step pyrolysis. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. v.87, n.1, 2010, p.138-143.
- EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS (EPE), **Plano Decenal de Expansão de Energia**, São Paulo, 2010.
- EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS (EPE), **Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030)**, Rio de Janeiro, 2007.
- EVANGELISTA, W.V.; SILVA, J.C.; VALLE, M.L.A.; XAVIER, B.A. Caracterização anatômica quantitativa da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Scientia Forestalis**, v.38, n.86, 2010, p. 273-284.
- FAOSTAT – **Food and agriculture organization of the United Nations statistics**. Disponível em: <http://faostat.fao.org/>. Acessado em: 10/02/2018.
- FERREIRA, C.A. **Caracterização anatômica, secagem e carbonização da madeira de clones de *Eucalyptus* e de espécies do Cerrado**. 2012. 95p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- FERREIRA, H.R.; MACHADO, G.O.; SILVA, M.R.; VOGEL, F.; HILLIG, E. Análise da qualidade do carvão vegetal proveniente da região sul do Brasil. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v.11, 2013, p. S27-S33.
- FREDERICO, P.G.U. **Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão**. 2009. 73p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- GABRIEL, K.R. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. **Biometrika**, v.58, n.03, 1971, 453-467.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem Racional da Madeira**. São Paulo: Nobel, v.1, 1985, 112 p.

GARCIA, M.S.; VILPOUX, O.F.; CEREDA, M.P. Distributed electricity generation from sugarcane for agricultural irrigation: A case study from the midwest region of Brazil. **Utilities Policy**, v.50, 2018, p.207-210.

GATES, C.E.; BILBRO J.D. Illustration of a cluster analysis method for mean separation. **Agronomy Journal**, v.70, 1978, 462–465.

GOLDSCHMID O. Ultraviolet spectra. In: K.V. SARKANEN, C.H. LUDWING, (Eds) **Lignins**, New York: Wiley Interscience. 1971, 241-266.

GOMIDE J. L.; DEMUNER B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado, **O Papel** 47, 1986, 36-38.

HAYKIN, S. **Neural Networks: A Comprehensive Foundation**. Prentice Hall PTR Upper Saddle River, NJ, USA, 1998, 842p.

HAYKIRI-ACMA, H.; YAMAN, S.; KUCUKBAYRAK, S. Comparison of the thermal reactivities of isolated lignin and holocellulose during pyrolysis. **Fuel Process. Technol.**, v.91, 2010, p.759–764.

HENRIQUES, E.P. **Variabilidade genética em progênies de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake para carvão vegetal**. 2012. 75p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

HONGYU, K. SANDANIELO, V.L.M.; OLIVEIRA, G.J.J. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **Engineering and Science**, v.1, n.5, 2015, 8p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES– IBA. 2016. **Relatório 2017: ano base 2015**. 2016, 93p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES– IBA. 2017. **Relatório 2017: ano base 2016**. 2017, 80p.

International Energy Agency (IEA/IRENA). **Global renewable energy policies & Measures Database**, 2017.

ISBAEX, C. **Influência da densidade do carvão vegetal na produção de silício metálico**. 2014. 48p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

JELIHOVSCHI, E.G.; FARIA, J.C.; ALLAMAN, I.B. ScottKnott: a package for performing the Scott-Knott clustering algorithm in R. **Tendências em Matemática Aplicada e Computacional**. 15, 2014, 3–17.

JENKINS B.M.; BAXTER L.L.; MILES T.R.; MILES, C.T.R. Combustion properties of biomass. **Fuel Processing Technology**, v.54, 1998, p17-46.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. New Jersey: Prentice-Hall, Sixth Edition, 2007, 773p.

JOLLIFFE, I. T. **Principal component analysis**. Ed. 2. New York: Springer Verlag, 2002. 487 p.

JUIZO, C.G.F.; LIMA, M.R.; SILVA, D.A. Qualidade da casca e da madeira de nove espécies de Eucalipto para produção de carvão vegetal. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.12, n.3, 2017, p.386-390.

KOPPEJAN, J.; SOKHANSANJ, S.; MELIN, S.; MADRALI, S. Status overview of torrefaction technologies. **IEA BIOENERGY TASK**, v.32 – Final Report, 2012, p54.

LIMA, I.L.; GARCIA, R.; LONGUI, E.L.; FLORSHEIM, S.M.B. Dimensões anatômicas da madeira de *Tectona grandis* Linn. em função do espaçamento e da posição radial do tronco. **Scientia Forestalis**, v.39, n.89, 2011, p.61-68.

MELO, C.A.F.; SOUZA, M.M.; VIANA, A.P.; SANTOS, E.A.; SOUZA, V.O.; CORRÊA, R.X. Morphological characterization and genetic parameter estimation in backcrossed progenies of *Passiflora* L. for ornamental use. **Scientia Horticulturae**, v.212, 2016, 91–103.

MELO, I.C.N.A. **Propriedades da madeira e do carvão vegetal em clones de híbridos de *Eucalyptus* cultivados em diferentes ambientes**. 2013. 106p. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

MILLIGAN GW e COOPER MC. An examination of procedures for determining the number of clusters in a data set. **Psychometrika**, v.50, 1985, p.159-179.

MINGOTI, S.A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2005. 297p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Plano Nacional Sobre Mudança Do Clima - Brasil**, Brasília, Brasil, 2007.

MOJENA R. Hierarchical grouping methods and stopping rules: an evaluation. **The Computer Journal**, v.2, 1977, p.359-363.

MOULIN, J.C.; ARANTES, M.D.C.; OLIVEIRA, J.G.L.; CAMPINHOS, E; GOMES, F.; VIADURRE, G.B. Efeito do espaçamento, idade e irrigação no volume e densidade básica do eucalipto. **Floresta e Ambiente**, n.24, 2017, 10p.

NEVES, T.A.; PROTÁSIO, T.P.; COUTO, A.M.; TRUGILHO, P.F.; SILVA, V.O.; VIEIRA, C.M.M. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando a produção de carvão vegetal. **Pesquisa florestal brasileira**, v.31, n.68, 2011, 319-330.

O'NEILL, R. and WETHERILL, G.B. The present state of multiple comparison methods (with discussion). **Journal of the Royal Statistical Society Series B**, v.33, 1971, 218–250.

- OLIVEIRA, R. L. M. **Instrumentação e análise térmica do processo de produção de carvão vegetal**. 2009. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG, 2009.
- OLIVEIRA, J.B.; VIVACQUA FILHO, A.; MENDES, M.G.; GOMES, P.A. **Produção de carvão vegetal – aspectos técnicos**. In: CETEC. Produção e Utilização de Carvão Vegetal. Belo Horizonte. P.59-72 (SPT-008), 1982.
- PANSHIN, A.J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. New York: Mc-Graw Hill, 4.ed, 1980, 722p..
- PAULA, L.R.; TRUGILHO, P.F.; NAPOLI, A.; BIANCHI, M.L. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **Revista Cerne**, v.17, n.2, 2011, p.237-246.
- PEREIRA, B.L.C.; CARNEIRO, A.C.O.; CARVALHO, A.M.M.L.; COLODETTE, J.L.; OLIVEIRA, A.C.; FONTES, M.P.F. Influence of Chemical Composition of Eucalyptus Wood on Gravimetric Yield and Charcoal Properties. **BioResources**, v.8, 2013, 4574–4592.
- PEREIRA, B.L.C. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal**. 2012. 93p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.
- PEREIRA, R.B.D.; PERUCHI, R.S.; PAIVA, A.P.; COSTA, S.C.; FERREIRA, J.R. Combining Scott-Knott and GR&R methods to identify special causes of variation. **Measurement**, v.82, 2016, 135–144.
- PHANPHANICH, M.; MANI, S. Impact of torrefaction on the grindability and fuel characteristics of forest biomass. **Bioresource Technology**, v.102, 2011, p1246-1253.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: Exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba, FEALQ, 2002. 309p.
- PROTÁSIO, T.P.; SANTANA, J.D.P.; GUIMARÃES, R.M.N.; GUIMARÃES, J.B.G.; TRUGILHO, P.F.; RIBEIRO, I.B. Avaliação da qualidade do carvão vegetal de *Qualea parviflora*. **Pesquisa florestal brasileira**, v.31, n.68, 2011, p.295-307.
- PULROLNIK, K.; BARROS, N.F.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; BRANDANI, C.B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha – MG. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.33, 2009, p.1125-1136.
- QIAN, F.P.; CHYANG, C.S.; HUANG, K.S.; TSO, J. Combustion and NO emission of high nitrogen content biomass in a pilot-scale vortexing fluidized bed combustor. **Bioresource Technology**, v.102, n.2, 2011, p.1892-1898.
- R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2017. <https://www.R-project.org/>.

- RAAD, T.J.; PINHEIRO, P.C.C.; YOSHIDA, M.I. Equação geral de mecanismos cinéticos da carbonização do *Eucalyptus* spp. *Cerne*, v.12, n.2, 2006, p. 93-106.
- REIS, A.A.; PROTÁSIO, T.P.; MELO, I.C.N.A.; TRUGILHO, P.F.; CARNEIRO, A.C.O. Composição da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus urophylla* em diferentes locais de plantio. **Pesquisa florestal brasileira**, 2012.
- REIS, E.A.; REIS I.A. **Análise descritiva de dados**. Relatório técnico do departamento de estatística da UFMG, 1ed., 2002, 64.
- RENCHER, A.C. **Methods of Multivariate Analysis**. John Wiley & Sons, Inc. Publication, 2ed, 2002, p.727.
- RIBEIRO, M.D.S.B.; JORGE, L.A.B; MISCHAN, M.M.; SANTOS, A.L.; BALLARIN, A.W. Avaliação da produção de biomassa do fuste de um clone híbrido de eucalipto sob diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal**, v.27, n.1, 2017, p. 31-45.
- ROCHA, M. P.; KLITZKE, R. J. **Energia da madeira**. Curitiba: FUPEF, 1998. (Série Didática).
- ROCHA, M.F.V.; VITAL, B.R.; CARNEIRO, A.C.O.; CARVALHO, A.M.M.L.; ZANUNCIO, A.J.V.; HEIN, P.R.G. Propriedades energéticas do carvão vegetal em função do espaçamento de plantio. **Ciência da Madeira**, v.8, n.2, 2017, p.54-63.
- ROWELL, R.M.; PETTERSEN, R.; HAN, J.S.; ROWELL, J.S.; TSHABALALA, M.A. **Cell Wall Chemistry**. In: Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, Rowell, R.M. (Ed.). Boca Raton: CRC Press, 2005, p.121-138.
- SANTOS, R. C.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. C. O.; Castro, A. F. N. M.; PIMENTA, A. S.; PINTO, E. M.; ALVES, I. C. N. Estudo da decomposição térmica da madeira de oito espécies da região do Seridó, Rio Grande do Norte. **Revista Árvore**, v.37, 2013, p.1153-1163.
- SANTOS, R.C.; CARNEIRO, A.C.O.; CASTRO, A.F.M.; CASTRO, R.V.O.; BIANCHE, J.J.; CARDOSO, M.T. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v.39, n.90, jun. 2011, p.221-230.
- SANTOS, R.C.; CARNEIRO, A.C.O.; TRUGILHO, P.F.; MENDES, L.M.; CARVALHO, A.M.M.L. Análise termogravimétrica em clones de eucalipto como subsídio para a produção de carvão vegetal. **Cerne**, v.18, n.1, 2012, 143-151.
- SANTOS, R.C.; CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R.; CASTRO, R.V.O.; CIDAURRE, G.B.; TRUGILHO, P.F.; CASTROS, A.F.N.M. Influência das propriedades químicas e da relação siringil/guaiacil da madeira de eucalipto na produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, v.26, n.2, 2016, p.657-669.
- SCOTT, A.J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics** 30, 1974, 507–512.

- SHEN, R.; GU, S.; BRIDGWATER, A.V. The thermal performance of the polysaccharides extracted from hardwood: Cellulose and hemicelluloses. **Carbohydrate Polymers**, v.82, 2010, p.39-45.
- SIEBENEICHLER, E.A.; COSTA, L.M; FIGUEREDO, N.A.; TRONTO, J.; ROCHA, P.A. Influência de temperatura e taxas de aquecimento na resistência mecânica, densidade e rendimento do carvão da madeira de *Eucalyptus cloeziana*. **Ciência da Madeira**, v.8, n.2, 2017, p.82-94.
- SILVA, S.A.; LIMA, J.S.S.; XAVIER, A.C.; TEIXEIRA, M.M. variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo vermelho-amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, 2010, p.15-22.
- SINDICATO DA INDUSTRIA DO FERRO NO ESTADO DE MINAS GERAIS (SINDIFER). Anuário estatístico 2016: ano base 2016. 2016, 26p.
- SOUZA, A.M.; POPPI, R.J. Experimento didático de quimiometria para análise exploratória de óleos vegetais comestíveis por espectroscopia no infravermelho médio e análise de componentes principais: um tutorial, parte I. **Química Nova**, v.35, n.1, 2012, 223-229.
- TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 204 om-88: solvent extractives of wood and pulp**. In: TAPPI Standard Method. Atlanta, USA. Cd-Rom, 2001.
- TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 257 cm-85: sampling and preparing wood for analysis**. In: TAPPI Standard Method. Atlanta, USA. Cd-Rom, 2001.
- TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 264 om-88: preparation of wood for chemical analysis**. In: TAPPI Standard Method. Atlanta, USA. Cd-Rom, 2001.
- TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; MORI, F. A.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M.; MENDES, L. F. B. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de *Eucalyptus*. **Cerne**, v.11, n.2, 2005, p. 178-186.
- TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MORI, F.A.; LINO, A.L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal. **Revisa Cerne**, v.7, n.2, 2001, p.114-201.
- TRUGILHO, P.F.; MELO, I.C.N.A.; PROTÁSIO, T.P.; ARAÚJO, C.C.; HEIN, P.R.G. Efeito da idade e material genético no rendimento e qualidade do carvão vegetal de eucalipto. **Ciência da Madeira**, v.6, n.3, 2015, p.202-216.
- TUKEY, J.W. The problem of multiple comparisons. **Mimeographs Princeton University**, Princeton, N.J., 1953.
- VALE, A.T.; GENTIL, L.V. Produção e uso energético de biomassa e resíduos agroflorestais. In: OLIVEIRA, J.T.S.; FIEDLER, N.C.; NOGUEIRA, M. (Ed.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro III**. 2008, p.196-246.

VAN DER STELT, M.J.C.; GERHAUSER, H.; KIEL J.H.A.; PTASINSKI K.J. Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: A review. **Biomass and Bioenergy**, v.35, 2011, p.3748-3762.

VITAL, B.R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 1984. 21p.

WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: HILLEL, D., ed. Applications of soil physics. New York, Academic Press, 1980. 350p.

WELFLE, A. Balancing growing global bioenergy resource demands - Brazil's biomass potential and the availability of resource for trade. **Biomass and Bioenergy**, v.105, 2017, p.83-95.

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D. H.; ZHENG, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. **Fuel**, v.86, 2007, p.1781-1788.

ZWICK, W.R. & VELICER, W.F. Factors influencing four rules for determining the number of components to retain. **Multivariate Behavioral Research**, v.17, n.2, 1982, p.253-269.

ANEXO 1 – Curvas TG/DTG da madeira dos materiais genéticos de *Eucalyptus* spp.

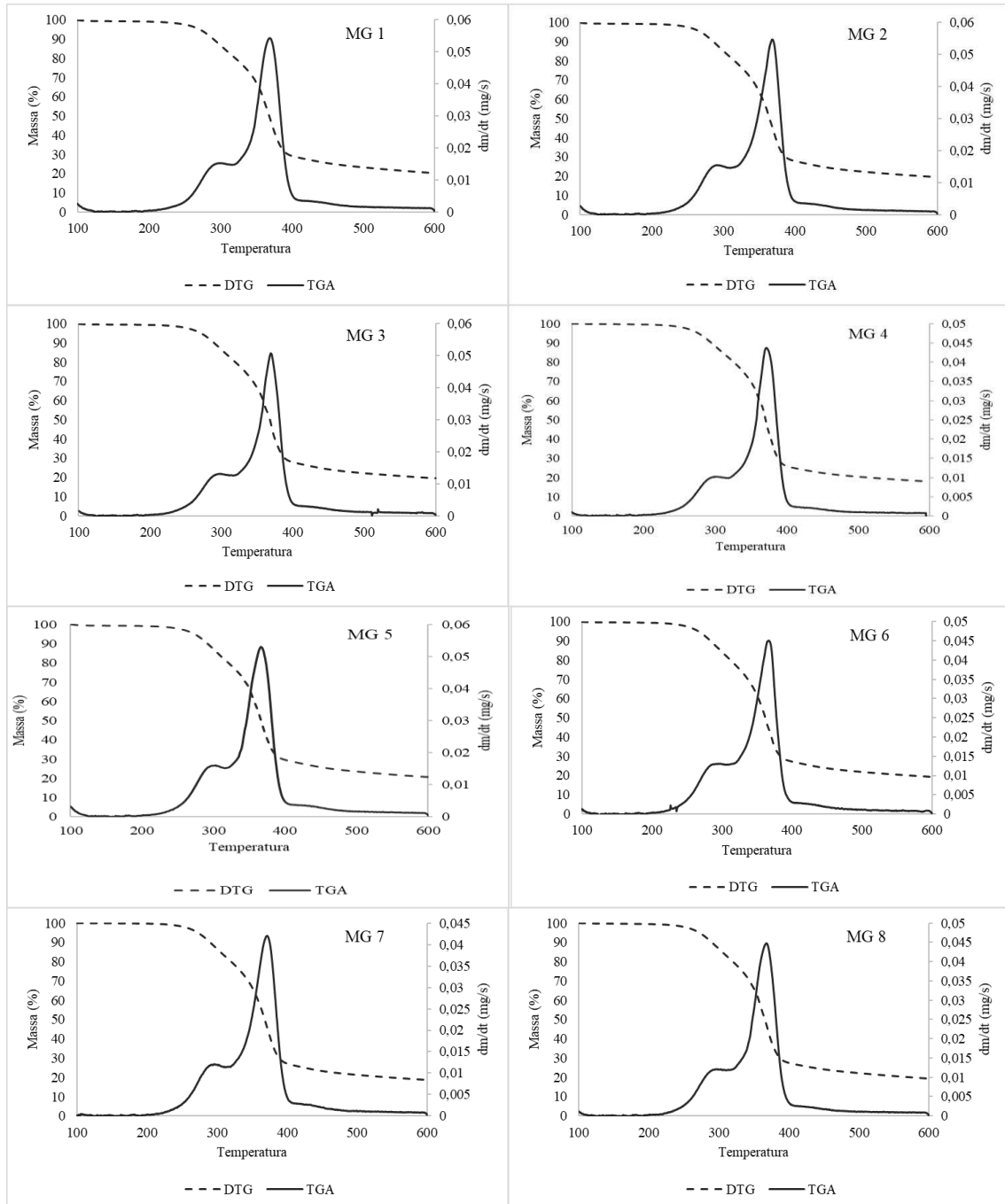


Figura 1 A: Curvas TG/DTG da madeira de *Eucalyptus*, para os materiais genéticos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 respectivamente. Atmosfera de nitrogênio, taxa de aquecimento de 10 °C/min.

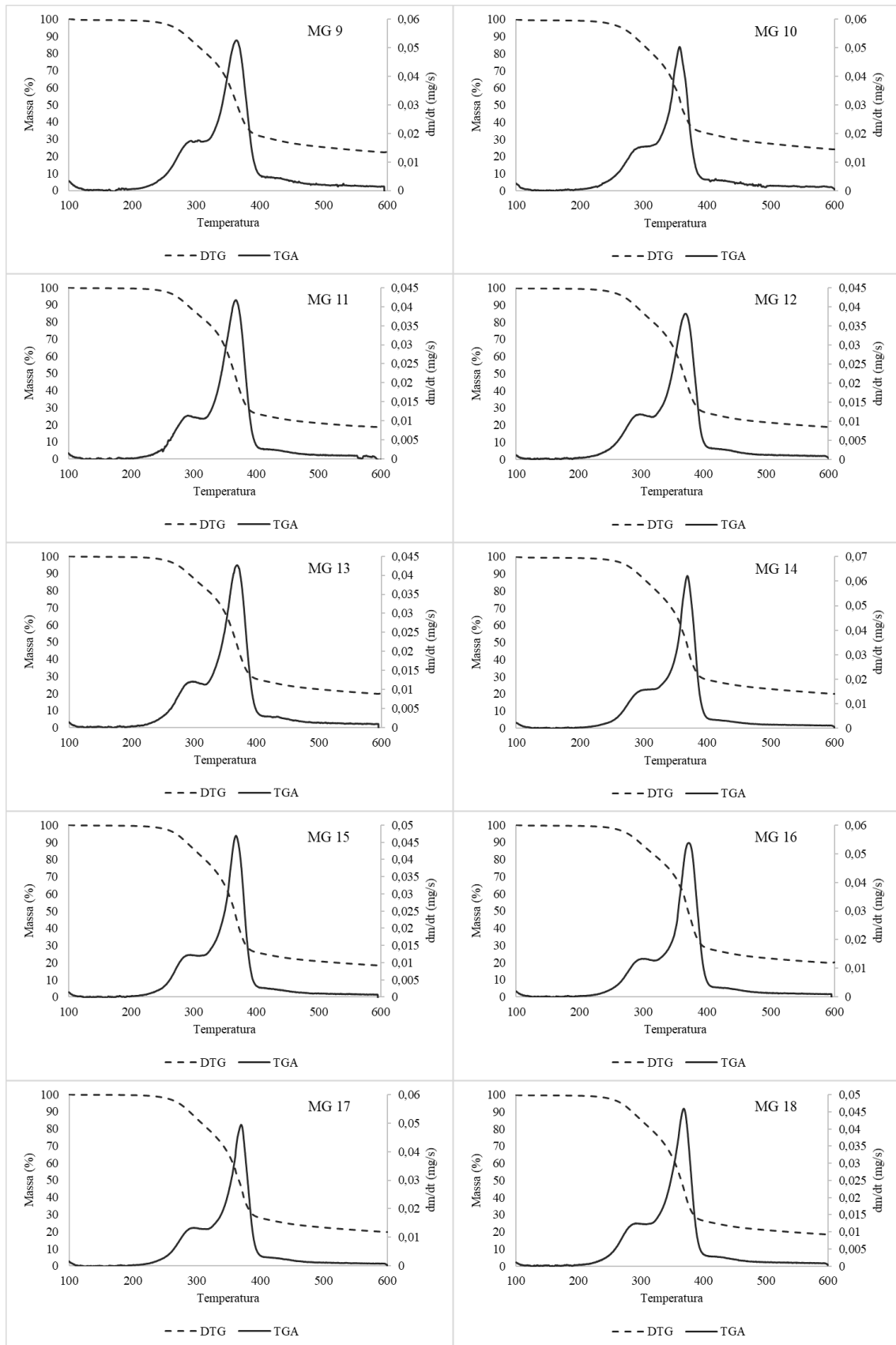


Figura 1 B: Curvas TG/DTG da madeira de *Eucalyptus*, para os materiais genéticos 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18 respectivamente. Atmosfera de nitrogênio, taxa de aquecimento de 10 °C/min.

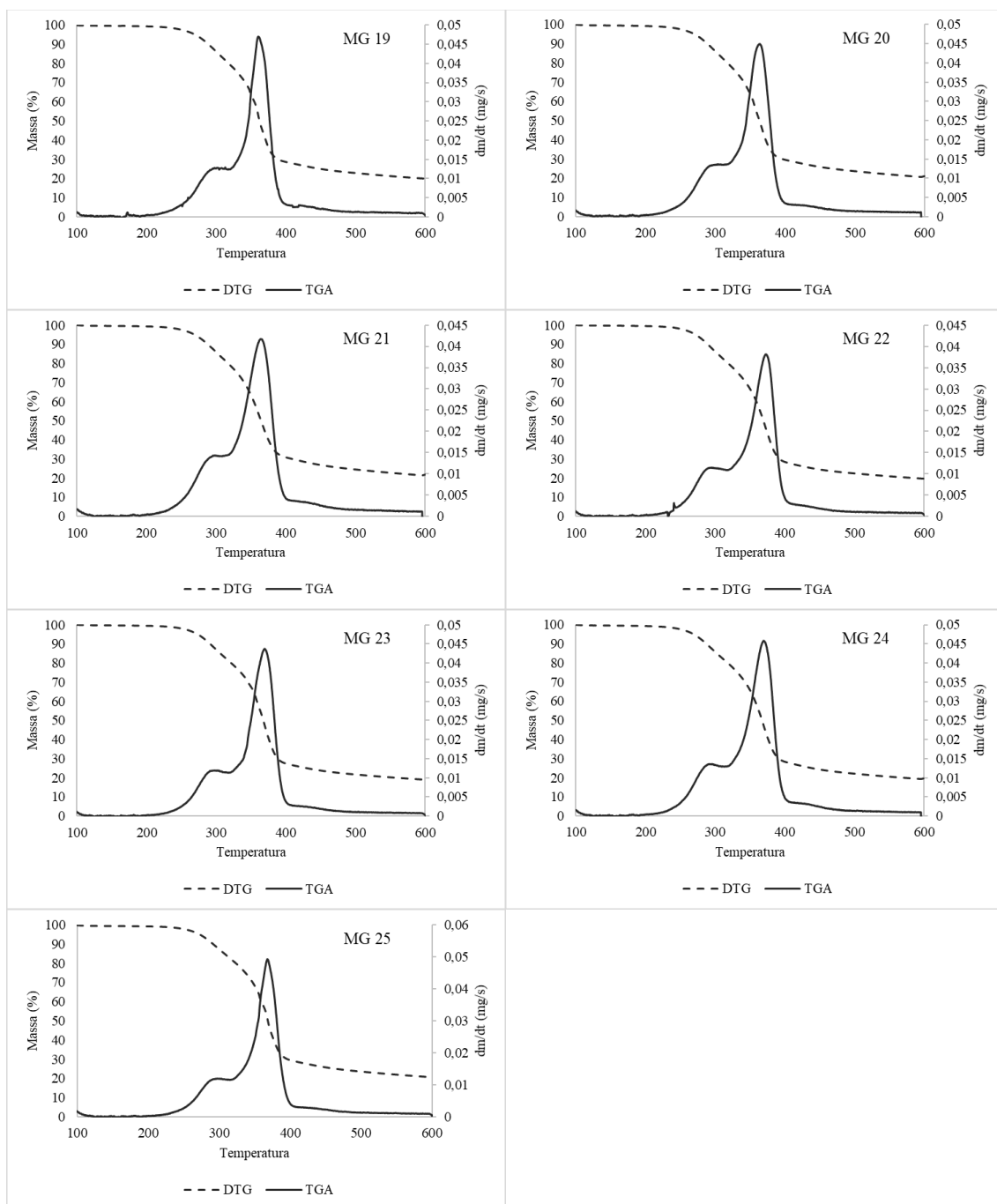


Figura 1 C: Curvas TG/DTG da madeira de *Eucalyptus*, para os materiais genéticos 19, 20, 21, 22, 23, 24 e 25 respectivamente. Atmosfera de nitrogênio, taxa de aquecimento de 10 °C/min.