

## Adubação nos Teores de Cinzas, Carbono e Relação C/N de Teca

### Fertilization on Ash, Carbon and C/N Rates in Teak

Cristiane Ramos Vieira; Oscarlina Lúcia dos Santos Weber; José Fernando Scaramuzza

Universidade de Cuiabá, Curso de Agronomia. MT, Brasil

Universidade Federal de Mato Grosso, Departamento de Solos e Engenharia Rural. MT, Brasil.

E-mail: E-mail: [jscaramuzza@uol.com.br](mailto:jscaramuzza@uol.com.br).

#### Resumo

A adubação em áreas de plantios florestais é necessária para suprir as necessidades nutricionais das plantas, no entanto, a quantidade de nutrientes deve ser equilibrada, porque pode afetar a qualidade da madeira produzida. Diante disso, foi realizado estudo com o objetivo de verificar a influência da adubação nos teores de cinzas, de carbono e de relação C/N em plantas de *Tectona grandis* Linn. F. Primeiramente, efetuou-se a calagem do solo e, após 15 dias, foram realizadas as adubações com N, P e K: N = 0, 40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup>; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 0, 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> e; K<sub>2</sub>O = 0, 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup>. Aos 180 dias, as plantas dos 20 tratamentos, que apresentaram os maiores crescimentos em altura e diâmetro, foram transplantadas para o campo. Anteriormente ao plantio, o solo foi calcareado e adubado conforme os tratamentos que proporcionaram o maior crescimento e, as mudas foram plantadas, totalizando 20 tratamentos e seis repetições. Após 12 meses, as plantas foram retiradas para determinação dos teores de cinzas, de carbono orgânico e de relação C/N. As cinzas foram submetidas às digestões para determinações das concentrações de nutrientes. A *T. grandis*, em estágio inicial de crescimento, apresentou características para utilização como carvão vegetal. Sendo que os elementos inorgânicos que predominaram, após 360 dias, foram N, P, K e B.

**Palavras-chave:** *Tectona Grandis*. Nutrição Florestal. Adubação Mineral. Compostos Inorgânicos.

#### Abstract

Fertilization in areas of forest plantations is necessary to meet the plants' nutritional needs, however, the amount of nutrients must be balanced because they can affect the quality of the wood produced. A study was carried out to verify the influence of fertilization on the ash, carbon and C/N ratio in *Tectona grandis* Linn F. plants. Firstly, the soil liming was performed and, after 15 days, the fertilizations were carried out with N, P and K: N = 0, 40, 80 and 120 kg ha<sup>-1</sup>; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 0, 50, 100 and 200 kg ha<sup>-1</sup> e; K<sub>2</sub>O = 0, 50, 100 and 200 kg ha<sup>-1</sup>. At 180 days the plants of the 20 treatments that presented the greatest growth in height and diameter were transplanted to the field. Prior to planting, the soil was limed and fertilized according to the treatments that provided the highest growth, and the seedlings were planted, totaling 20 treatments and six replications. After 12 months, the plants were removed for determination of ash, organic carbon and C/N ratio. The ashes were submitted to digestion for determinations of nutrient concentrations. *T. grandis*, in the initial stage of growth, presented characteristics for use as charcoal. The predominant inorganic elements after 360 days were N, P, K and B.

**Keywords:** *Tectona Grandis*. Forest Nutrition. Mineral Fertilization. Inorganic Compounds.

## 1 Introdução

A *Tectona grandis*, vulgarmente conhecida como teca, é uma árvore de grande porte, da família Verbenaceae, nativa das florestas tropicais do Sudeste asiático, atualmente, tem sido cultivada nos países tropicais. No Brasil, as maiores áreas plantadas da espécie estão em Mato Grosso (cerca de 50 mil hectares). Nestas áreas, os plantios apresentam desenvolvimento quantitativo equivalente ou superior aos plantios da África, da Ásia e da América Central (PELISSARI *et al.*, 2013). Seu potencial é principalmente madeireiro e, como se trata de produto de qualidade de exportação, garante retornos financeiros consideráveis. No entanto, este retorno financeiro só se concretiza quando se trata de madeira de qualidade. E esta qualidade está ligada ao conhecimento dos melhores níveis de NPK utilizados durante a adubação do solo, bem como em que grau este solo influenciará na qualidade da madeira.

Segundo Zobel e Buijtenen (1989), há inúmeras causas de variação na estrutura anatômica do lenho das árvores em plantações florestais para fins industriais, entre estas há os fatores sem controle como sítios de crescimento, de condições

ecológicas etc. e fatores que apresentam determinado grau de controle, como: manejo florestal, espaçamento, adubação, material genético, idade de corte etc.

Portanto, a adubação pode influenciar nas características da madeira, o que implicará no seu destino final, seja como carvão vegetal, na indústria moveleira, para produção de papel e celulose e outras aplicações. As características químicas da madeira influenciam na sua qualidade física, porque a adubação pode melhorar a translocação dos minerais ao longo do tronco mesmo em madeira juvenil. Dessa forma, aos 12 meses de idade, as características químicas podem funcionar como indicativos da qualidade da madeira.

Por modificar os teores de nutrientes e as características químicas utilizadas como parâmetros para indicar a qualidade da madeira, a adubação pode também influenciar na qualidade celulósica. As informações obtidas nesta fase de crescimento das plantas servirão de parâmetro para empresas que desejam utilizar a madeira de *T. grandis* como alternativa na produção. A influência da adubação nas características químicas da madeira de *T. grandis* já foi constatada por Tonini *et al.* (2009), Moya *et al.* (2013) e por Gunaga *et al.* (2011).

Moya *et al.* (2010) verificaram efeitos significativos das características químicas do solo Cu, P, Mg, K e a profundidade de permeabilidade nas propriedades da madeira de *T. grandis*. Enquanto que a porcentagem de cerne em *T. grandis* foi pouco afetada pelas propriedades químicas e físicas do solo, de modo que o manejo de plantações deve procurar produzir grandes diâmetros e volumes maiores em locais de alta fertilidade. Ainda em relação às concentrações de nutrientes, Moya *et al.* (2013) associaram a redução nas concentrações de K, Mg e N com a redução na produtividade em plantios de *T. grandis* ao longo dos anos.

No entanto, a redução na concentração de alguns elementos pode ser vantajosa. Barreiros (2005) observou que o lodo de esgoto diminuiu o teor de elementos, como: Mn, Fe, Cu e Zn na madeira de *Eucalyptus grandis*. Will ex Maiden o que, consequentemente, implica em menor consumo de reagentes durante o branqueamento da polpa (indústria de papel e celulose). Barreiros *et al.* (2007) concluíram ainda que, os teores de celulose, lignina e extrativos e o poder calorífico da madeira não foram modificados, porém os de hemicelulose e de cinzas aumentaram com a aplicação do lodo de esgoto. Portanto, a destinação da madeira produzida nos plantios florestais irá depender da espécie, porém também das características químicas e físicas do produto ao final do ciclo e, estas, por sua vez, das práticas silviculturais durante seu desenvolvimento.

Diante deste contexto, a presente pesquisa teve por objetivo

analisar os teores de cinzas, de carbono orgânico e a relação C/N, como indicativos das características químicas da madeira de *T. grandis* submetida aos diferentes níveis de adubação NPK.

## 2 Material e Métodos

O experimento foi inicialmente conduzido em casa de vegetação da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária e Zootecnia (FAMEVZ) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), com mudas de *T. grandis* doadas pela KLM florestal. Estas mudas foram produzidas em tubetes de 54 cm<sup>3</sup>, sendo estes preenchidos com substrato comercial Plantmax®, composto por casca de pinus, fibra de coco e vermiculita, no qual permaneceram até atingirem porte para serem transplantadas.

Após atingirem 10 cm de altura, o que ocorreu 30 dias após a germinação, as mudas foram transplantadas para sacolas plásticas de 50 cm x 40 cm preenchidas por solo previamente calcareado e adubado com diferentes níveis de NPK (tratamentos).

O solo utilizado foi o Latossolo Vermelho distrófico de textura franco arenosa, coletado em área de vegetação nativa do *campus* do Instituto Federal de Mato Grosso de São Vicente, previamente seco, peneirado e, caracterizado quimicamente, seguindo os métodos descritos em Embrapa (1997), conforme Quadro 1.

**Quadro 1** - Análise química do solo

pH	H+Al	Al	Ca	Mg	K	P	SB	T	t	V	m
CaCl <sub>2</sub>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				mg dm <sup>-3</sup>		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			%	
4,39	4,22	1,03	1,0	0,50	13,56	13,9	1,53	5,75	2,56	26,5	40,2

pH em CaCl<sub>2</sub> - relação 1:2,5; H+Al - em acetato de cálcio; Al, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> - em KCl 1N; P e K - em Mehlich; SB - soma de bases; T - capacidade de troca de cátions a pH 7,0; t - CTC efetiva; V% - saturação por bases, em %; m% - saturação por Al, em %.

**Fonte:** Dados da pesquisa.

Após a caracterização química do solo, este foi calcareado, buscando-se elevar a saturação por bases para 50%, com 1,53 t/ha de calcário PRNT 100%, contendo 30,1% CaO e 21,1% MgO. O cálculo da quantidade de calcário necessária para a elevação da saturação por bases foi realizado, conforme a análise química do solo natural, seguindo a equação de necessidade de calagem, proposta pela Embrapa:

$$NC (t/ha) = (V_E - V_A) T/100 \quad [1]$$

Em que: NC = necessidade de calagem em toneladas por hectare; V<sub>E</sub> = saturação por bases desejada, em %; V<sub>A</sub> = saturação por bases atual, em %; T = CTC a pH 7,0.

O solo calcareado passou por período de incubação de 15 dias, logo após se realizou o preenchimento das sacolas plásticas com o solo adubado. Esta adubação ocorreu com diferentes níveis de NPK, utilizando-se como fonte de N,

ureia; fonte de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, superfosfato simples e; fonte de K<sub>2</sub>O, cloreto de potássio P.A. Utilizando-se os níveis de: 0, 40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N; 0, 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 0, 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Para isso, utilizou-se a disposição em esquema fatorial 4x4x4 em delineamento em blocos casualizados com 15 repetições.

Após período de incubação do solo, calcareado e adubado, as mudas foram transplantadas e, passaram por período de adaptação de 15 dias, recebendo irrigação diária.

Ao término de 180 dias foi efetuada a seleção das mudas mais aptas para o plantio em campo, que ocorreu de acordo com as médias de altura e diâmetro do caule. Assim, as mudas dos 20 melhores tratamentos foram transplantadas para o campo, em delineamento em blocos casualizados, com seis repetições, testando-se, em campo, as doses e fontes anteriormente utilizadas no viveiro (Quadro 2).

**Quadro 2** - Mudanças de *Tectona grandis* plantadas no campo, conforme tratamento

Tratamento	N-P-K
1	0-0-0
2	40-0-100
3	40-0-200
4	40-50-0
5	40-50-100
6	40-100-50
7	40-100-100
8	40-100-200
9	40-200-0
10	40-200-50
11	40-200-100
12	80-0-50
13	80-50-50
14	80-50-100
15	80-100-100
16	80-200-0
17	120-50-0
18	120-50-100
19	120-100-50
20	120-200-200

Fonte: Dados da pesquisa.

A área de plantio pertence ao Instituto Federal de Mato Grosso, *campus* de São Vicente e foi anteriormente utilizada para pastagem (10 anos antes), caracterizada por uma vegetação típica de Cerrado. A abertura das covas foi realizada em espaçamento de 4 m x 4 m, com aplicação direta de calcário. O solo foi calcareado, buscando-se elevação da saturação por bases para 50%. O cálculo da quantidade de calcário necessária para a elevação da saturação por bases foi realizado conforme a análise química do solo da área, seguindo a equação 1. Após uma semana foi realizada a adubação com NPK.

Após 15 dias, as mudas foram transplantadas. Durante a condução do experimento e para garantir melhores condições de crescimento das mudas no campo, as capinas foram realizadas em intervalos de 60 dias, com coroamento manual.

Após 12 meses, as plantas foram totalmente retiradas, seccionadas em folhas, caule e raízes e levadas para o Laboratório de Fertilidade do Solo da Faculdade de Agronomia, FAMEVZ, UFMT. O material foi seco em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até peso constante, posteriormente, pesados em balança semi-analítica com precisão de 0,01 g.

O material seco foi moído em moinho tipo Wiley e peneirado em peneira de 40 mesh, coletando o material retido na de 60 mesh. Do material resultante, foram efetuadas as análises químicas.

O teor de cinzas foi determinado de acordo com metodologia da Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel - ABTCP 11/77 (1977), utilizando o material previamente moído e peneirado.

Para a obtenção da relação C/N foram determinadas as concentrações de N, segundo métodos de Malavolta *et al.* (1997), através da digestão sulfúrica. E, a determinação dos teores de C ocorreu por meio do analisador de carbono para

sólidos, modelo HT 1300 da marca Analytik Jena com queima a 1200°C, utilizando 2,0 g do material moído e peneirado.

A obtenção das concentrações dos macronutrientes N, P, K Ca e Mg e do micronutriente B nas cinzas foi realizada, conforme os métodos de Tedesco *et al.* (1995).

O processamento e as análises dos dados ocorreram com a utilização do Assisat 7.6 beta, da UFCG, a análise estatística foi realizada através da técnica de análise de variância e comparações múltiplas de médias pelo método de Scott-Knott a 5% de significância.

### 3 Resultados e Discussão

A adubação influenciou os teores de cinzas, de carbono orgânico total (COT) e a relação C/N no caule das plantas de *T. grandis*.

#### 3.1 Teor de cinzas

As cinzas são substâncias compostas de material inorgânico e têm relação inversa com o poder calorífico, porque os materiais voláteis durante a queima da biomassa volatilizam rapidamente, diminuindo o tempo de residência do combustível dentro do aparelho de combustão, podendo contribuir para uma baixa eficiência energética (CHAVES *et al.*, 2013). Segundo Pereira *et al.* (2000), o teor de cinzas varia de 0,5% a mais de 5%, dependendo da espécie, da quantidade de casca e da presença de terra e de areia na madeira e da idade da árvore. Porém, um carvão vegetal de boa qualidade deve ter um teor de cinzas inferior a 3%.

Nesse contexto, os resultados permitem inferir que os teores de cinzas do caule das plantas de *T. grandis* com 12 meses de idade estão dentro da variação prevista, entre 0,81% e 0,92%. Os tratamentos que proporcionaram valores superiores foram: 4 (40-50-0), 7 (40-100-100) 9 (40-200-0), 12 (80-0-50), 13 (80-0-100) e 15 (80-100-100). Sendo esses os menos desejáveis, caso a espécie seja utilizada como carvão vegetal. Resultados semelhantes foram observados por Flórez (2012), ao realizar a caracterização tecnológica da madeira jovem de *T. grandis*, obtendo o mínimo de 0,43% e máximo de 0,98%. Os valores encontrados na presente pesquisa também se assemelham aos obtidos por Garcia (2013), na madeira + casca de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 30 meses. O que pode indicar seu emprego como carvão vegetal, bem como a influência da adubação nesta característica da madeira, ao menos quando se refere aos indivíduos de até 12 meses.

Portanto, os indivíduos oriundos de desbastes poderiam ser empregados na geração de energia pela sua aplicação como carvão vegetal, o que já confere em ganhos financeiros.

**Quadro 3** - Teor de cinza (em %), carbono orgânico (g/kg) e relação C/N no caule de *Tectona grandis* submetidas aos diferentes níveis de NPK.

Tratamento	Teor cinza	C orgânico	C/N
T1	0,82 b	48,76 a	191,70 b
T2	0,83 b	47,86 a	243,96 a
T3	0,84 b	47,93 a	217,22 a
T4	0,91 a	48,97 a	226,65 a
T5	0,87 b	48,48 a	206,70 b
T6	0,87 b	46,97 a	216,82 a
T7	0,89 a	50,94 a	228,56 a
T8	0,84 b	49,23 a	231,69 a
T9	0,93 a	47,80 a	230,84 a
T10	0,86 b	49,71 a	226,52 a
T11	0,85 b	49,18 a	216,82 a
T12	0,88 a	48,91 a	179,85 b
T13	0,89 a	46,70 a	181,11 b
T14	0,87 b	47,56 a	188,89 b
T15	0,92 a	48,51 a	228,87 a
T16	0,86 b	47,68 a	202,62 b
T17	0,88 b	48,35 a	210,77 b
T18	0,88 b	44,09 b	170,47 b
T19	0,85 b	44,70 b	282,53 a
T20	0,87 b	47,22 a	206,53 b
CV(%)	3,98	4,24	14,89
F	2,6649**	2,4030**	2,5773**

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott 5%.

**Fonte:** Dados da pesquisa.

Neves *et al.* (2011) obtiveram valores de teor de cinzas entre 0,07 e 1%, segundo estes, baixos, portanto não dificultam a utilização energética da espécie. O que também ocorreu em todos os tratamentos testados no presente estudo.

No entanto, os resultados obtidos foram superiores aos observados por Cardoso *et al.* (2001), em *Eucalyptus saligna* Smith. e *Eucalyptus globulus* Labill.; Barreiros *et al.* (2007) em *E. grandis*; Botrel *et al.* (2010), Chaves *et al.* (2013) e Barbosa *et al.* (2014) em *Eucalyptus* spp. Alguns autores indicam, ainda, a correlação entre o teor de cinzas e a resistência da madeira. Paes *et al.* (2013) observaram que a madeira de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan foi mais resistente que a de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. ao ataque de térmitas, tanto o cerne quanto o alburno, devido ao seu teor de cinzas.

No entanto, as características químicas da madeira estão sujeitas às variações na madeira juvenil, tendendo a valores mais estáveis na madeira adulta (TRUGILHO *et al.*, 1996). Árvores mais jovens demandam maiores quantidades de minerais, fase em que o metabolismo é mais acelerado, justificando maior teor de cinzas (MORAIS, 2008).

Estudando-se apenas os valores de teor de cinzas até os 12 meses, a *T. grandis* também poderia ser indicada para a indústria de papel e celulose. Isso porque, para esta destinação são desejáveis madeiras com baixos teores de minerais, já que estes podem se constituir em contaminantes e, quando se acumulam no processo são causadores de corrosão, de erosão e de entupimentos, levando à redução da vida útil dos materiais e perdas de produção, principalmente, em fábricas com ciclo de água mais fechado (FREDDO, 1997). No entanto, há que se estudar os teores de cinzas em indivíduos

mais velhos, empregando-se as características físicas e químicas da madeira.

### 3.2 Teor de carbono

O conhecimento dos teores iniciais de C, em espécies novas, pode trazer informações importantes para a tomada de decisão e o planejamento do povoamento florestal, uma vez que os teores de C variam em função da espécie, bem como nos diferentes componentes da planta, de folhas, de galhos, da madeira e da casca (BEHLING *et al.*, 2014).

No entanto, de acordo com Watzlawick *et al.* (2004) também podem apresentar variações com a idade e o tamanho das árvores, pois árvores menores tendem a apresentar maiores teores. Resultados contraditórios são observados para esta característica, em relação às espécies florestais. Segundo Sette Junior *et al.* (2006), não há uma tendência de aumento no teor de C conforme aumenta a idade dos povoamentos de *Pinus taeda* L. Enquanto que, Almeida *et al.* (2010) verificaram que a quantidade de C e sua distribuição por componente em *T. grandis* variaram com a idade. Portanto, o estudo deve ser realizado para cada espécie e condições de manejo como adubação e tempo de crescimento.

Hoppe (2003) acrescenta ainda que as diferentes concentrações de C estão relacionadas às condições do solo e à capacidade que cada vegetal tem de fixar este componente, por meio do ciclo bioquímico, em função da mobilidade dentro da planta. Portanto, os teores de C neste estudo podem ser um indicativo dos teores de C nas plantas de *T. grandis* em idades posteriores.

No presente caso, a adubação com NPK influenciou nos teores de COT em *T. grandis* (Quadro 3), apresentando médias entre 44,09 g kg<sup>-1</sup> em T18 e 50,94 g kg<sup>-1</sup> em T7. Dessa forma, foram inferiores nos tratamentos 18 (120-50-100) e 19 (120-100-50), em 9,6% e 8,3%, respectivamente, em relação à testemunha. Enquanto que em relação ao tratamento 7 (40-100-100) foram inferiores em 13,4% e 12,2%, respectivamente. O que pode estar relacionado com a dose máxima de N.

No entanto, em geral, os valores foram semelhantes aos observados por Sturion *et al.* (1988), Caldeira *et al.* (2003), Sette Junior *et al.* (2006), Santos *et al.* (2012) e Behling *et al.* (2014). Sette Junior *et al.* (2006) atribuem altos teores de C a variáveis como as condições de sítio, material genético, tipo de manejo e do próprio método de quantificação do teor de C, e/ou de suas interações.

A determinação destes teores é importante porque, segundo Chaves *et al.* (2013), o COT pode se transformar em C fixo, que tem relação direta com o poder calorífico. Um maior teor de C fixo implica em maior tempo de residência dentro do aparelho de queima. Os autores observaram que o teor de C fixo depende, principalmente, do teor de material volátil, já que os teores de cinzas, na espécie estudada, *Eucalyptus* sp., foram baixos. Desta forma, madeiras com maiores teores de material volátil têm menores teores de C fixo. O percentual de C fixo se refere à fração de carvão que se queima no estado

sólido. Combustíveis com teores mais elevados de C fixo são preferíveis, porque queimam mais lentamente. O seu teor é de grande importância para a redução de óxidos de Fe, nos altos-fornos de siderúrgicas (PEREIRA *et al.*, 2000).

Sturion *et al.* (1988) indicaram a madeira de *Eucalyptus viminalis* Labill. para a produção de carvão, devido ao baixo teor de cinzas (menor que 2,6%) e ao alto teor de C fixo. Na produção de carvão vegetal, o C é convertido em C fixo, e é o principal responsável pela energia estocada. Já na queima direta, o C é totalmente consumido e se espera que madeiras que têm maiores teores de C possuam também maior capacidade térmica em função da maior energia liberada (SANTOS *et al.*, 2011). Dados que corroboram a utilização de madeira jovem de *T. grandis* como material combustível.

### 3.3 Relação C/N

A composição química da madeira influencia nas propriedades físico-químicas do carvão, pois quanto maior o teor de lignina, mais energético será o carvão e ocorrerá um maior rendimento gravimétrico no fim do processo de carbonização, isso acontece em função da alta resistência térmica da lignina, que é o composto primário, que possui maior teor de C em sua composição (PIMENTA; BARCELLOS, 2000). Portanto, há que se determinar a relação C/N para cada espécie.

Os valores de relação C/N para a *T. grandis* submetida aos diferentes níveis de adubação NPK estão apresentados na Tabela 4. Podendo-se observar valores inferiores nos tratamentos 1 (0-0-0-), 5 (40-50-100), 12 (80-0-50), 13 (80-0-100), 14 (80-50-100), 16 (80-200-0), 17 (120-50-0), 18 (120-50-100) e 20 (120-200-200). Com variação de 170,47 a 282,53. Segundo Schneider *et al.* (2005), quanto menor a relação C/N, mais rápido o CO<sub>2</sub> será emitido para o ambiente. O que não é desejável, pois se trata de um gás poluente, cuja emissão é preocupante devido sua contribuição para o efeito estufa.

Estes resultados podem indicar que os indivíduos, retirados durante a fase de desbaste, podem ser utilizados como material combustível. Moulin *et al.* (2011) observaram relação de C/N que variou de 133,95 a 627,02, enfatizando que os valores encontrados para a relação indicam que o material é mais adequado para a produção de energia. Neste caso, as plantas oriundas das adubações: 12 (80-0-50), 13 (80-0-100), 14 (80-50-100) e 18 (120-50-100) são as mais indicadas para esta finalidade.

Dados reforçados por Moreira; Siqueira (2002), ao considerarem que valores de C/N superiores a 20, indicam que o processo dominante é a imobilização, indicam por sua vez que, o material produzido é mais rico em COT do que NT, portanto, mais difícil de ser degradado, ou seja, tende a ser mais lignificado. Reforçando o potencial combustível das plantas no presente estudo, que apresentaram valores desejáveis para a produção energética.

No caso das plantas de *T. grandis*, os valores para a relação C/N foram semelhantes aos obtidos por Santana (2009) e Protásio *et al.* (2014). Considerando que a relação C/N afeta diretamente o tempo de degradação do material vegetal, esta pode indicar que o teor inicial de lignina presente nas plantas de *T. grandis* e, conseqüentemente, sua maior dificuldade na degradação por fungos pode ser aumentada com a adubação de plantio. No entanto, a degradação da madeira por micro-organismos depende não só da quantidade de C e de N lábeis, mas também do processo predominante no momento, ou seja, respiração ou mineralização da MO (VANCE; CHAPIN III, 2001).

### 3.4 Nutrientes nas cinzas de *Tectona grandis*

As concentrações de macronutrientes presentes nas cinzas de *T. grandis*, após 360 dias de plantio, estão apresentadas no Quadro 4. Verificando-se que os elementos inorgânicos, que predominaram nas cinzas, foram N, P, K e B. No entanto, de acordo com Flórez (2012), os componentes inorgânicos mais abundantes em *T. grandis* são Ca, K e Mg, embora o teor de sílica apresente importância no que diz respeito ao processamento da madeira. Estes teores, que foram diferentes em comparação com o presente estudo, podem estar relacionados com as adubações realizadas.

**Quadro 4 -** Macronutrientes (em g kg<sup>-1</sup>) e micronutriente (em mg kg<sup>-1</sup>) nas cinzas do caule de *Tectona grandis* submetidas aos diferentes níveis de NPK

Trat.	N	P	K	Ca	Mg	B
T1	7,90 c	9,65 d	2,60 h	2,60 d	0,70 e	96,85 d
T2	6,15 c	6,00 d	4,30 h	2,40 d	0,40 f	71,70 d
T3	7,05 c	10,10 d	19,52 e	3,85 c	0,55 f	102,92 d
T4	7,90 c	15,20 c	14,50 f	4,80 b	0,85 d	204,17 c
T5	7,90 c	6,65 d	11,60 f	4,00 c	0,75 e	190,17 c
T6	11,37 b	11,60 c	15,15 f	3,85 c	0,60 e	116,47 d
T7	8,80 c	4,55 d	5,60 h	4,20 c	0,75 e	130,72 d
T8	10,10 b	10,75 d	12,55 f	4,57 b	1,27 c	115,12 d
T9	7,05 c	24,50 b	26,50 c	3,85 c	1,85 b	346,07 a
T10	10,52 b	9,35 d	18,45 e	4,30 c	0,65 e	70,77 d
T11	6,12 c	10,17 d	13,50 f	3,90 c	0,77 e	116,20 d
T12	9,22 b	6,27 d	22,82 d	4,65 b	0,85 d	158,17 d
T13	7,00 c	35,10 a	35,80 b	4,80 b	0,40 f	270,30 b
T14	9,65 b	15,72 c	8,60 g	4,47 b	2,50 a	78,90 d
T15	5,39 c	12,80 c	41,70 a	6,55 a	1,20 c	219,00 c
T16	7,90 c	16,57 c	8,05 g	3,75 c	1,12 c	130,35 d
T17	11,40 b	15,70 c	11,65 f	4,00 c	1,00 d	94,90 d
T18	16,20 a	11,79 c	27,02 c	3,75 c	0,55 f	83,05 d
T19	9,65 b	8,30 d	8,70 g	4,22 c	0,95 d	71,65 d
T20	9,67 b	14,95 c	29,20 c	4,87 b	0,37 f	64,42 d
CV(%)	26,76	32,52	47,96**	7,62**	40,76**	12,26**
F	4,29**	11,34**	18,24	14,83	17,82	31,29

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott 5%.

Fonte: Dados da pesquisa.

As maiores concentrações de N foram observadas no tratamento 18 (120-50-100), 51% superiores às do tratamento testemunha (T1). Portanto, na maior dose do elemento e, em interação com P e K. No entanto, concentrações baixas são preferíveis, pois o N é prejudicial ao ser humano, por causa da liberação de óxidos de N (MOULIN *et al.*, 2011). As altas concentrações de N podem, ainda, reduzir o poder calorífico da madeira (HUANG *et al.*, 2009). No presente caso, dependendo da adubação, a utilização da *T. grandis* pode ser inviabilizada, sendo preferível o tratamento 15 (80-100-100), com menor valor de N.

As maiores concentrações de P foram verificadas na adubação 80-0-100 (tratamento 13), 72,6% superiores às do tratamento testemunha. O P presente na cinza é, em geral, lentamente liberado, sendo a sua solubilidade reduzida devido ao elevado pH da mesma (ERICH; OHNO, 1992). Assim como observado para o P, as maiores concentrações de K foram verificadas no tratamento 15 (80-100-100), 93,8% superiores às do tratamento testemunha. Portanto, foi dependente da interação entre os macronutrientes. De acordo com Demeyer *et al.* (2001), em geral, a cinza de biomassa se caracteriza por possuir elevados teores de Ca, K e Mg. Timm *et al.* (2003), Gómez-Rey *et al.* (2010) e Andrade *et al.* (2011) também observaram altas concentrações de K nas cinzas. O que foi atribuído ao fato de elementos bivalentes serem mais fortemente retidos que o K nas posições de troca catiônica.

As cinzas de madeiras podem ser utilizadas como adubos orgânicos, principalmente, com fonte de N, P, K, Ca e Mg (SEVERINO *et al.*, 2006). Nesse sentido, ressalta-se que as maiores concentrações de Ca foram verificadas no tratamento 15 (80-100-100), 60,3% superiores em relação à testemunha. Valores importantes, pois o caráter alcalinizante da cinza é atribuído à abundância de óxidos, de hidróxidos e de carbonatos, principalmente, de Ca, Mg e K (ETIEGNI; CAMPBELL, 1991). Altas concentrações de Ca nas cinzas da madeira também foram observadas por Timm *et al.* (2003), Andrade *et al.* (2011) e Silvério (2013).

As maiores concentrações de Mg foram observadas na adubação 80-50-100 (tratamento 14), 72% superiores às do tratamento testemunha. Enquanto que as maiores concentrações de B foram observadas no tratamento 9 (40-200-0), superiores em 72%, comparando às do tratamento testemunha. Portanto, não houve necessidade da adubação com K, enquanto que a adubação com P foi na maior dose. Porém, outras combinações também favoreceram o aumento nas concentrações de B nas cinzas de *T. grandis*. Balloni (1979) cita as cinzas da madeira como fonte de B.

Portanto, as cinzas do caule de *T. grandis* com 12 meses de idade são fontes, principalmente de N, P, K e de B, cujas concentrações são altamente influenciadas pelas doses de N, P e K.

#### 4 Conclusão

A adubação influenciou no teor de cinzas, de COT e, na relação C/N em plantas de *T. grandis*. Resultados preliminares indicam que, em estágio inicial de crescimento, a espécie é propícia para a utilização como carvão vegetal.

A relação C/N permite indicar que se trata de material com maior dificuldade de degradação e que, portanto, pode apresentar, posteriormente, altos teores de lignina.

Os elementos inorgânicos que predominaram nas cinzas de *T. grandis*, após 360 dias, foram: N, P, K e B.

#### Referências

- ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. *Normas técnicas ABCP*. São Paulo: ABTCP, 1974.
- ALMEIDA, E.M.; CAMPELO JUNIOR, J.H.; FINGER, Z. Determinação do estoque de carbono em teca (*Tectona grandis* L.F.) em diferentes idades. *Ciê. Flor.*, v.20 n.4, p.559-568, 2010.
- ANDRADE, M.C.N. *et al.* Estudo comparativo da constituição nutricional da madeira e casca de espécies e clones de eucalipto visando o cultivo de shiitake em toras. *Rev. Arv.*, v.35, n.2, p.183-192, 2011.
- BALLONI, E.A. *A utilização de boro em florestas plantadas*. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais: Piracicaba, 1979.
- BARBOSA, B.M. *et al.* Efeito da fertilização na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp. *Scient. Forest.*, v.42, n.101, p.29-39, 2014.
- BARREIROS, R.M. *Modificações na qualidade da madeira de Eucalyptus grandis causadas pela adubação com lodo de esgoto tratado*. 2005. 111 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. 2005.
- BARREIROS, R.M. *et al.* Modificações na produtividade e nas características físicas e químicas da madeira de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação com lodo de esgoto tratado. *Rev. Arv.*, v.31, n.1, p.103-111, 2007.
- BEHLING, A. *et al.* Teores de carbono orgânico de três espécies arbóreas em diferentes espaçamentos. *Pesq. Flor. Bras.*, v.34, n.77, p.13-19, 2014.
- BOTREL, M.C.G. *et al.* Seleção de clones de *Eucalyptus* para biomassa florestal e qualidade da madeira. *Scient. Forest.*, v.38, n.86, p.237-245, 2010.
- CALDEIRA, M.V.W. *et al.* Determinação de carbono orgânico em povoamentos de *Acacia mearnsii* de Wild. plantados no Rio Grande do Sul. *Rev. Acad.: Ciênc. Agr. e Amb.*, v.1, n.2, p.47-54, 2003.
- CARDOSO, G.V. *et al.* Adequação de metodologia amostral de madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus globulus* para determinação do teor de cinzas. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 34., 2001, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABTCP, 2001.
- CHAVES, A.M.B. *et al.* Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. *Encicl. Biosf.*, v.9, n.17, p.533-542, 2013.
- DEMEYER, A.; VOUNDI, J.C.N.; VERLOO, M.G. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. *Biores. Techn.*, v.77, p.287-295, 2001.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.
- ERICH, M.S.; OHNO, T. Phosphorus availability to corn from wood ash amended soils. *Wat., Air and Soil Pollut.*, v.64, p.475-

485, 1992.

ETIEGNI, L.; CAMPBELL, A.G. Physical and chemical characteristics of wood ash. *Biores. Techn.*, v.37, p.173-178, 1991.

FLÓREZ, J.B. *Caracterização tecnológica da madeira jovem de teca (Tectona grandis L.f.)*. 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

FREDDO, A. *Elementos minerais em madeira de eucalipto e acácia negra e sua influência na indústria de celulose kraft branqueada*. 1997. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 1997.

GARCIA, E.A. *Qualidade energética da madeira de eucalipto em função do espaçamento, da adubação e da idade conduzida no sistema florestal de curta rotação*. 2013. 71 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2013.

GOMES-REY, M.X. *et al.* Efeito da cinza de biomassa na dinâmica do C e N do solo de uma plantação de *Pinus pinaster*. *Rev. Ciênc. Agr.*, v.32, n.2, p.134-146, 2010.

GUNAGA, R.P.; KANFADE, A.H.; VASUDEVA, R. Soil fertility status of 20 seed production areas of *Tectona grandis* Linn. F. in Karnataka, India. *J. For. Sci.*, v.57, n.11, p.483-490, 2011.

HOPPE, J.M. *Biomassa e nutrientes em Platanus x acerifolia (Aiton) Wild. estabelecido no município de Dom Feliciano – RS*. 2003. 143 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

HUANG, C. *et al.* Ultimate analysis and heating value prediction of straw by near infrared spectroscopy. *Wast. Manag.*, v.29, n.6, p.1793-1797, 2009.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: POTAFOS, 1997.

MORAIS, P.H.D. *Efeito da idade da madeira de eucalipto na sua química e polpabilidade, e branqueabilidade e propriedades físicas da polpa*. 2008. 79f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

MOREIRA, F.M.; SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: UFLA, 2002.

MOULIN, J.C. *et al.* Avaliação energética da maravalha gerada em uma serraria de pequeno porte. *J. Biotechn. Biod.*, v.2, n.2, p.16-22, 2011.

MOYA, R. *et al.* Efeito das propriedades físicas e químicas do solo em algumas propriedades da madeira de teca (*Tectona grandis*). *Rev. Árv.*, v.34, n.6, p.1109-1118, 2010.

MOYA, J.F. *et al.* Nutrient concentration age dynamics of teak (*Tectona grandis* L. f.) plantations in Central America. *Fores. Syst.*, v.22, n.1, p.123-133, 2013.

NEVES, T.A. *et al.* Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. *Pesq. Flor. Bras.*, v.31, n.68, p.319-330, 2011.

PAES, J.B. *et al.* Efeitos dos extrativos e cinzas na resistência natural de quatro madeiras a cupins xilófagos. *Rev. Cer.*, v.19, n.3, p.399-405, 2013.

PELISSARI, A.L.; CALDEIRA, S.F.; DRESCHER, R. Desenvolvimento quantitativo e qualitativo de *Tectona grandis* L.f. em Mato Grosso. *Flor. e Amb.*, v.10, n.3, p.371-383, 2013.

PEREIRA, J.C. *et al.* *Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil*. Colombo: EMBRAPA F, 2000.

PIMENTA, A.S.; BARCELLOS, D.C. *Como produzir carvão para churrasco*. Viçosa: UFV, 2000.

PROTÁSIO, T.P. *et al.* Qualidade da madeira e do carvão vegetal oriundos de floresta plantada em Minas Gerais. *Pesq. Flor. Bras.*, v.34, n.78, p.111-123, 2014.

SANTANA, W.M. *Efeito da idade e da classe diamétrica nas propriedades da madeira de Eucalyptus grandis e Eucalyptus urophylla*. 2009. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SANTOS, R.C. *et al.* Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. *Scient. Forest.*, v.39, n.90, p.221-230, 2011.

SANTOS, L.C. *et al.* Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais. *Rev. Árv.*, v.36, n.5, p.971-980, 2012.

SCHNEIDER, P.R. *et al.* Determinação indireta do estoque de biomassa e carbono em povoamentos de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). *Ciênc. Flor.*, v.15, n.4, p.391-402, 2005.

SETTE JUNIOR, C.R.; NAKAJIMA, N.Y.; GEROMINI, M.P. Captura de carbono orgânico em povoamentos de *Pinus taeda* L. na região de Rio Negrinho, SC. *Rev. Flor.*, v.36, n.1, p.33-44, 2006.

SEVERINO, L.S.; LIMA, R.L.S.; BELTRÃO, N.E.M. *Composição química de onze materiais orgânicos utilizados em substratos para produção de mudas*. Campina Grande: EMBRAPA ALGODÃO, 2006.

SILVÉRIO, J. *Determinação da composição química e aproveitamento de cinzas da queima da lenha de eucalipto para produção de água sanitária ecológica*. Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

TURION, J.A.; PEREIRA, J.C.D.; CHEMIN, M.S. Qualidade da madeira de *Eucalyptus viminalis* para fins energéticos em função do espaçamento e idade de corte. *Bol. de Pesq. Flor.*, n.16, p.55-59, 1988.

TEDESCO, M.J. *et al.* *Análise de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre: UFRS, 1995.

TIMM, P.J. *et al.* Efeito da cinza de madeira na composição química de vermicomposto para uso em sistemas de produção de cebola na Região Sul do RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 43., 2003, Recife. *Anais...* Recife: ABH, 2003.

TONINI, H.; COSTA, M.C.G.; SCHWENGBER, L.A.M. Crescimento da teca (*Tectona grandis*) em reflorestamento na Amazônia Setentrional. *Pesq. Flor. Bras.*, n.59, p.5-14, 2009.

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MENDES, L.M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. *Rev. Cern.*, v.2, n.1, p.94-111, 1996.

VANCE, E.D.; CHAPIN III, F.S. Substrate limitations to microbial activity in taiga forest floors. *Soil Biol. Bioch.*, v.33, p.173-188, 2001.

WATZLAWICK, L.F. *et al.* Teores de carbono em espécies da Floresta Ombrófila Mista. In: SANQUETTA, C.R.; BALBINOT, R.; ZILIOTO, M.A.B. *Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas*. Curitiba: UFPR, 2004. p. 95 - 109.

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