

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO

UNIDADE ACADÊMICA ESPECIALIZADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ESCOLA AGRÍCOLA DE JUNDIAÍ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS



**PRODUÇÃO, ALOCAÇÃO DE BIOMASSA E ASPECTOS NUTRICIONAIS
DE UM CLONE DE EUCALIPTO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DE
PLANTIO, NA REGIÃO LITORÂNEA DO RN**

PRISCILA LIRA DE MEDEIROS

FEVEREIRO – 2018

MACAÍBA – RN

PRISCILA LIRA DE MEDEIROS

**PRODUÇÃO, ALOCAÇÃO DE BIOMASSA E ASPECTOS NUTRICIONAIS DE UM
CLONE DE EUCALIPTO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DE PLANTIO, NA REGIÃO
LITORÂNEA DO RN**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Gualter Guenther Costa Da Silva.

**MACAÍBA – RN
FEVEREIRO – 2018**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte.
UFRN - Biblioteca Setorial Prof. Rodolfo Helinski - Escola Agrícola de Jundiá - EAJ

Medeiros, Priscila Lira de.

Produção, alocação de biomassa e aspectos nutricionais de um clone de eucalipto em função da densidade de plantio, na Região Litorânea do RN / Priscila Lira de Medeiros. - Macaíba-RN, 2018.

47f.: il.

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais, Macaíba, RN, 2018.

Orientador: Gualter Guenther Costa da Silva.

1. Eucalyptus urograndis - Dissertação. 2. Espaçamento - Dissertação. 3. Delineamento sistemático - Dissertação. I. Silva, Gualter Guenther Costa da. II. Título.

RN/UF/BSPRH

CDU 582.776

**PRODUÇÃO, ALOCAÇÃO DE BIOMASSA E ASPECTOS NUTRICIONAIS DE UM
CLONE DE EUCALIPTO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DE PLANTIO, NA REGIÃO
LITORÂNEA DO RN**

Priscila Lira de Medeiros

Dissertação julgada para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais (Área de Concentração em Ciências Florestais - Linha de Pesquisa: Manejo e Utilização dos Recursos Florestais) e aprovada pela banca examinadora em 26 de Fevereiro de 2018.

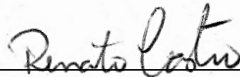
Banca Examinadora



Prof. Dr. Gualter Guenther Costa da Silva

UAECIA/UFRN

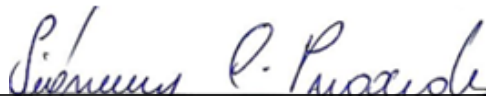
Presidente



Prof. Dr. Renato Vinícios Oliveira Castro

Universidade Federal de São João Del-Rei – UFSJ

Examinador externo à instituição



Prof. Dr. Sidney Carlos Praxedes

UAECIA/UFRN

Examinador interno

MACAÍBA – RN

FEVEREIRO – 2018

“Eu me apaixonei pelo jeito que você me tocou sem ter usado suas mãos”. A. D.

A Evanuel Dutra Lima

Dedico.

V

AGRADECIMENTOS

Obrigada meu Deus! Essa foi uma etapa muito cansativa da minha vida, mas me trouxe muito crescimento, tanto como profissional, quanto como ser humano.

Obrigada a meus pais, que sempre foram minha base, dando tudo de si para que eu pudesse me dedicar plenamente aos estudos. Minha mãe, minha rainha, mulher da minha vida, Obrigada! Thommas, mesmo você já estando maior que eu, você sempre será meu irmãozinho e pode contar comigo sempre, sangue do meu sangue. Evanuel, meu amor, obrigada por existir e por ter surgido tão repente na minha vida, trazendo tantas lições, fé, carinho e amor. Você me trouxe vontade de viver! Eu amo vocês!

Obrigada meu primo Miguel Felix por sempre me incentivar e se mostrar orgulhoso pelo meu crescimento. Eu te admiro muito! Obrigada aos meus amigos Natã, Andressa, Mário, Michelly, Felipe ... pelas conversas e bons momentos em meio a tanta correria. Aos meus bichinhos de estimação, “Perereca” e “Pingulinhos”, pelo amor inestimável <3

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Norte pela oportunidade de estudar numa instituição de excelência com todos os recursos e benefícios.

Agradeço à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa durante o segundo ano do mestrado.

Ao meu orientador, o professor Gualter, por ser minha grande inspiração profissional e um grande exemplo de ser humano; e a sua mulher, a professora Ermelinda, pela amizade e carinho, além de grande contribuição científica para este trabalho. Meus agradecimentos também ao professor Renato Castro, que veio da UFSJ para contribuir com esta pesquisa, desde a etapa de planejamento dos abates, até a participação na banca de defesa da dissertação. Agradeço também aos professores Sidney e Rosimeire: Obrigada pela parceria e humildade, professores!

Muito obrigada também aos responsáveis pelo TECHS por terem implantado um núcleo de experimentos na área de experimentação florestal da Escola Agrícola de Jundiá, no qual tive a oportunidade de realizar esta pesquisa pioneira, que me trouxe muitos novos conhecimentos, e sem dúvidas, grande contribuição para a ciência.

Aos membros do GESOLO (Grupo de Estudos em Solos) por todo o esforço e dedicação em realizar o plantio, manutenção e abate das árvores do experimento TECHS. Essa equipe maravilhosa foi imprescindível para a realização desta pesquisa. Obrigada, grupo! Em especial a Ciro, Ellen, Alysson, Ilgner, Jucier, Leo... Obrigada a Daniel, Gleyse, Wanderson e a Equipe responsável pelo Laboratório de Nutrição Vegetal da UFV, por realizarem as análises nutricionais das plantas avaliadas. Agradeço também a todos que apesar de não serem do grupo também deram alguma contribuição nas atividades desenvolvidas ou tornaram meus dias mais leves e divertidos! “Nenhum de nós sozinho é tão bom quanto todos nós juntos. A união faz a força!”

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
1.1 As potencialidades do gênero <i>Eucalyptus</i> no Brasil.....	11
1.2 A biomassa florestal.....	12
1.3 Alocação de biomassa.....	13
1.4 Teor e conteúdo de nutrientes.....	14
1.5 Eficiência nutricional.....	16
1.6 A influência da densidade de plantio na produtividade da floresta.....	18
1.7 Delineamentos sistemáticos.....	19
2 OBJETIVOS	20
2.1 Geral	20
2.2 Específicos	20
3 MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 Caracterização da área experimental	21
3.2 Preparação da área e tratos silviculturais	21
3.3 Delineamento experimental	18
3.4 Coleta e análise de dados	19
3.5 Análise estatística	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1 Produção de biomassa aérea	23
4.2 Produção de biomassa do lenho	24
4.3 Alocação de biomassa aérea	26
4.5 Teor de nutrientes	27
4.6 Conteúdo de nutrientes	29
4.7 Eficiência nutricional	31
5 CONCLUSÃO	33
6 LITERATURA CITADA.....	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma simplificado de um modelo de balanço nutricional para culturas florestais...	17
Figura 2. Ilustração de dois tipos de delineamentos sistemáticos.....	20
Figura 3. Croqui do experimento.....	21
Figura 4. Produção de biomassa aérea das árvores do clone híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> , aos 36 meses de idade, em função da área vital, na região litorânea do RN.....	24
Figura 5. Produção de biomassa de lenho das árvores do híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> , aos 36 meses de idade, em função da área vital, na região litorânea do RN.....	25
Figura 6. Distribuição relativa da biomassa entre os componentes da parte aérea das árvores do híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> , aos 36 meses de idade, na região litorânea do RN.....	26
Figura 7. Teores de macronutrientes nos componentes arbóreos do clone híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> submetido a diferentes densidades populacionais, na região litorânea do RN.....	28
Figura 8. Conteúdo de macronutrientes nos componentes da parte aérea do clone híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> submetido a diferentes densidades populacionais, na região litorânea do RN.....	30
Figura 9. Coeficiente de utilização biológica (CUB) de macronutrientes nos componentes arbóreos do clone híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> submetido a diferentes densidades populacionais, na região litorânea do RN.	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Faixas de teores de macro e micronutrientes na matéria seca de folhas consideradas adequadas para <i>Eucalyptus</i>	14
Tabela 2. Tratamentos avaliados no experimento.....	22

LISTA DE ABREVIATURAS

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior;

CUB – Coeficiente de utilização Biológico;

CV – Coeficiente de Variação;

DAP – Diâmetro à Altura do Peito (a 1,3 m de altura);

EAJ – Escola Agrícola de Jundiá;

EMPARN – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte;

EUN – Eficiência de utilização de nutrientes;

GESOLO – Grupo de Estudos em Solo;

H – Altura Total;

NPK – Nitrogênio, Fósforo e Potássio;

UAECIA – Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias;

UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

MEDEIROS, Priscila Lira de. **Produção e alocação de biomassa e aspectos nutricionais de um clone de eucalipto em função da densidade de plantio, na região litorânea do RN.** 2018. 47f. Dissertação (Mestrado). Ciências Florestais. PPGCFL/UFRN, Macaíba – RN, 2018.

RESUMO

Neste experimento avaliou-se o efeito de diferentes densidades populacionais sobre a produção e alocação de biomassa e eficiência nutricional de um clone de eucalipto. Foram testadas doze densidades populacionais, variando de 498 a 13.333 plantas por hectare. As avaliações foram realizadas quando as árvores tinham 36 meses de idade, determinando-se a produção total de biomassa e a alocação de biomassa por planta (kg planta^{-1}) e por área (t ha^{-1}) e teor, conteúdo e eficiência nutricional de N, P, K, Ca, Mg e S para os componentes folhas, galhos, casca e lenho. Os dados foram submetidos a análise de variância e teste F, sendo ajustadas equações de regressão, com as respectivas linhas de tendência. Os valores de biomassa total e biomassa do lenho por hectare decresceram com a redução da densidade de plantas, e os valores de biomassa total e biomassa do lenho por planta aumentaram com a redução na densidade populacional. A alocação proporcional de biomassa para folhas e galhos aumentou com a diminuição da densidade de plantas, enquanto a alocação proporcional de biomassa para madeira reduziu, e a casca não foi afetada. A maior produção de biomassa aérea por planta ($118,48 \text{ kg planta}^{-1}$) foi obtida na densidade de 588 árvores ha^{-1} ($17 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$). A maior densidade de plantas, 13.333 árvores ha^{-1} , proporcionou a maior produção de biomassa total ($205,5 \text{ t ha}^{-1}$) e de madeira ($159,64 \text{ t ha}^{-1}$) por unidade de área. Com a redução da densidade populacional observou-se aumento no teor de N e S nos galhos e lenho e no teor de Ca nos galhos; aumento no teor de N nas folhas e de N, Ca, Mg e S na casca. Os teores de P e K apresentaram comportamento quadrático em função da densidade populacional. O conteúdo dos macronutrientes tendeu a decrescer conforme diminuiu-se a densidade populacional. O lenho foi o componente que apresentou os maiores valores de eficiência nutricional, que, em geral, tendeu a decrescer com redução na densidade de plantas, sendo o Ca o único macronutriente que não apresentou efeito neste último parâmetro.

Palavras-chave: *Eucalyptus urograndis*. espaçamento. Nordeste. delineamento sistemático.

MEDEIROS, Priscila Lira de. **Production and allocation of biomass and nutritional aspects of a eucalyptus clone as a function of planting density, in the coastal region of the RN.** 2018.

47f. Dissertation (Master). Forestry Sciences. PPGCFL / UFRN, Macaíba - RN, 2018.

ABSTRACT

In this experiment the effect of different population densities on the production and allocation of biomass and nutritional efficiency of a eucalyptus clone was evaluated. Twelve population densities were tested, varying from 498 to 13,333 plants per hectare. The evaluations were performed when the trees were 36 months old, determining the total biomass production and the biomass allocation per plant (kg plant^{-1}) and area (t ha^{-1}) and content, nutritional efficiency of N, P, K, Ca, Mg and S for the components leaves, branches, bark and wood. Data were submitted to analysis of variance and F test, and regression equations were adjusted with the respective trend lines. The values of total biomass and biomass of the wood per hectare decreased with the reduction of the density of plants, and the values of total biomass and biomass of the wood per plant increased with the reduction in the population density. Proportional allocation of biomass to leaves and branches increased with decreasing plant density, while the biomass proportional allocation to wood reduced, and the bark was not affected. The highest aerial biomass production per plant ($118.48 \text{ kg plant}^{-1}$) was obtained at the density of 588 ha^{-1} trees ($17 \text{ m}^2 \text{ plant}^{-1}$). The highest density of plants, $13,333 \text{ ha}^{-1}$ trees, provided the highest yield of total biomass (205.5 t ha^{-1}) and wood (159.64 t ha^{-1}) per unit area. With the reduction of the population density, it was observed an increase in the N and S content in the branches and wood and in the Ca content in the branches; increase in N content in leaves and N, Ca, Mg and S in the bark. The levels of P and K presented quadratic behavior as a function of population density. The content of macronutrients tended to decrease as the population density decreased. The wood was the component that presented the highest values of nutritional efficiency, which, in general, tended to decrease with reduction in plant density, with Ca being the only macronutrient that did not show effect in this last parameter.

Key words: *Eucalyptus urograndis*. spacing. Northeast. systematic design.

1 INTRODUÇÃO

Estima-se que em 2050 a população mundial seja 29% maior que em 2010 (UNITED NATIONS, 2017). Conseqüentemente, será necessário aumentar a oferta tanto de produtos agrícolas como também de produtos florestais, com o fim de suprir as demandas por alimentos e madeira para produção de energia e celulose (ROSIM; HSING; PAULA; 2016). No intuito de aumentar a produção florestal pode-se passar a explorar áreas que atualmente estão subutilizadas ou abandonadas devido a seus solos esgotados ou de baixa fertilidade natural (PARENTONI; MENDES; GUIMARAES, 2011), como é o caso da maioria das áreas plantadas com florestas no Brasil (SILVA et al., 2013).

No Brasil, as espécies florestais mais plantadas são as do gênero *Eucalyptus*, por apresentarem alta produtividade e capacidade de tolerância a condições edafoclimáticas adversas (IBÁ, 2017). No entanto, sua elevada taxa de crescimento acarreta em alta demanda por recursos de crescimento escassos, como água e nutrientes, levando a questionamentos sobre os impactos ambientais e sustentabilidade da produção (BELLOTE et al. 2008). A elevada exportação dos nutrientes imobilizados na biomassa removida pela colheita florestal (LACLAU, 2010) acaba por aumentar o uso de insumos no setor florestal com a finalidade de equilibrar a entrada-saída de nutrientes durante o ciclo (ROSIM; HSING; PAULA, 2016).

Um método amplamente utilizado para estimar a necessidade de reposição dos nutrientes em plantios de eucalipto é- através do cálculo da eficiência nutricional ou coeficiente de utilização biológico (LAFETÁ, 2012). Conhecendo a eficiência no uso de um nutriente e a produção de biomassa esperada, podemos estimar a quantidade de nutrientes requerida para o suprimento adequado do ciclo seguinte (SAIDELLES et al., 2010; LEITE et al., 2011). A eficiência nutricional é definida pela quantidade de biomassa produzida para cada unidade do nutriente que é absorvido (CHAPIN, 1980).

A quantidade dos nutrientes varia de um tecido para outro da planta (TURNER & LAMBERT, 2008), e teoricamente, quanto maior o nível do nutriente no tecido, menor a eficiência nutricional (BARROS et al., 1986). Conhecer o estoque e a alocação dos nutrientes nos diferentes componentes da árvore pode contribuir na definição de estratégias que objetivem a sustentabilidade do sítio (GATTO et al., 2014; SCHUMACHER et al., 2011). Por exemplo, descascar o tronco em campo pode reduzir em até 60% a taxa de remoção de cálcio, em 48% a de magnésio, em 21% a de potássio e em 18% a de nitrogênio (WITSCHORECK; SCHUMACHER, 2015).

Os parâmetros nutricionais podem variar entre espécies (BÜNDCHEN et al., 2013) ou dentro de uma mesma espécie, com a idade (LEITE et al., 2011) ou em resposta a interação do genótipo com o ambiente (WOOD et al., 2011), como diferentes densidades de plantio ou níveis dos nutrientes no solo (SHUJAUDDIN; KUMAR, 2003). Plantios em menores densidades populacionais podem apresentar maior eficiência no uso do N e do K, enquanto em maiores densidades apresentam maior eficiência no uso do P (SHUJAUDDIN, N.; KUMAR, B., 2003).

Os trabalhos com enfoque nos aspectos nutricionais de espécies florestais são realizados predominantemente nos estados do Rio Grande do Sul (WITSCHORECK; SCHUMACHER, 2015; VIERA et al., 2012; DICK et al., 2017), São Paulo (LEITE et al., 2011) e Minas Gerais (MEDEIROS et al., 2016; GUIMARAES et al., 2015) e são bastante escassos os que relacionam esses aspectos ao fator densidade populacional (LEITE et al., 2011; LAFETÁ, 2012), além de nenhum deles avaliar vasto gradiente de densidades populacionais.

Isso se deve, provavelmente, ao fato de que experimentos que testem o efeito de diferentes densidades de plantio em delineamentos convencionais requerem grandes áreas, e conseqüentemente, envolvem altos custos de implantação e manutenção. Neste sentido, foram propostos os delineamentos intitulados sistemáticos (NELDER, 1962), que permitem avaliar várias densidades populacionais em uma área limitada (SANTOS et al., 2017). Em função da inexistência de casualização dos delineamentos sistemáticos, não é recomendado analisá-los como os delineamentos convencionais, mas Stape (1995) afirma que os níveis crescentes do fator avaliado nos tratamentos permitem que se aplique a análise de regressão, o que possibilita estimar valores que não foram avaliados no experimento.

Em função da ausência de casualização dos delineamentos sistemáticos e de não se deixar bordaduras entre os tratamentos, eles não podem ser analisados como se fossem delineamentos aleatórios (MEAD, 1988 apud STAPE, 1995). Evert (1971), Lin e Morse (1975) comentam que quase inexistem trabalhos efetuando análises estatísticas de delineamentos sistemáticos. Segundo Stape (1995), diversos autores recomendam a análise de regressão como uma das grandes ferramentas de análise de delineamentos sistemáticos com níveis crescentes do fator nos tratamentos.

Conhecendo-se o comportamento do clone, nestas condições edafoclimáticas, com relação a produção de biomassa, alocação de nutrientes e eficiência nutricional, é possível estabelecer níveis de adubação específicos para cada densidade populacional, para condições semelhantes.

Estas informações irão contribuir para a aplicação mais racional de nutrientes, proporcionando benefícios sociais, econômicos e ambientais, tanto pelos menores custos com adubação e maior sustentabilidade do sistema de produção, quanto pela inserção de uma espécie de alta produtividade e resiliência em substituição a exploração ilegal e indiscriminada de espécies nativas.

No Rio Grande do Norte, aproximadamente metade da energia consumida nos setores industrial e residencial provem da lenha e este cenário apresenta tendências de aumento crescente de demanda nos próximos anos (RIO GRANDE DO NORTE, 2006). Neste estado as fábricas de cerâmica vermelha ou estrutural, fábricas de gesso, siderúrgicas, indústrias alimentícia e têxtil, além de olarias, padarias, casas de farinha e pequenas indústrias rurais são as principais unidades consumidoras de lenha e/ou carvão vegetal oriundas do bioma Caatinga.

De acordo com dados do Sebrae (2013) o consumo médio mensal de lenha por região é 22.363 m³ (Grande Natal), 46.314 m³ (Região do Seridó), 26.390 m³ (Baixo Açu) e 7.777 m³ (Região Oeste), contabilizando um total de aproximadamente 103.000 m³ de lenha ao mês. Apesar de parte desta demanda por lenha ser abastecida a partir de podas de frutíferas (cajueiro e algaroba) é ainda do desmatamento ilegal que se origina 80% da oferta atual de lenha na região.

1.1 As potencialidades do gênero *Eucalyptus* no Brasil

O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae, é oriundo principalmente da Austrália e possui cerca de 700 espécies distintas. Algumas espécies de eucalipto apresentam rápido crescimento, alta produtividade (RAMOS et al., 2011) e comprovada resistência a estresses hídrico e térmico. Essas características fazem com que o eucalipto seja uma das principais alternativas à exploração predatória da madeira nativa, especialmente com o fim de suprir a demanda energética das regiões próximas (HABITZREITER, 2016).

Eucalyptus é o gênero florestal mais plantado do Brasil, se concentrando nos estados de Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (15%) (IBÁ, 2017). As plantas são submetidas a variadas condições de solo e clima, apresentando diferentes produtividades, em função da interação genótipo ambiente (SANTANA; BARROS; NEVES, 2002).

Somente no Brasil já foram inseridas mais de 100 espécies de eucalipto, sendo as mais plantadas, em ordem de importância: *E. grandis*, *E. saligna* e *E. urophylla*. Diversos clones e híbridos foram desenvolvidos visando melhor desempenho e adaptação as mais diversas condições

edafoclimáticas, de todo o país (SBS, 2010). O gênero *Eucalyptus* apresenta, no Brasil, os maiores incrementos médios anuais do mundo (SCARPINELLA, 2002).

Eucalyptus grandis é uma das espécies mais plantadas no Brasil e no mundo, apresentando alta adaptabilidade, alta produtividade e usos múltiplos (IBÁ, 2017). A espécie se adapta bem em todas as regiões do Brasil. As árvores apresentam boa forma, sendo suas toras adequadas para serraria e produção de móveis (ROCHA, 2000).

Eucalyptus urophylla se adequa bem em uma grande diversidade de ambientes, desde que não ocorram geadas e déficits hídricos severos (CIFLORESTAS, 2015). A madeira é considerada relativamente leve, estável, de boa permeabilidade e resistência mecânica moderada (ARANTES, 2009). No Brasil, seus principais usos são nas indústrias de laminação, construção, celulose e papel, painéis, lenha e carvão (HABITZREITER, 2016).

Do cruzamento entre *E. grandis* x *E. urophylla* obtém-se um híbrido interespecífico que reúne o rápido crescimento e alta produtividade atinentes a *E. grandis*, com a maior capacidade de rebrota, rusticidade e alta densidade de madeira, características da *E. urophylla* (EMBRAPA FLORESTAS, 2003).

1.2 A biomassa florestal

Através da fotossíntese a energia do sol absorvida pelas plantas é transformada em energia química, podendo ser convertida em combustível, eletricidade ou calor. Quando as fontes utilizadas para produzir energia são orgânicas, as intitulamos de biomassa (BROWN, 1997). O termo biomassa designa a quantidade de massa orgânica, de origem animal ou vegetal, viva ou morta (matéria seca, matéria úmida ou peso de carbono) produzida por unidade de área (SOARES; NETO; AGOSTINHO, 2011). Avaliar a biomassa é importante para se analisar fatores como a produtividade, conversão de energia e ciclagem de nutrientes (HABITZREITER, 2016).

Em florestas, se tratando de biomassa de origem vegetal, pode-se utilizar a denominação fitomassa para indicar toda a biomassa existente na floresta ou a biomassa restrita à sua fração arbórea (SANQUETTA, 2002). Os componentes da biomassa florestal geralmente estimados são: a biomassa horizontal acima do solo (árvores e arbustos), a biomassa morta acima do solo (serapilheira e galhos secos) e a biomassa abaixo do solo (raízes). Somando-se esses componentes tem-se a biomassa total (MARTINELLI et al., 1994).

A biomassa da parte aérea de árvores pode ser obtida de forma direta ou indireta. O método direto consiste em abater árvores amostra, coletar os dados e extrapolar os valores para todo o povoamento, sendo também chamado de método destrutivo. Já pelo método indireto os valores são obtidos a partir de estimativas subsidiadas por equações (SOARES; NETO; AGOSTINHO, 2011).

A produção de biomassa varia com a espécie, com o sítio, com a idade do povoamento, com a fertilidade, a altitude, umidade do solo, desbastes (RUSSO, 1983) e com o espaçamento (SANTOS et al, 2017). Espaçamentos mais amplos fornecem maiores áreas individuais, resultando em maior desenvolvimento das árvores (DAP, altura, volume e biomassa total) (SARTÓRIO, 2014). A disponibilidade de recursos (água, luz e nutrientes) pode afetar acentuadamente a produção de biomassa, pois tem relação direta com a fotossíntese, respiração, partição de carbono etc. (RYAN, 2010).

A biomassa florestal possui características que permitem utilizá-la como fonte alternativa de energia, por meio da queima da madeira ou pelo aproveitamento de resíduos do seu uso, além de possibilitar o aproveitamento de óleos essenciais, ácido pirolenhoso e alcatrão (COUTO et al. 2000).

Nas últimas décadas, com o aumento do efeito estufa, da poluição atmosférica e da expectativa de esgotamento de fontes de energia não renováveis, como o petróleo, o carvão mineral e o gás natural, tem-se buscado, cada vez mais, fontes alternativas de energia, sobretudo as fontes de energia renováveis, como a hidráulica, a eólica, a solar e a energia da biomassa, também chamada de bioenergia (PAULINO, 2012).

1.3 Alocação de biomassa

A distribuição percentual de biomassa nos diferentes componentes das plantas é chamada de alocação, partição ou compartimentalização de biomassa. Essa alocação depende de fatores como a idade do povoamento, a competição por recursos, as relações hídricas, o hábito de crescimento da floresta, entre outros fatores (BROUWER, 1962).

A alocação de biomassa para os componentes da árvore muda de uma espécie para outra, e pode variar dentro de uma mesma espécie em razão das condições ambientais ou da procedência (CALDEIRA, 1998). É importante considerar os diversos fatores que podem afetar a alocação de biomassa, pois o resultado obtido pode ser representativo somente para determinada espécie, em idade determinada e condições específicas.

Pesquisas que descrevam padrões de alocação de biomassa nos componentes das plantas são valorosas, por mérito de auxiliarem no entendimento das estratégias de ocupação dos ambientes (MULLER et al., 2000). A partir do conhecimento desses padrões de alocação pode-se selecionar materiais genéticos mais indicados para cada finalidade. Por exemplo, quando o fim é o uso da madeira, o interesse é elevada produção de madeira, enquanto, se o fim é extração de óleos essenciais das folhas, espera-se maior massa foliar.

Nos povoamentos mais jovens os fotoassimilados são utilizados prioritariamente para a formação da copa e conforme o povoamento se desenvolve, com a maior concorrência interespecífica a biomassa alocada para o tronco aumenta à medida que a de folhas e galhos diminui (REIS E BARROS, 1990).

1.4 Teor e conteúdo de nutrientes

O teor de um nutriente é a unidade desse nutriente presente em cada kg de biomassa. Também pode ser chamado de concentração ou acúmulo de nutrientes. Para macronutrientes usa-se g do nutriente por kg de biomassa (g kg^{-1}), e para micronutrientes, mg kg^{-1} .

O maior teor de nutrientes é, geralmente, encontrado nas folhas, e o menor, no lenho (VIERA et al., 2012). Isto ocorre devido as folhas serem a parte mais ativa da planta, onde se concentram as células vivas, responsáveis pela fotossíntese e respiração (FERRI, 1985). Na Tabela 1 estão os níveis de nutrientes no tecido foliar considerados adequados por Barros et al., (2005) para árvores de *Eucalyptus*.

Tabela 1. Faixas de teores de macro e micronutrientes na matéria seca de folhas consideradas adequadas para *Eucalyptus*.

Faixa de Teores adequados			
Elemento	Macronutrientes (g/kg)	Elemento	Micronutrientes (mg/kg)
N	13,5 - 18,0	B	30,0 - 50,0
P	0,9 - 1,3	Zn	35,0 - 50,0
K	9,0 - 13,0	Fe	150,0 - 200,0
Ca	6,0 - 10,0	Mn	400,0 - 600,0
Mg	3,5 - 5,0	Cu	7,0 - 10,0
S	1,5 - 2,0	Mo	0,5 - 1,0

Fonte: Barros et al., (2005).

O Cálcio não segue o mesmo padrão que a maioria dos nutrientes devido a ser um nutriente praticamente imóvel na planta, tendo função estrutural. O Ca compõe a lamela média da membrana celular, o que justifica sua alta concentração no componente casca (VIEIRA et al. 2012).

O conteúdo de um nutriente diz respeito a quantidade do nutriente que um hectare do povoamento extraiu do solo. É também chamado de estoque de nutrientes (GUIMARÃES et al., 2015) ou quantidade de nutriente (VIEIRA et al., 2012).

Para se determinar o conteúdo de nutrientes exportado pela colheita dos componentes da biomassa aérea florestal multiplica-se a produção de biomassa do componente pelo teor do nutriente no componente. Esses dados são de extrema importância na definição de estratégias de manejo visando a manutenção da produtividade do sítio (FREITAS, 2000).

Práticas silviculturais inadequadas podem provocar redução no estoque de nutrientes, prejudicando a continuidade da produção do agroecossistema. Destarte, conhecer a exportação de nutrientes pelo povoamento de eucalipto em diferentes condições a que este é submetido é um requisito essencial a adoção de técnicas de conservação e reposição de nutrientes. O mau manejo do povoamento pode gerar impactos severos sobre os ciclos da água, dos nutrientes e sobre o equilíbrio ecológico dos ecossistemas vizinhos (POGGIANI; STAPE; GONÇALVES, 1998).

Através do manejo da floresta é possível aumentar a produtividade, todavia, pode-se incorrer em maior remoção de nutrientes pela colheita florestal. Florestas altamente produtivas e adensadas, com rápido ritmo de crescimento, certamente exportam maior quantidade de nutrientes do solo (BALLONI; SIMÕES, 1980). É extremamente importante estimar a quantidade de cada nutriente que será exportada pela colheita de forma a subsidiar o uso de estratégias que visem manter a produtividade dos sítios (SCHUMACHER et al., 2013).

Em ordem, os macronutrientes que geralmente são extraídos em maior quantidade pelas plantas de eucalipto são $Ca > N > K > Mg > P > S$ (VIEIRA et al., 2012). Na maioria das vezes os componentes que apresentam maior quantidade de nutrientes são madeira > raiz > folha > casca > galho (WITSCHORECK e SCHUMACHER, 2015). GUIMARÃES et al., (2015) registrou 985 kg ha⁻¹ de macronutrientes e 32,5 kg ha⁻¹ de micronutrientes, distribuídos em: N (24%), P (2%), K (23%), Ca (34%), Mg (13%) e S (4%) e em B (3%), Cu (1%), Fe (7%), Mn (87%) e Zn (2%), em eucalipto com 4 anos de idade, no RS.

1.5 Eficiência nutricional

São diversos os conceitos para eficiência nutricional, dependendo do enfoque do estudo. Machado et al. (2001) adotam um enfoque na produtividade, definindo eficiência nutricional como a capacidade da planta em produzir alto rendimento em um meio que possua características que afetem diretamente a produção-padrão. Bailian et al. (1991), com enfoque no requerimento interno da planta, definem eficiência nutricional como a biomassa produzida por unidade de nutriente aplicado ao solo, que depende de dois componentes principais: a eficiência de aquisição e a eficiência de utilização.

Siddiqi e Glass (1981) apresentam uma definição que combina os dois enfoques anteriores, criando um índice que permite selecionar genótipos que além de altamente eficientes também apresentem elevada produção de biomassa. Esse índice é calculado através da seguinte relação: $\text{Matéria seca produzida}^2 \text{ (unidade do nutriente absorvido)}^{-1}$.

Hansen e Baker (1989) usando enfoque fisiológico, sugeriram eficiência nutricional simplesmente como resultado da relação entre a Produção de matéria seca por unidade do nutriente acumulado pela planta. Barros (1986) definiu o cálculo da eficiência nutricional através do chamado Coeficiente de Utilização Biológico (CUB), que permite obter a eficiência nutricional, com enfoque agrônômico, através do seguinte cálculo, por componente da planta:

$$\text{CUB} = \frac{\text{Massa seca do componente (kg/ha)}}{\text{Conteúdo do nutriente no componente (kg/ha)}}$$

Uma elevada eficiência nutricional indica alta capacidade da planta em converter os nutrientes absorvidos em biomassa, produzindo o máximo de biomassa possível para cada unidade de nutriente absorvido.

A eficiência de utilização de nutrientes para a produção de madeira varia com a disponibilidade de nutrientes, tipo de solo, densidade populacional e com a espécie (CAMARGO et al., 2004). Em resumo, a eficiência nutricional é afetada tanto por fatores genéticos quanto por fatores ambientais, conjuntamente.

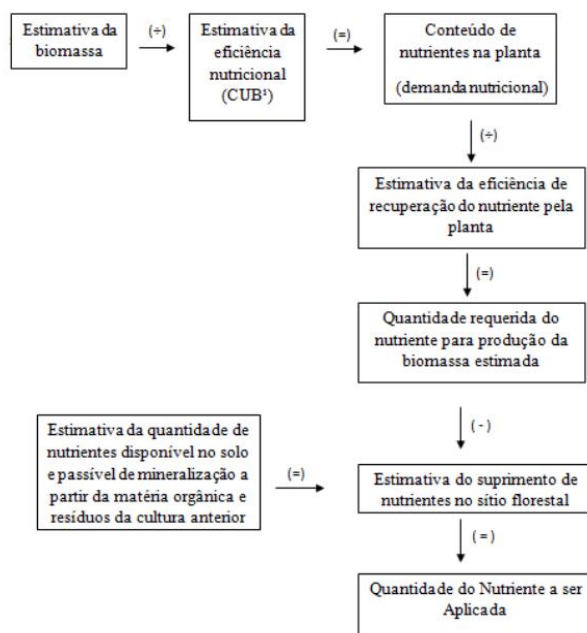
É importante considerar que os diferentes conceitos de eficiência nutricional implicam em diferentes métodos de cálculo dessa eficiência, resultando em distintos valores obtidos. Por isso, todo cuidado é pouco quando decidirmos comparar resultados obtidos com a utilização de métodos que utilizam enfoque diferente.

Uma planta ser eficiente no uso de um nutriente não quer dizer que seja eficiente para outros nutrientes (BARROS; NOVAES; NEVES, 1990). Além disso, a maior eficiência nutricional não indica necessariamente a maior produção de biomassa (SANTANA; BARROS; NEVES, 2002), mas uma provável redução na disponibilidade do nutriente no sítio, e consequente necessidade de reposição. A eficiência no uso de um nutriente varia conforme sua disponibilidade no solo. Em geral, a eficiência nutricional aumenta com a redução da sua disponibilidade (BARROS, 1986).

A estimativa da eficiência nutricional e da alocação de nutrientes em povoamentos de eucalipto em diferentes condições de cultivo no Brasil é necessária para estimar a demanda nutricional das plantas, a exportação e retorno de nutrientes para solo, ao longo da rotação (GAMARODRIGUES et al., 2008; FARIA et al., 2008; LEITE et al., 2011).

No Brasil, as fertilizações no eucalipto são baseadas em modelagem de balanço nutricional (Figura 1), que utilizam como base esses valores estimados, viabilizando o uso mais eficiente de recursos (BARROS et al., 1995). Dados cada vez mais específicos (para condições específicas de clima, solo e densidade populacional, por exemplo) podem ser utilizados para aprimorar o balanço nutricional.

Figura 1. Fluxograma simplificado de um modelo de balanço nutricional para culturas florestais (adaptado de Prezotti, 2001).1q



¹ CUB = Coeficiente de Utilização Biológica

Fonte: Valadares, (2015)

Viera et al. (2008), avaliando a eficiência de utilização de nutrientes em *E. saligna* e híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*, com 18 meses de idade encontraram a seguinte sequência de eficiência, para ambas as espécies, em ordem decrescente: S > P > Mg > N > K > Ca para casca e galhos, enquanto que para as folhas foi: S > P > Mg > K = Ca > N e para o fuste: S > P > Mg > Ca > N > K.

Características morfológicas e fisiológicas das plantas podem influenciar nas diferenças existentes entre genótipos (ABICHEQUER, 1995), sendo essas diferenças mediadas também pela interação genótipo ambiente (ALMEIDA, 2009). Santana, Barros e Neves (1999) confirmaram que a herdabilidade da eficiência nutricional pode ser alta ou baixa, dependendo do nutriente e das características do sítio.

Algumas das características que podem contribuir para o aumento da eficiência de absorção e utilização de nutrientes são: adequada geometria e distribuição do sistema radicular; modificações químicas na rizosfera e exsudação de substâncias capazes de solubilizar nutrientes; presença de micorrizas; tolerância a condições de baixo pH ou aumento de teores de alumínio trocável, e taxa de absorção mais rápida em condições de baixas concentrações de nutrientes (CAMARGO et al., 2004).

1.6 A influência da densidade de plantio na produtividade da floresta

O sucesso do empreendimento florestal depende, entre outros fatores, do adequado planejamento da implantação da floresta, sobretudo da escolha correta da espécie, do preparo do solo, do manejo e da colheita (MARTINS, 2009). Dentre os fatores mais importantes, deve-se considerar a escolha do espaçamento de plantio, que define a densidade populacional (MAGALHÃES et al., 2007). A densidade populacional influencia a qualidade da madeira, idade de corte, as práticas de manejo e os custos de produção.

A densidade populacional adequada deve considerar que após alguns anos de crescimento haverá um aumento da demanda por água, luz e nutrientes pelas plantas e espaço para o desenvolvimento da copa e das raízes (CHIES, 2005). Berger et al. (2002), testando o efeito de diferentes espaçamentos e da adubação sobre o crescimento de clones de eucalipto, confirmou a produção de indivíduos com diâmetros menores em espaçamentos menores, atribuindo esse resultado ao fato de haver maior competição por recursos nos plantios mais adensados.

A definição do espaçamento a ser utilizado deve considerar a finalidade do plantio, pois em espaçamentos mais amplos há maior produção de massa seca por árvore, devido ao maior desenvolvimento em diâmetro; enquanto, em espaçamentos menores ocorre maior produção de biomassa por área, atribuída ao maior número de indivíduos (SANTOS, 2011; OLIVEIRA NETO et al., 2003).

A densidade de plantio adequada será aquela que forneça a cada indivíduo o espaço suficiente para conseguir o máximo crescimento sem desperdício de área (FAO, 1960) aliado ao maior retorno econômico, considerando os custos com mudas, adubação e, sobretudo, colheita. A densidade de plantio adotada exerce influência tanto na produtividade quanto na qualidade da madeira (MELLO et al., 1971; SHIMOYAMA; BARRICHELO, 1989).

Florestas com fins energéticos são caracterizadas pela alta densidade de plantio e pequeno diâmetro das árvores (COUTO e MÜLLER, 2008). O adensamento procura reduzir o ciclo de corte da cultura, proporcionando ganhos de produtividade e tempo, além de reduzir custos com o manejo florestal (GUERRA et al., 2012). No entanto, florestas altamente produtivas e adensadas, com rápido ritmo de crescimento, certamente exportam maior quantidade de nutrientes do solo (BALLONI; SIMÕES, 1980), o que leva a questionamentos sobre a sustentabilidade da produção e viabilidade econômica, devido aos maiores custos, principalmente com fertilizantes e colheita.

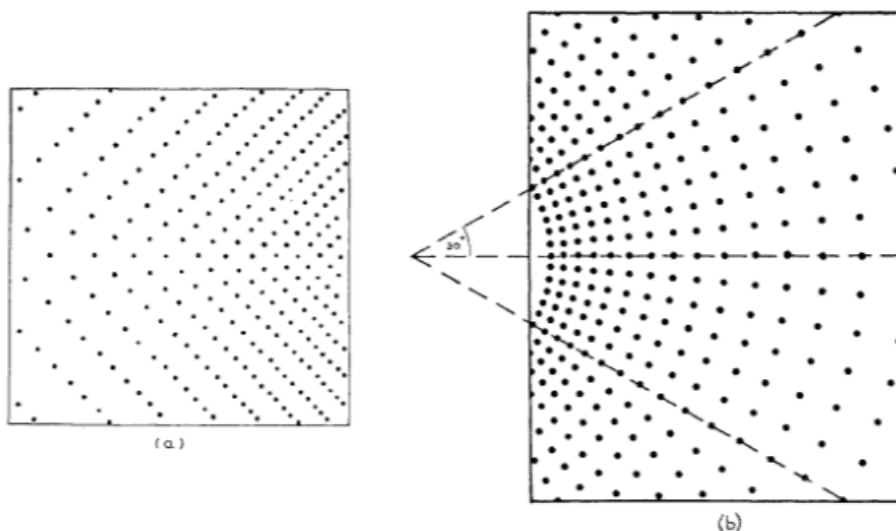
1.7 Delineamentos sistemáticos

Experimentos que testem espaçamentos ou densidade populacionais em delineamento convencional são relativamente escassos, pois requerem altos custos com implantação e manutenção. Neste sentido, Nelder (1962) propôs métodos chamados sistemáticos, que possibilitam testar várias densidades populacionais em área limitada. Os delineamento sistemáticos tem as seguintes propriedades:

- i) A disposição de cada quatro plantas apresenta forma aproximadamente retangular.
- ii) As linhas que definem a forma do experimento podem ser retas ou em arcos.
- iii) Os contornos das áreas dos tratamentos também podem ser retos ou em arcos.

O delineamento com espaçamento sistemático consiste em uma grade de pontos, onde cada ponto representa uma planta e a área por planta muda de forma consistente de uma parte outra da grade. Nesta pesquisa, utilizamos uma adaptação de delineamento sistemático semelhante ao ilustrado na Figura 2.

Figura 2. Ilustração de dois tipos de delineamentos sistemáticos.



Fonte: Nelder (1962).

Stape e Binkley (2010) avaliaram a eficácia de delineamentos sistemáticos em detrimento de delineamentos convencionais para obtenção de dados experimentais e concluíram que as respostas são similares independente do delineamento. Ou seja, o delineamento de Nelder sai na frente pela simplicidade e pelo fato de pequenas áreas fornecerem informações valiosas para decisões básicas sobre o espaçamento para plantações operacionais, particularmente quando a silvicultura se estende para novas áreas geográficas, novos genótipos e novas técnicas silviculturais.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o efeito de diferentes densidades populacionais sobre a produção e alocação de biomassa e a eficiência nutricional de um clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, aos 36 meses de idade, na região litorânea do RN.

2.2 Específicos

- Avaliar a produção de biomassa de eucalipto estabelecido em diferentes densidades de plantio;
- Avaliar a distribuição de biomassa nos componentes folhas, galhos, casca e lenho das árvores submetidas a diferentes densidades de plantio;
- Quantificar a extração de macronutrientes pelas plantas em função das diferentes densidades populacionais.

- Identificar as densidades populacionais que apresentaram maior eficiência nutricional e elencar possíveis razões;

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O trabalho foi conduzido na Área de Experimentação Florestal da Escola Agrícola de Jundiá – Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias (UAECIA), da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Campus Macaíba – RN.

O solo da área é um Latossolo Amarelo, de textura arenosa e apresenta topografia plana (BELTRÃO et al., 1975). A temperatura média anual é de 27° C, variando de 21 a 32° C. O clima da região é caracterizado como sub-úmido (IDEMA, 2002).

3.2 O projeto TECHS

O referido trabalho compõe a rede experimental internacional (36 sítios implantados em todas as regiões do Brasil e até no Uruguai) do TECHS (Tolerance of *Eucalyptus* Clones to Hydric and Thermal Stresses) uma parceria entre empresas do setor florestal e o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF). O TECHS tem como objetivo determinar como distintos materiais genéticos de *Eucalyptus* (18 clones) têm suas produtividades moduladas pelos estresses hídrico (natural e induzido), térmico (altas e baixas temperaturas), biótico (pragas e doenças) e espaçamento de plantio, quando suas demandas nutricionais estão atendidas (STAPE, 2014).

Em 2013, a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) passou a fazer parte da rede experimental “TECHS” com a implantação do sítio experimental “35” (TECHS_UFRN), instalado na Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias (UAECIA) da Escola Agrícola de Jundiá (EAJ), campus de Macaíba/RN.

O TECHS_UFRN foi composto por 10 clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes espaçamentos. Dentre esses clones escolheu-se um clone híbrido interespecífico (híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) para a avaliação do efeito das diferentes densidades populacionais. O clone escolhido foi um dos que mais se destacou no experimento TECHS_UFRN, mostrando boa capacidade de adaptação às condições edafoclimáticas da região e bons resultados de DAP e de altura.

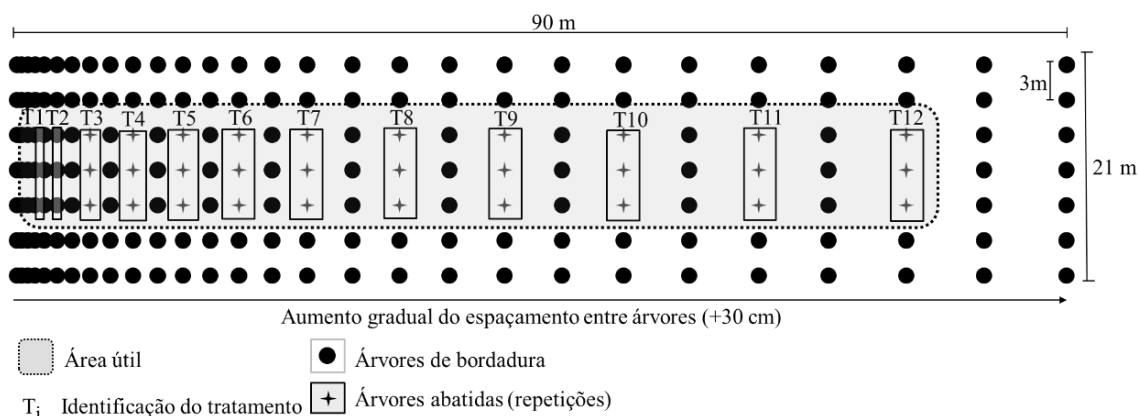
3.3 Preparação da área e tratos silviculturais

Para o preparo do solo foram realizadas duas gradagens cruzadas. Houve distribuição de calcário, na dosagem de 2.000 kg ha^{-1} . Posteriormente, foi realizado sulcamento na linha de plantio com adubação de 350 kg ha^{-1} de N-P-K (06-36-06). Após a adubação de fundação realizou-se o plantio das mudas. Realizou-se a adubação de cobertura em coveta lateral com $100 \text{ g planta}^{-1}$ (06-36-06) e a de manutenção a lanço, na projeção da copa, 400 kg ha^{-1} de N-P-K (14-36-14). No mesmo período, aplicou-se 150 kg ha^{-1} de micronutrientes FTEBR12. Em toda área garantiu-se que não houvesse presença de plantas indesejáveis, com a aplicação de herbicida.

3.4 Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi o “sistemático com fator quantitativo contínuo”, adaptação do proposto por Nelder (1962). Consistiu no plantio das árvores linearmente, com um aumento gradual no espaço entre as árvores, mantendo distância nas entrelinhas constante de 3 m (Figura 3).

Figura 3. Croqui do experimento.



A parcela em estudo continha sete linhas de 27 árvores clonais do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, totalizando de 189 árvores. Foram consideradas úteis somente as três linhas centrais, sendo desconsideradas duas linhas de cada lateral (bordadura). Assim, a parcela útil constituía-se de três linhas (repetições) de 24 plantas cada, localizadas na parte central do plantio, contendo 24 tratamentos dispostos de forma sistemática, dos quais 12 foram avaliados para estimativa de biomassa e 10 foram avaliados para estimativas de nutrientes (foram excluídos os dois tratamentos mais adensados devido a elevada variação). Os tratamentos avaliados foram as densidades de plantio (árvores ha^{-1}) e os resultados foram avaliados a partir da área disponível por planta em m^2 (Tabela 2).

Tabela 2. Tratamentos avaliados no experimento.

Tratamentos	Densidade de plantio (árvores ha ⁻¹)	Área por planta (m ²)	Distância nas linhas (entre plantas) *
T1	13.333	0,8	0,25; 0,25
T2	4.762	2,1	0,55; 0,85
T3	2.564	3,9	1,15; 1,45
T4	1.754	5,7	1,75; 2,05
T5	1.333	7,5	2,35; 2,65
T6	1.075	9,3	2,95; 3,25
T7	901	11,1	3,55; 3,85
T8	775	12,9	4,15; 4,45
T9	680	14,7	4,75; 5,05
T10	606	16,5	5,35; 5,65
T11	546	18,3	5,95; 6,25
T12	498	20,1	6,55; 6,85

*Espaçamento constante de 3 m entrelinhas.

3.5 Coleta de dados

Na área experimental haviam quatro parcelas iguais, das quais, para este estudo escolheu-se a parcela que não apresentou mortalidade, de forma a facilitar a interpretação dos resultados. As árvores foram avaliadas aos 36 meses de idade. Os dados de massa fresca foram obtidos em campo, utilizando-se o método destrutivo de quantificação. A amostragem de plantas para o estudo foi realizada de forma sistemática. Selecionou-se três árvores de tratamentos alternados da parcela útil, sendo abatidas três plantas de cada tratamento avaliado. Assim, foram avaliadas 12 plantas por linha da parcela útil, totalizando 36 plantas abatidas.

Após o abate, os componentes das árvores foram separados e pesados para determinação da massa úmida. A massa total dos componentes foi obtida, em campo, diretamente em uma balança com capacidade para 150 kg. Depois da pesagem foram retiradas amostras de aproximadamente 300 g de cada componente, que foram colocadas em sacos de papel devidamente identificados, e levadas para o laboratório. As amostras de madeira foram de discos retirados de diferentes distâncias da base (0%; 25% 50%; 75% e 100%). Após a secagem em estufa de renovação e circulação de ar, a 65°C, até chegarem a peso constante, foi determinada a massa seca das amostras.

A partir da massa seca das amostras, determinou-se a massa seca para cada um dos componentes da árvore e a biomassa total da parte aérea, por árvore, por tratamento. A determinação da biomassa por hectare, total e de cada um dos componentes foi obtida pela

multiplicação da biomassa média das árvores abatidas por tratamento, pelo número de árvores por hectare, em cada densidade populacional.

Após a determinação da massa seca, todas as amostras de tecido vegetal foram moídas em um moinho tipo Wiley com peneira de 20 *mesh*. O material fino obtido dos diferentes componentes foi levado para a Universidade Federal de Viçosa, onde foi utilizado para determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S. Os teores de P e S foram obtidos por colorimetria; K por fotometria de chama; Ca e Mg por espectrofotometria de absorção, e N total pelo método Kjeldahl.

Com os dados dos teores de nutrientes e da massa seca de folhas, galhos, casca e lenho obteve-se o conteúdo:

$$\text{CONTEÚDO} = \text{teor (kg/kg)} \times \text{Biomassa (kg/ha)}$$

Para estimar a eficiência nutricional ou coeficiente de utilização biológico (CUB) para os diferentes componentes aéreos das árvores foi utilizada a fórmula proposta por Barros et al. (1986), em que:

$$\text{CUB} = \frac{\text{Massa seca do componente (kg/ha)}}{\text{Conteúdo do nutriente no componente (kg/ha)}}$$

3.6 Análise estatística

Realizou-se análise de variância dos dados ($p = 0,05$) e ajuste de equações de regressão utilizando-se os softwares Microsoft Excel e Assistat (SILVA; AZEVEDO, 2016). Foram ajustadas equações relacionando o teor, conteúdo e eficiência no uso de cada nutriente (CUB) para os componentes folhas, galhos, casca e lenho, em função da área vital. Foram testadas funções lineares, quadráticas, exponenciais e logarítmicas, sendo selecionada a que apresentou melhor ajuste e maior coeficiente de determinação.

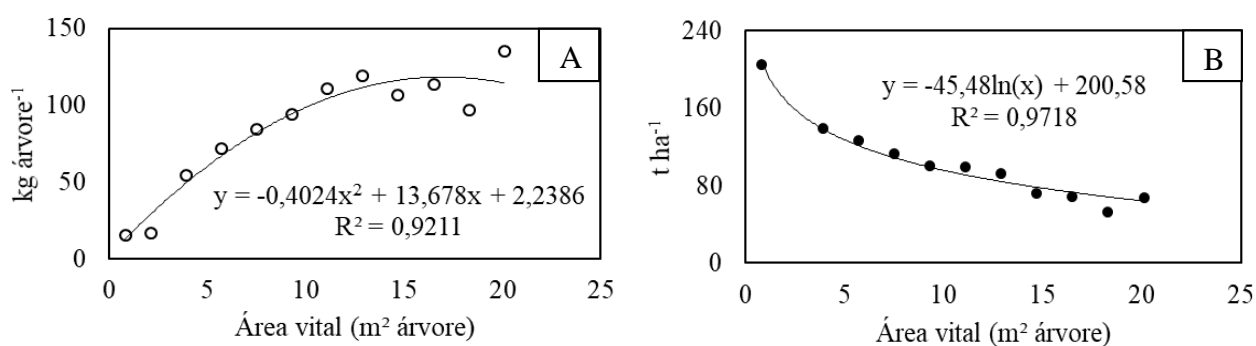
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produção de biomassa total

A produção de biomassa aos 36 meses de idade foi influenciada pelas diferentes densidades de populacionais (Figura 4). Foi observado comportamento quadrático da biomassa por planta em função da área vital (Figura 4A), no entanto, sabe-se que não deverá ocorrer redução da produção de biomassa a partir de determinado ponto. O que se espera é que ocorra estabilização dessa

produção mesmo com aumento da área vital, ou seja, a tendência seria logarítmica, mas a distribuição dos dados obtidos nos tratamentos avaliados nesta idade ainda não permitiu a obtenção da tendência esperada. O ponto de máxima produção de biomassa individual ($118,47 \text{ kg planta}^{-1}$) ocorre ao se disponibilizar $17 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$, sendo que a partir desse ponto não ocorre incremento com a redução da densidade populacional, porque ainda não há competição evidente nestes tratamentos, na idade de 3 anos. São relatados valores de $15 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$ necessários para obtenção da maior produção por planta de *E. camaldulensis*, em Minas Gerais, aos 32 meses de idade (OLIVEIRA NETO et al., 2003).

Figura 4. Produção total de biomassa aérea das árvores do clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, aos 36 meses de idade, em função da área vital, na região litorânea do RN.



A produção de biomassa total por unidade de área decresceu com a redução da densidade populacional (Figura 4B). A área vital necessária para obter a maior produção de biomassa por área, aos 36 meses de idade, foi de $0,8 \text{ m}^2 \text{ planta}$ ($205,5 \text{ t ha}^{-1}$), visto que este é o ponto mínimo da equação. Em plantios menos adensados há um maior desenvolvimento da parte aérea, devido ao maior crescimento diamétrico dos indivíduos, já em plantios mais adensados ocorre maior produção de biomassa por unidade de área, em razão do maior número de indivíduos (SANTOS et al., 2017; GARCIA, 2010; OLIVEIRA NETO et al., 2003).

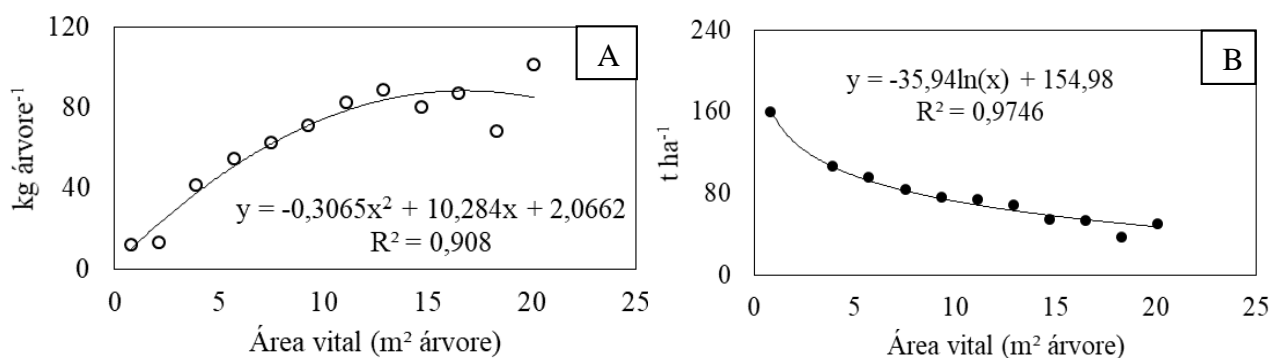
Os tratamentos mais adensados apresentaram elevado coeficiente de variação, chegando a 87% no adensamento extremo, tendendo a estabilização em valores abaixo de 28% a partir de $3,9 \text{ m}^2 \text{ árvore}^{-1}$. O aumento na relação do espaçamento entre linha e entre plantas favorece a diminuição da uniformidade, aumenta as chances de competição e afeta a produtividade da floresta (STAPE et al., 2010). Além disso, a elevada competição interespecífica leva a uma desuniformidade no crescimento das árvores, devido ao aumento no número de indivíduos dominados, que são menos eficientes no uso dos recursos, do que os dominantes. De forma geral, um estande de plantas com

alta heterogeneidade, com indivíduos dominantes, pode causar efeitos negativos na produção final (STAPE et al., 2010; SOARES et al., 2016; BOURDIER et al., 2016).

4.2 Produção de biomassa do lenho

A produção de biomassa de lenho por indivíduo também apresentou resposta quadrática em função da área vital disponibilizada (Figura 5A), sendo que a maior produção de madeira por planta ($88,33 \text{ kg planta}^{-1}$) foi obtida na densidade de $598 \text{ plantas ha}^{-1}$ ($16,77 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$) devido ao menor número de indivíduos e conseqüentemente menor competição por recursos. A partir da densidade citada, a tendência é que não haja mais aumento da produção com aumento da área vital. E da mesma forma que a produção total, espera-se que com mais idade observe-se comportamento logarítmico, tendência atinente ao comportamento biológico natural.

Figura 5. Produção de biomassa de lenho das árvores do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, aos 36 meses de idade, em função da área vital, na região litorânea do RN.



De forma análoga à produção de biomassa total por área, a produção de biomassa de madeira por área apresentou como ponto máximo ($159,64 \text{ t ha}^{-1}$), o tratamento mais adensado ($0,8 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$), devido ao elevado número de indivíduos, apesar da baixa produção individual (Figura 5B).

Mesmo apresentando diâmetros menores e maior taxa de mortalidade, plantios mais adensados, por possuírem maior número de indivíduos por unidade de área, apresentam maior produção (SEREGHETTI, 2012). Outro estudo relatou que o menor espaçamento testado ($6 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$) resultou na maior produção por área, aos 32 meses de idade (OLIVEIRA NETO et al, 2003).

Os tratamentos que ofereceram menos que 3,9 m² planta⁻¹ apresentaram elevada heterogeneidade entre os indivíduos. Na maioria dos casos não são adotados plantios extremamente adensados devido a dificuldades operacionais e ao elevado nível de heterogeneidade e mortalidade das árvores estabelecidas nessas condições, além do elevado custo de implantação e manutenção do povoamento, sobretudo pelo alto custo com adubação (GARCIA, 2010) e colheita.

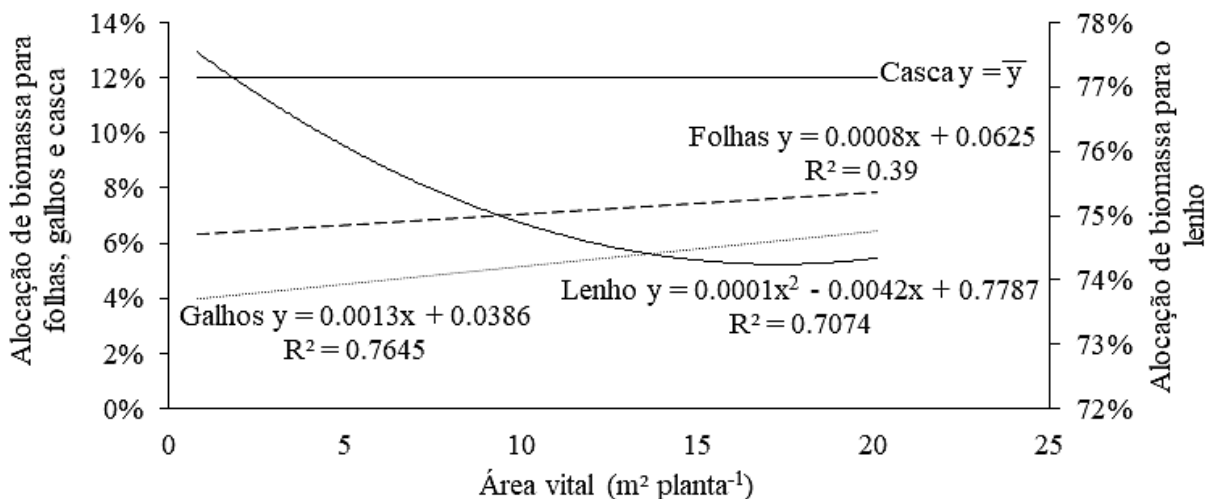
Neste sentido, para definir a densidade de plantas a adotar é necessário equilibrar os fatores produção de madeira e economicidade no uso de recursos, de forma a proporcionar a máxima produção, boa homogeneidade entre os indivíduos (HAKAMADA et al., 2015), estande de plantas que permita o bom trabalho das máquinas de manutenção e colheita, utilizando-se do menor número de mudas.

Além disso, deve-se considerar a finalidade do plantio. As árvores cultivadas em menores densidades geralmente são destinadas para fins de serraria e laminação, enquanto nos cultivos mais adensados, em que ocorre um incremento mais intenso, são utilizadas para fins energéticos, celulose ou mourões de cerca (SILVEIRA; REINER; SMANIOTTO, 2014; PACHECO et al., 2015).

4.3 Alocação de biomassa

A distribuição de biomassa nos componentes da parte aérea das árvores do clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* foi alterada com as diferentes densidades de plantio em Macaíba-RN, aos 36 meses de idade. A proporção de folhas e galhos tendeu a aumentar de 6 para 8% e de 4 para 6%, respectivamente, com o aumento da área útil; em contraposição, a contribuição do lenho reduziu de 77 para 73% (Figura 6). A proporção de casca não foi modificada com a alteração da densidade populacional.

Figura 6. Distribuição relativa da biomassa entre os componentes da parte aérea das árvores do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, aos 36 meses de idade, na região litorânea do RN.



A alocação de biomassa pode variar com a espécie, com a idade, competição por recursos, qualidade do sítio, entre outros fatores (GONÇALVES & MELLO, 2004). Ao se oferecer grande área útil por planta pode ocorrer a alocação de biomassa para componentes não comercializáveis da árvore (OLIVEIRA NETO et al., 2003).

Alta densidade populacional pode favorecer o acúmulo de biomassa na madeira, quando o solo não apresentar baixa fertilidade, pois, neste caso, aconteceria um estímulo a produção de raízes como estratégia da planta para aumentar a absorção de nutrientes (OLIVEIRA NETO et al., 2003), enquanto plantios com baixo número de indivíduos podem acarretar em aumento na proporção de folhas e galhos, devido a menor concorrência nas copas das árvores menos adensadas (OGURI, 2012).

A maior porcentagem de madeira nos plantios mais adensados ocorre provavelmente devido as árvores em alto nível de competição apresentarem uma aceleração no ritmo de crescimento, chegando à idade adulta mais cedo, o que possibilita a redução do ciclo de corte do plantio (GARCIA, 2010; GUERRA et al., 2012; SARTÓRIO, 2014).

Da biomassa aérea total das árvores foram alocados em média 75% no lenho, 12% na casca, 7% nas folhas e 5% nos galhos. A biomassa da parte aérea representa a maior parte da biomassa total da árvore, sendo a contribuição do tronco (casca + lenho) de 73,7 %, dos galhos, 23% e das folhas, 4% (KUYAH et al., 2013).

4.4 Teor de nutrientes

Na Figura 7 são apresentados os teores de macronutrientes N, P, K, Ca, Mg, S nos componentes da biomassa aérea (folhas, galhos, casca e lenho) do clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* submetido a diferentes densidades populacionais, na região litorânea do Rio Grande do Norte. Os teores de todos os macronutrientes foram afetados pela densidade populacional, pelo menos em um dos componentes da árvore.

Observa-se que com o aumento da área disponível por planta e redução da densidade populacional houve aumento linear do teor de N nos galhos e lenho, sendo que no tratamento menos adensado o teor de N foi 16% e 21% maior, respectivamente nos galhos e no lenho (Figura 7A). O motivo do aumento provavelmente é a maior disponibilidade do nutriente nas menores densidades populacionais. Esse resultado difere do encontrado por Leite et al. (2011) que afirma não ter havido efeito da densidade populacional sobre o teor de nutrientes, com exceção de K e Mg.

O teor de P nas folhas e no lenho apresentou comportamento quadrático em função da densidade de plantio (Figura 7B). Stahl et. al. (2013) também observou comportamento quadrático no P acumulado na massa seca da parte aérea de clones de eucalipto, malgrado na fase de muda e em função de diferentes doses de fósforo. A densidade de plantas não modificou o teor de P nos galhos e na casca.

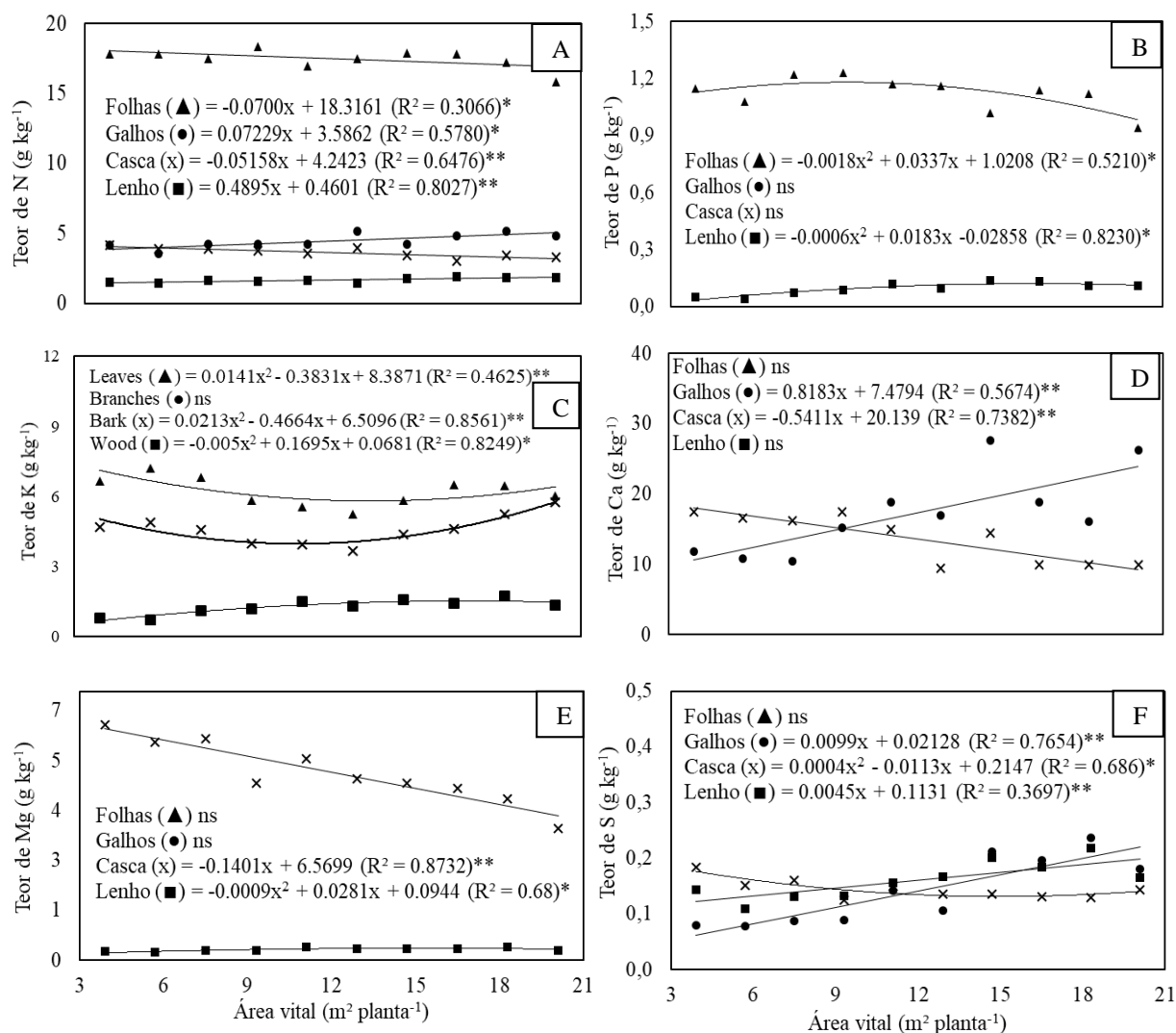
Foi observado comportamento quadrático do teor de K nas folhas, casca e lenho em função da densidade de plantio (Figura 7C). Leite et al. (2011) também afirmou haver efeito da densidade populacional sobre o teor de K nas árvores de *E. grandis*, com idade de 2,5 e 4,5 anos de idade.

A densidade de plantas afetou de maneira linear o teor de Ca nos tecidos da casca e dos galhos (Figura 7D). Constatou-se redução de 43% no teor de Ca na casca e aumento de 122% no teor de Ca nos galhos, com a diminuição da maior densidade para a menor densidade populacional testada. Hernandez et al. (2009) confirma haver efeito da densidade de plantio sobre os teores nos componentes das árvores. O teor de Ca nas folhas e no lenho não sofreu influência da densidade de plantas, certamente devido à baixa representatividade do teor de Ca no lenho com relação as outras partes da árvore. No lenho só estão 8% do total de Ca presente na parte aérea da planta, e representa somente 5% do total de macronutrientes deste componente.

O teor de Mg na casca reduziu linearmente com a diminuição da densidade de plantas, sendo 44% menor no tratamento menos adensado (Figura 7E). Ademais, houve efeito da densidade de plantio sobre o teor de Mg no lenho, sendo o comportamento quadrático. Leite et al. (2011)

também registrou efeito da densidade de plantio sobre o teor de Mg em plantas de eucalipto. Os componentes folhas e galhos não foram afetados pelos tratamentos.

Figura 7. Teores de macronutrientes nos componentes arbóreos do clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* submetido a diferentes densidades populacionais, na região litorânea do RN.



(*) = significativo a 5% de probabilidade; (**) = significativo a 1% de probabilidade; ns = não significativo.

Foi constatado aumento linear do teor de S nos galhos e no lenho com o aumento da área vital, ou seja, com a redução da densidade de plantas (Figura 7F). Isso ocorre, provavelmente pela menor disponibilidade do nutriente nas elevadas densidades, decorrente da competição interespecífica. O aumento chegou a 126% para os galhos e 15% para o lenho. O teor de S na casca apresentou comportamento quadrático com tendência a reduzir com a diminuição da densidade de plantas, e nas folhas não houve efeito.

4.5 Conteúdo de nutrientes

De maneira geral, o conteúdo dos macronutrientes foi significativamente afetado pela densidade de plantas, geralmente sendo maior nos tratamentos mais adensados (Figura 8). Isso se justifica pelo fato de o conteúdo tratar da quantidade dos nutrientes que foi imobilizada pela população contida em determinada área. Ou seja, espera-se que, com o adensamento, haja maior extração dos nutrientes devido a maior quantidade de indivíduos por unidade de área.

O conteúdo de N, nas folhas, na casca e no lenho reduziu linearmente, respectivamente 53%, 65% e 43% com a diminuição da densidade populacional da maior para a menor densidade avaliada, enquanto nos galhos não houve efeito (Figura 8A).

O conteúdo de P dos tratamentos foi maior na casca (14 kg ha^{-1}), seguido pelas folhas (11 kg ha^{-1}), e em ambos, com a menor densidade de plantas houve redução linear que chegou a 57% para as folhas e 54% para a casca (Figura 8B) quando comparado à maior densidade. Já nos galhos e no lenho o efeito da densidade populacional sobre o conteúdo de P foi mais fraco (baixos valores de R^2), e apresentou comportamento quadrático.

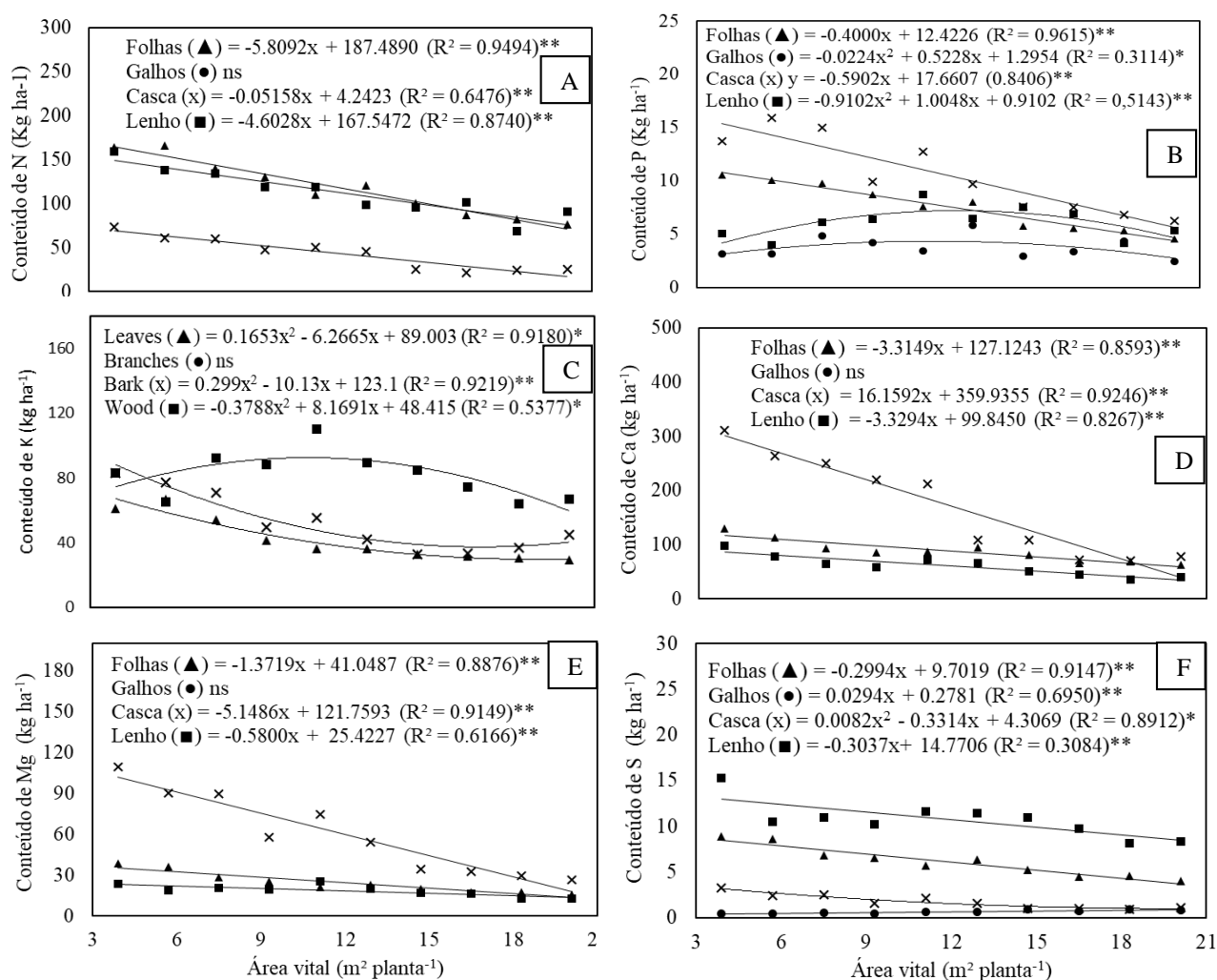
O conteúdo de K nas folhas e na casca tendeu a reduzir quadraticamente com a diminuição da densidade de plantas até $680 \text{ árvores ha}^{-1}$, praticamente estabilizando a partir deste ponto (Figura 8C). Essa redução foi de chegou a 53% para folhas e 40% para a casca. O conteúdo de K no lenho somente começa a reduzir no tratamento que contém $775 \text{ árvores ha}^{-1}$, de onde a tendência é continuar reduzindo conforme diminui-se a densidade populacional, redução essa que pode chegar a mais de 20%. Leite et al. (2011) constatou que na idade de 6,75 anos as quantidades exportadas P e K variariam de acordo com a densidade populacional.

Na Figura 8D observa-se que o conteúdo de Ca na casca foi muito afetado pela quantidade de árvores por área, reduzindo linearmente de 312 kg ha^{-1} para 78 kg ha^{-1} , do tratamento mais adensado ao menos adensado, o que representa uma redução de 75% na quantidade de Ca imobilizado por unidade de área. Os componentes folhas e lenho também foram afetados pela densidade de plantio, reduzindo respectivamente 52% e 60% com a diminuição da densidade de plantas.

O comportamento do Mg foi muito semelhante ao do Ca (Figura 8E). O comportamento linear observado em ambos os nutrientes em função da densidade de plantio está de acordo com Leite et al. (2011). O mesmo autor observou que para N, Ca e Mg acumulados no tronco não havia

nenhuma tendência clara em função de densidades populacionais distintas. Essa informação mostra que a modificação da densidade populacional não alteraria a quantidade desses nutrientes exportados do sítio se o tronco fosse colhido na idade de 6,75 anos. O conteúdo de S tendeu a reduzir com a diminuição da densidade de plantas, linearmente para folhas (55%) e lenho (46%) e quadraticamente para a casca (66%) (Figura 8F).

Figura 8. Conteúdo de macronutrientes nos componentes da parte aérea do clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* submetido a diferentes densidades populacionais, na região litorânea do RN.



(*) = significativo a 5% de probabilidade; (**) = significativo a 1% de probabilidade; ns = não significativo.

4.6 Eficiência nutricional

A densidade de plantio afetou a eficiência nutricional pelo menos em dois componentes das árvores para cada macronutriente (Figura 9). O componente lenho foi o que apresentou, de maneira geral, os maiores valores de eficiência nutricional, independente dos tratamentos. Isso significa que o lenho foi o componente que usou menor quantidade de nutrientes para cada unidade de biomassa que produziu.

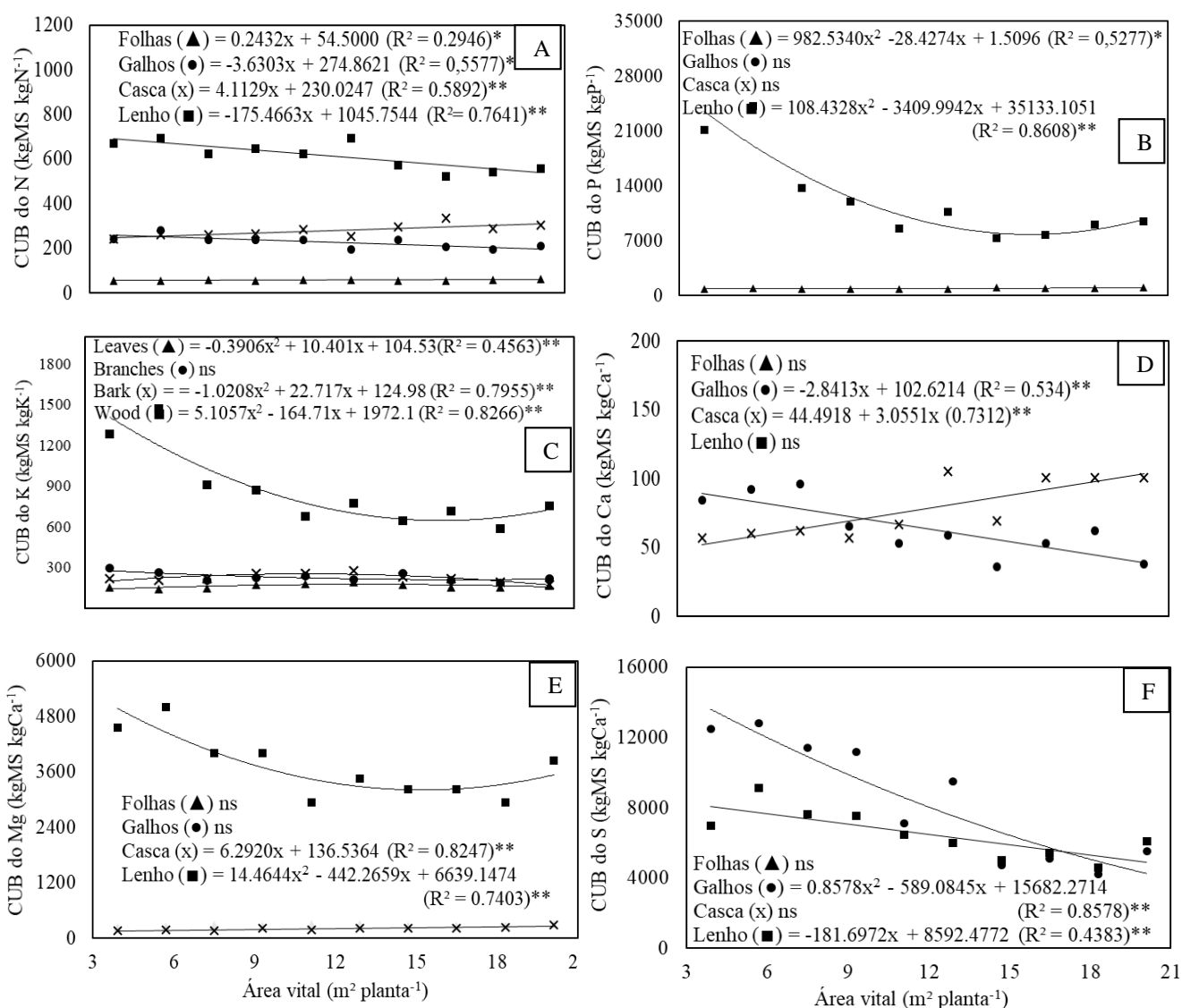
A eficiência na utilização do N para a produção de galhos e lenho reduziu de maneira linear, chegando essa redução a até 14% e 17%, respectivamente, com a diminuição da densidade de plantas (Figura 9A). O contrário ocorreu para folhas e casca. Isso indica que em condições de alta competição interespecífica ou baixos níveis do nutriente, a planta precisa aumentar a eficiência no uso do nutriente na produção de lenho, já que em condições adversas pode ocorrer redução do ciclo devido as árvores tenderem a idade adulta mais cedo, de forma que há maior alocação de biomassa para o lenho, em detrimento dos outros componentes, como as folhas, por exemplo (GUERRA et al., 2012). Esse resultado difere do obtido por Shujauddin & Kumar (2003), que registraram maior eficiência nutricional de N e K nas menores densidades populacionais de *Ailanthus triphysa*. No entanto, os próprios autores afirmam que esse resultado contrariou as expectativas. Lafetá (2014) estimou comportamento quadrático da eficiência do N para produção de casca e redução linear para produção do lenho, com o aumento do espaçamento.

Para o nutriente P somente houve efeito da densidade de plantio sobre a eficiência nutricional para a produção do lenho e tenuemente para a produção de folhas (Figura 9B). A eficiência no uso do P para produção de lenho reduziu quadraticamente da maior população até a população de 680 árvores ha⁻¹, tendendo a se manter praticamente estável a partir deste ponto. Shujauddin & Kumar (2003), em acordo, observaram maior eficiência nutricional do P na maior densidade populacional, atribuindo o fato à limitação dos recursos no solo, atinente ao ambiente competitivo. No caso do P a limitação do recurso água pode reduzir drasticamente a absorção do nutriente, visto que o mesmo é absorvido por difusão, um processo completamente dependente de níveis ótimos de umidade no solo.

A eficiência na utilização do K para a produção de biomassa de todos os componentes das árvores foi afetada pela densidade de plantio (Figura 9C), sendo o efeito mais visível no lenho, apresentando neste componente comportamento análogo ao apresentado para o nutriente P. Como

nas maiores densidades ocorre maior competição, há uma provável restrição na quantidade do nutriente disponível. Silva et al., (2002) constatou que a eficiência de utilização do K reduziu com o aumento na disponibilidade do nutriente. O autor justifica que o aumento da concentração do nutriente no solo causa maior absorção deste pela planta, e quando essa absorção é maior que a taxa de crescimento ocorre redução na eficiência nutricional.

Figura 9. Coeficiente de utilização biológica (CUB) de macronutrientes nos componentes arbóreos do clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* submetido a diferentes densidades populacionais, na região litorânea do RN.



(*) = significativo a 5% de probabilidade; (**) = significativo a 1% de probabilidade; ns = não significativo.

A redução na densidade de plantas por unidade de área levou ao aumento na eficiência do Ca e do Mg para a produção de casca e redução na eficiência do Ca para a produção de galhos (Figuras 9D e 9E). A eficiência do Mg na produção do lenho reduziu de maneira semelhante ao P e K, com o aumento da área disponibilizada por planta, ou seja, com a redução da densidade populacional. Os componentes que não foram citados não tiveram a eficiência nutricional afetada pela densidade de plantio. Lafeté (2014) registrou aumento quadrático da eficiência nutricional de Ca e Mg para produção de casca e lenho.

A eficiência de uso do S para galhos e lenho tendeu a reduzir com a diminuição da densidade populacional (Figura 9F). Essa redução chegou a 53% para os galhos e 13% para o lenho. Nas suas estimativas, Lafeté (2014) também constatou redução da eficiência de utilização do S para produção do lenho, com a redução da densidade populacional.

5 CONCLUSÃO

A redução na densidade de plantio é responsável por um aumento da biomassa aérea total e do lenho, por hectare. De maneira geral, a diminuição da densidade de plantas leva a um aumento no teor de alguns macronutrientes, principalmente na casca. A redução populacional resulta também em redução no conteúdo de nutrientes extraído e em redução da eficiência nutricional do povoamento, o que está diretamente relacionado ao aumento do teor dos nutrientes nos tecidos das plantas quando é disponibilizado mais espaço para seu crescimento e desenvolvimento.

Apesar de os tratamentos mais adensados apresentarem maior eficiência nutricional, é necessário considerar o fator econômico como imprescindível na definição da melhor densidade populacional a adotar, pois, além dos custos com adubação, precisa-se considerar também os custos na obtenção das mudas, e, sobretudo, a viabilidade econômica e operacional da colheita. Desta forma, recomenda-se a realização de pesquisas com enfoque na viabilidade econômica das diferentes densidades populacionais.

Considerando que neste trabalho somente foi avaliada a parte aérea das árvores, e sabe-se que a parte radicular representa considerável proporção da biomassa total, levanta-se aqui a importância da contribuição de futuras pesquisas semelhantes, no entanto, que incluam a parte radicular, de forma a auxiliar na construção de respostas para os fenômenos fisiológicos que ocorrem ao se estabelecer as plantas em diferentes condições de competição por recursos, testadas através das diferentes densidades populacionais.

6 LITERATURA CITADA

- 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. Tese (Doutorado em Processamento e Utilização da Madeira) – UFLA, Lavras.
- BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **IPEF - Série Técnica.** Piracicaba, v. 1, n. 3, p. 1 – 16, 1980.
- BARROS, N. F. Classificação nutricional de sítios florestais: descrição de uma metodologia. **Revista Árvore,** Viçosa, MG, v. 10, n. 2, p. 112-120, 1986.
- BARROS, N. F. et al. Sistema para cálculo del balance nutricional y recomendación de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. **Bosque,** Valdivia, v.16, p.129-131, 1995.
- BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto IN: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal.** Piracicaba: Instituto de Pesquisas Florestais, 2005. p.135-165.
- BELLOTE A.F.J., DEDECEK R.A., SILVA H.D. Nutrientes minerais, biomassa e deposição de serapilheira em plantio de *Eucalyptus* com diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira,** v. 56, p. 31-41, 2008.
- BELTRÃO, V. A.; FREIRE, L.C.M.; SANTOS, M.F. **Levantamento Semidetalhado da Área do Colégio Agrícola de Jundiá – Macaíba/RN.** Recife: SUDENE – Recursos de Solos, Divisão de Reprodução, 1975. 92p.
- BERGER, R. et al. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Revista Ciência Florestal,** Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 75-87, 2002.
- BOURDIER, T. et al. Tree Size Inequality Reduces Forest Productivity: An Analysis Combining Inventory Data for Ten European Species and a Light Competition Model. **Plos One,** [s.l.], v. 11, n. 3, p.1-14, 2016. <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151852>>
- BROUWER, R. Distribution of dry matter in the plant. **Netherlands Journal of Agricultural Science,** v.10, p.361-376, 1962.
- BÜNDCHEN, M. et al. Status nutricional e eficiência no uso de nutrientes em espécies arbóreas da floresta subtropical no sul do Brasil. **Scientia Forestalis,** Piracicaba, v. 41, n. 98, p.227-236, 2013.
- CAMARGO, M. L. P. et al, Considerações sobre eficiência nutricional em *Eucalyptus*. **Cientifica,** São Paulo, v. 32, n. 2, p. 191-196, 2004.
- CHAPIN, F. S. The mineral nutrition of wild plants. **Annual Review of Ecology and Systematics,** Palo Alto, v.11, p.233-60,1980.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CIFLORESTAS: CENTRO DE INTELIGÊNCIA EM FLORESTAS. **Eucalipto**. Disponível em: <<http://www.ciflorestas.com.br/>> Acesso em: 2 Dezembro, 2015.

COUTO, L. et al. Produção e alocação de biomassa em um sistema agrissilvipastoril com eucalipto na região do cerrado de minas gerais. **Biomassa & Energia**, Viçosa-MG, v. 1, n. 4, p. 321-334, 2004.

COUTO, L.; MÜLLER, M.D. Florestas energéticas no Brasil. In: CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.S.; E.O. GÓMEZ (Eds). **Biomassa para energia**. São Paulo: UNICAMP, 2008. 736 p. Cap. 4, p. 93111.

DICK, G. et al. Micronutrients and biomass in *Eucalyptus dunnii* Maiden stand. **Revista Árvore**, [s.l.], v. 41, n. 1, p.1-7, 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1806-90882017000100013>.

EMBRAPA FLORESTAS. Plantio de Florestas de Rápido Crescimento para Madeira Nobre. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/16893/1/Eucalipto01_2003.pdf> Acesso em 13 de jun. de 2015.

FARIA, G. E. et al. Avaliação da produtividade, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes em genótipos de *Eucalyptus* spp. no vale do Jequitinhonha, MG. **Ciência Florestal**, [s.l.], v. 18, n. 3, p.363-373, 30 set. 2008. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/19805098448>

FERRI, M. G. **Fisiologia vegetal** 1. 2. ed. São Paulo: EPU, 1985. 362 p.

FREITAS, R.A. **Estudo da biomassa e do conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden plantado em solo sujeito a arenização, no município de Alegrete-RS.** 2000. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

GARCIA, E. A. **Caracterização física e química do solo e avaliação do desenvolvimento de plantas de eucalipto em função do espaçamento e da adubação, visando a colheita precoce para utilização em bioenergia.** 2010. xiii, 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, Botucatu, 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/88512>>.

GATTO, A. et al. Ciclagem e balanço de nutrientes no sistema solo-planta em um plantio de *Eucalyptus* sp., no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 38, n. 3, p.879-887, jun. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832014000300019>.

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. The root System of trees. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Forest Nutrition and fertilization**. Piracicaba, SP: IPEF, 2004. p. 223-267.

GUERRA, S. P. S. et al. Eucalipto adensado: manejo para florestas energéticas. In: LEMOS, E.G. de M.; STADIOTTO, N. R. **Bioenergia: Desenvolvimento, pesquisa e inovação**. São Paulo: Editora Cultura Acadêmica, 2012. p. 125-161.

GUIMARAES, C. C. et al. Biomassa e nutrientes em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden no Pampa Gaúcho. **Revista Árvore**, [s.l.], v. 39, n. 5, p.873-882, out. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000500010>.

HABITZREITER, T. L. **Produção de biomassa e exportação de nutrientes de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla***. 2016. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Doutorado em Agronomia (produção Vegetal), Campus Pato Branco, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016. Disponível em: <[http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1717/1/PB_PPGAG_M_Habitzreiter, Tiago Luis_2016.pdf](http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1717/1/PB_PPGAG_M_Habitzreiter_TiagoLuis_2016.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2017.

HAKAMADA, R. E. et al. Uniformidade entre árvores durante uma rotação e sua relação com a produtividade em *Eucalyptus* clonais. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 3, p. 465-472, 2015. <<http://dx.doi.org/10.1590/01047760201521031716>>

HERNÁNDEZ, J. et al. Nutrient export and harvest residue decomposition patterns of a *Eucalyptus dunnii* Maiden plantation in temperate climate of Uruguay. **Forest Ecology and Management**, v.258, n.2, p.92-99, 2009.

IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. **Perfil do Estado do Rio Grande do Norte**. IDEMA: Natal, 2002. 85 p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório 2017**. [s.l.]: Ibá, 2017. 80 p. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em: 12 mar, 2017.

KUYAH, S. et al. Allometry and partitioning of above- and Bellow-ground biomass in farmed *Eucalyptus* species dominant in Western Kenyan agricultural landscapes. **Biomass and Bioenergy**, United Kingdom, v. 55, n.1, p. 276-284, 2013. <<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.02.011>>

LACLAU, J. et al. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical *Eucalyptus* plantations: main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1771-1785, 2010.

LAFETÁ, B. O. **Eficiência nutricional, área foliar e produtividade de plantações de eucalipto em diferentes espaçamentos estimados com redes neurais artificiais**. 2012. 76f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, 2012.

LEITE, F. P. et al. Nutrient relations during an *Eucalyptus* cycle at different population densities. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 35, n. 35, p.949-959, abr. 2011.

MAGALHAES, W. M. et al. Desempenho Silvicultural de Clones e Espécies/Procedências de *Eucalyptus* na Região Noroeste de Minas Gerais. **Revista Cerne**, Lavras, V. 13, n 004, p. 368-375, 2007.

MARTINELLI, L. A. et al. Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais. SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, Rio De Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CURD, 1994, p. 197-221.

MARTINS, R. J.; SEIXAS, F.; STAPE, J. L. Avaliação técnica e econômica de um harvester trabalhando em diferentes condições de espaçamento e arranjo de plantio em povoamento de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n.83, p. 253-263, set. 2009.

MEDEIROS, W. N. et al. Crescimento inicial e concentração de nutrientes em clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* sob interferência de plantas daninhas. **Ciência Florestal**, [s.l.], v. 26, n. 1, p.147-157, 31 mar. 2016. <<http://dx.doi.org/10.5902/1980509821099>>

MELLO, H. A.; MASCARENHAS SOBRINHO, J.; SIMÕES, J. W. Influência do espaçamento na produção de madeira de eucalipto em solo de cerrado. **IPEF**, Piracicaba, v. 2/3, p. 3-30, 1971.

MULLER, I. B. SCHMID; J. WEINER. 2000. The effect of nutrient availability on biomass allocation patterns in 27 species of herbaceous plants. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, 3:115–127.

NELDER, J. A. New kinds of systematic designs for spacing experiments. **Biometrics**, Washington, DC, n. 18, p. 283-307, 1962.

OGURI, G. Correlação entre biomassa e nutrientes de galhos e folhas em um plantio adensado de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. 2012. iv, 35 f.: gráfs. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/90512>>.

OLIVEIRA NETO, S. N. DE et al. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 1523, 2003. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v27n1/15917.pdf>> 10 Jun. 2017.

PACHECO, J. M. et al. Efeito da densidade inicial no crescimento de *Pinus taeda* L. na região Centro Sul do Paraná. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p.353-365, jun. 2015. Disponível em <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr106/cap11.pdf>>

PARENTONI, S. N.; MENDES, F. F.; GUIMARÃES, L. J. M. Melhoramento para eficiência no uso de fósforo. In: FRITSCHENETO, R.; BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. p. 101-126.

PAULINO, E. J. **Influência do Espaçamento e da Idade na Produção de Biomassa e na Rotação Econômica em Plantios de Eucalipto**. 2012. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UfVJM, Diamantina - MG, 2012.

POGGIANI, F.M.; STAPE, J.L.; GONÇALVES, J.L.M. **Indicadores de sustentabilidade das plantações florestais**. Série Técnica IPEF, Piracicaba, v.12, n.31, p.33-44, abr. 1998

RAMOS, L.M.A. et al. Variação radial dos caracteres anatômicos da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden e idade de transição entre lenho juvenil e adulto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 411-418, dez. 2011.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Ed.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 265-301.

RIO GRANDE DO NORTE (ESTADO). Secretaria Extraordinária de Energia e Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SEDEC). **Balço energético do Estado do Rio Grande do Norte 2006: Ano Base 2005**. SEDEC: Natal, 2006. 103 p. (Série Informações Energéticas, 1).

ROCHA, M.P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunii* Maiden como fontes de matéria-prima para serrarias**. 2000. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ROSIM, C. C. **Eficiência de utilização de nutrientes em híbridos interespecíficos de eucalipto**. 2013. 51 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Agronomia (genética e Melhoramento de Plantas), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

ROSIM, C. C.; HSING, T. Y.; PAULA, R. C. Nutrient use efficiency in interspecific hybrids of eucalypt. **Revista Ciência Agronômica**, [s.l.], v. 47, n. 3, p.540-547, 2016. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20160065>.

RUSSO, R. O. **Mediciones de biomassa em sistemas agroflorestales**. Turrialba: CATIE, 1983. 27 p.

RYAN, M. G. et al. Factors controlling *Eucalyptus* productivity: How water availability and stand structure alter production and carbon allocation. **Forest Ecology and Management**. 259, 1695–1703, 2010. <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.01.013>>

SAIDELLES, F. L. F. et al. Determinação do ponto de amostragem para a quantificação de macronutrientes em *Acacia mearnsii* de Wild. **Floresta**, Curitiba, PR v. 40, n. 1, p. 49-62, 2010.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. et al.(Eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: [s.n.], 2002, p. 119-140.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 155-169, 1999.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. R. **Árvore**. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 6, n. 4, p.447-457, jun. 2002

SANTOS, M. D. DOS et al.. Avaliação da produção de biomassa do fuste de um clone híbrido de eucalipto sob diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal**, [s.l.], v. 27, n. 1, p.31-45, 31 mar. 2017. <<http://www.redalyc.org/pdf/534/53450420003.pdf>> 10 Jun. 2017.

SANTOS, M. D. **Efeito do espaçamento de plantio na biomassa do fuste de um clone híbrido interespecífico de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla***. 2011. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Florestais, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Unesp – Campus de Botucatu, Botucatu - SP, 2011.

SARTÓRIO, I. P. **Avaliação e modelagem do crescimento de florestas energéticas de eucalipto plantadas em diferentes densidades**. Dissertação Mestrado., 137 f. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2014.

SCARPINELLA, G.D. **Reflorestamento no Brasil e o protocolo de Quioto**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002.

SCHUMACHER, M. V. et al. Produção e decomposição de serapilheira em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* maidenii. **Cerne**, v. 19, n. 3, 501-508, 2013. DOI: 10.1590/S0104-77602013000300018.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N. Biomassa em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de pequenas propriedades rurais em Vera Cruz - RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria - RS, v. 21, n. 1, p. 17-22, jan./mar., 2011.

SEBRAE/RN. **Diagnóstico da Indústria Cerâmica Vermelha do Rio Grande do Norte**. Natal/RN: relatório final – Natal: Sebrae/RN, 2013

SEREGHETTI, G. C. **Biomassa inicial do híbrido *Eucalyptus urophylla* VS. *Eucalyptus grandis* em diferentes espaçamentos**. Dissertação Mestrado, 41 f. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 2012.

SHIMOYAMA, V. R. de S.; BARRICHELO, L. E. G. Densidade básica da madeira, melhoramento e manejo florestal. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 20, p. 1-22, ago. 1989.

SHUJAUDDIN, N., KUMAR, B. M. *Ailanthus triphysa* at different densities and fertiliser regimes in Kerala, India: growth, yield, nutrient use efficiency and nutrient export through harvest. **For Ecol Manag.** 2003; 180:135–151.

SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **Afr. J. Agric. Res**, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016. DOI: 10.5897/AJAR2016.11522

SILVA, H. M. et al. Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: initial growth and nutrient cycling. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p.67-78, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.033>>. Acesso em: 15 out. 2013.

SILVEIRA, E. R.; REINER, D. A.; SMANIOTTO, J. R. Efeito do espaçamento de plantio na produção de madeira e serapilheira de *Eucalyptus dunni* na região sudoeste do Paraná. **Revista**

Técnico-científica do CREA-PR, Pato Branco, v. 2, p.1-9, set. 2014. <<http://creaprw16.crea-pr.org.br/revista/Sistema/index.php/revista/article/view/41/28>> 10 Jun. 2017.

SOARES, A.A.V. et al. Increasing stand structural heterogeneity reduces productivity in Brazilian *Eucalyptus* monoclonal stands. **Forest Ecology and Management**. 373, 26–32, 2016. <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.04.035>>

SOARES, C.P.B.; NETO, F.P.S.; AGOSTINHO L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Editora UFV, 272 p. 2011.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Fatos e números do Brasil florestal**. São Paulo: SBS. 2010. 93 p.

STAPE, J L; BINKLEY, D. Insights from full-rotation Nelder spacing trials with *Eucalyptus* in São Paulo, Brazil. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, [s.l.], v. 72, n. 2, p.91-98, jun. 2010. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.2989/20702620.2010.507031>

STAPE, J. L. et al. The Brazil *Eucalyptus* Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1684–1694, abr. 2010.

STAPE, J. L. **Utilização de delineamento sistemático tipo leque no estudo de espaçamentos florestais**. 1995. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1995.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. *Eucalyptus* production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, n. 193, p. 17-31, 2004.

TURNER, J. & LAMBERT, M.J. Nutrient cycling in age sequences of two *Eucalyptus* plantation species. **For. Ecol. Manag.**, 255:1701-1712, 2008.

UNITED NATIONS. **World Population Prospects 2017**. 2017. Disponível em: <<https://esa.un.org/unpd/wpp/Graphs/Probabilistic/POP/TOT/>>. Acesso em: 08 mar. 2018.

VERÃO, D. S. et al. Concentração de nutrientes em *Eucalyptus urograndis* (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T Blake) com sete anos de idade na borda sul da Amazônia. **Biodiversidade**, S.l., v. 15, n. 3, p.35-44, 2016.

VIERA, M.; BONACINA, D. M. et al. Biomassa e nutrientes em povoamento de *Eucalyptus urograndis* na Serra do Sudeste-RS. **Semina: Ciências Agrárias**, [s.l.], v. 33, p.2481-2490, 20 dez. 2012. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33supl1p2481>.

WITSCHORECK, R.; SCHUMACHER, M. V. Alocação de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus saligna* SM. na região de Guaíba - Rio Grande do Sul. **Cerne**, [s.l.], v. 21, n. 4, p.625-632, dez. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201521041963>.

WOOD, T. E.; LAWRENCE, D.; WELLS, J. A. Interspecific Variation in Foliar Nutrients and Resorption of Nine Canopy-tree Species in a Secondary Neotropical Rain Forest. **Biotropica**, Washington, v. 43, n. 5, p. 544–551, 2011.