

MÔNICA DA SILVA PONTES

**PARAMETRIZAÇÃO DO MODELO 3-PG PARA TECA (*Tectona grandis L.f.*) E DOS
SISTEMAS FERTI-UFV E NUTRI-UFV PARA SUBSIDIAR O SEU MANEJO
NUTRICIONAL**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

P814p
2011

Pontes, Mônica da Silva, 1987-
Parametrização do modelo 3-PG para teca
(*Tectona grandis* L.f.) e dos sistemas FERTI-UFV e
NUTRI-UFV para subsidiar o seu manejo nutricional /
Mônica da Silva Pontes. – Viçosa, MG, 2011.
ix, 79f. : il. ; 29cm.

Orientador: Júlio César Lima Neves.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Fertilidade do solo. 2. Teca (Árvore) - Nutrição. 3. Teca
(Árvore) - Crescimento - Modelos matemáticos. 4. Plantas e
solo. 5. Modelo 3-PG. 6. Nutrientes. 7. Teca (Árvore) -
Populações. 8. Adubação. I. Universidade Federal de Viçosa.
II. Título.

CDD 22. ed. 361.42

MÔNICA DA SILVA PONTES

**PARAMETRIZAÇÃO DO MODELO 3-PG PARA TECA (*Tectona grandis L.f.*) E DOS
SISTEMAS FERTI-UFV E NUTRI-UFV PARA SUBSIDIAR O SEU MANEJO
NUTRICIONAL**

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

Aprovada: 26 de julho de 2011

Prof. Edson Márcio Mattiello

Prof. Lafayette Gonçalves Campelo Martins

Júlio César Lima Neves
Orientador

DEDICO

Aos meus amados pais, José Carlos e Maria Alice, pelo exemplo de luta, perseverança e pela confiança em mim durante todos esses anos.

Ao meu amor, Tarcísio, por sempre estar ao meu lado, pela paciência e por nunca me deixar desanimar nos momentos de dificuldade.

Aos meus queridos irmãos, sobrinhos e cunhadas.

A todos os meus familiares e amigos que me apoiaram e acreditaram em mim.

AGRADECIMENTOS

À *Deus* por estar sempre presente na minha vida, e tornar tudo possível.

À Universidade Federal de Viçosa - UFV, principalmente ao Departamento de Solos e ao Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro.

Ao professor Júlio César Lima Neves, pelos valiosos ensinamentos, pelo exemplo de simplicidade, pelo apoio, amizade e confiança durante esses anos.

A empresa Companhia do Vale do Araguaia (CVA), em especial ao Flávio Siqueira D'Avila, pela parceria na realização do trabalho.

Ao professor Hélio Garcia Leite, pelas valiosas contribuições que foram de grande importância para a concretização deste trabalho.

A todos os professores do Departamento de Solos, pelos conhecimentos a nós transmitidos.

Aos amigos de Viçosa e amigos de curso, por todos os momentos alegres, importantes para encarar todas as dificuldades encontradas pelo caminho, jamais me esquecerei de vocês e de sua importância para a conquista de mais esta etapa.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

BIOGRAFIA

MÔNICA DA SILVA PONTES, filha de José Carlos da Silva Pontes e Maria Alice da Silva Pontes, nasceu em Teixeiras – MG, no dia 01 de março de 1987.

Em Fevereiro de 2005, ingressou no curso de Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa colando grau em Janeiro de 2010.

Em Março de 2010 ingressou no curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Solos da UFV, defendendo a dissertação de mestrado no dia 26 de Julho de 2011.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	4
CAPÍTULO 1: PARAMETRIZAÇÃO DO MODELO 3-PG PARA PLANTIOS DE TECA NO ESTADO DO MATO GROSSO	5
1 - INTRODUÇÃO.....	9
2 - MATERIAL E MÉTODOS.....	13
2.1 - Calibração do 3-PG.....	17
2.2 - Universalidade das parametrizações do 3-PG	18
2.3 - Ajuste do modelo de distribuição diamétrica	18
2.3.1 - Ligação entre os modelos de distribuição diamétrica e o modelo 3-PG.....	20
3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
3.1 – Universalidade das Parametrizações.....	27
3.2 – Ajuste dos modelos de distribuição diamétrica.....	28
4 - CONCLUSÃO.....	34
5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
CAPÍTULO 2: SISTEMAS DE RECOMENDAÇÃO DE CORRETIVOS E FERTILIZANTES COM BASE EM BALANÇO NUTRICIONAL (FERTI-UFV TECA) E DE DIAGNOSE DO ESTADO NUTRICIONAL (NUTRI-UFV TECA) PARA A TECA	38
1 - INTRODUÇÃO.....	42
2 - MATERIAL E MÉTODOS.....	45
2.1 – FERTI-UFV TECA: Submodelo planta.....	45
2.2 – FERT-UFV TECA: Submodelo solo	48
2.3 – Obtenção de normas para uso no NUTRI-UFV TECA.....	48
3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
3.1 - FERT-UFV TECA - Submodelo Planta	50
3.1.1 – Exemplo do sistema	66
3.2 – Normas para uso no NUTRI-UFV TECA.....	67
4 – CONCLUSÃO	77
5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77

RESUMO

PONTES, Mônica da Silva, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2011. **Parametrização do modelo 3-PG para teca (*Tectona grandis L.f.*) e dos sistemas FERTI-UFV e NUTRI-UFV para subsidiar o seu manejo nutricional.** Orientador: Júlio César Lima Neves. Co-orientadores: Nairam Félix de Barros, Hélio Garcia Leite e Roberto de Aquino Leite.

A teca (*Tectona grandis L.f.*) é originária do sudoeste asiático, sendo cultivada no Mato Grosso com sucesso, visando à obtenção de madeira para serraria de ótima qualidade e de elevado valor no mercado internacional. O potencial produtivo de povoamentos de teca pode ser obtido por meio de modelagem baseada em processos e constitui-se em variável de entrada para sistema de recomendação de adubação baseado em balanço nutricional como, por exemplo, o FERTI-UFV TECA. As recomendações assim obtidas podem ser refinadas mediante o monitoramento do estado nutricional com base em análise de tecido foliar pelo uso do NUTRI-UFV TECA. Os objetivos deste trabalho foram: a) parametrizar e calibrar o modelo 3-PG para povoamentos de teca na região Centro-Sul do Mato Grosso; b) Avaliar o grau de universalidade das parametrizações do 3-PG em função do sítio florestal; c) Habilitar o 3-PG para estimar a produtividade, em povoamento de teca, manejados com desbaste; d) Aprimorar os sistemas FERTI-UFV TECA (submodelo Planta) e NUTRI-UFV TECA para a recomendação de fertilização e o monitoramento nutricional dessa cultura no Estado de Mato Grosso. Para tanto, o trabalho foi conduzido na região de Sto. Antônio do Leverger – MT, em plantios seminais pertencentes a empresa Companhia do Vale do Araguaia. Para povoamentos de cada idade avaliada (3, 4, 5, 6, 7, 8 e 11 anos) foram abatidas três árvores, classificadas, de acordo com DAP, em árvore inferior (árvore menor que a média menos uma unidade do desvio padrão), árvore média, e árvore superior (maior que a média mais uma unidade do desvio padrão). Essas árvores foram mensuradas quanto ao *dap* e altura, e separadas em seus componentes (folhas, galhos e tronco). Foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Mn, Cu e B nos componentes das árvores pelos métodos rotineiros e a área foliar específica. Para a parametrização do 3-PG, foram ajustadas equações alométricas para descrever a produção de biomassa em função do *dap*. O modelo de distribuição diamétrica (MDD) empregado utilizou a função densidade de probabilidade de Weibull ajustada pelo método da máxima verossimilhança. Os parâmetros β e γ desta função foram ajustados

para cada parcela em cada idade, e correlacionados com características do povoamento. Para a parametrização do FERTI-UFV TECA os teores dos nutrientes nos componentes da parte aérea foram utilizados para calcular as respectivas eficiências nutricionais (CUB), e para o NUTRI-UFV TECA foram obtidos as normas de teores (normas Kenworthy) e relações duais entre os teores (normas DRIS) com base nos resultados de análises foliares de teca em 10 municípios do Estado do Mato Grosso abrangendo, em conjunto, plantios de 1 a 11 anos. As normas obtidas foram estratificadas em classe I = árvores de até cinco anos e classe II = árvores com mais de cinco anos, sendo a população de referência, para cada classe, constituída das árvores que apresentaram crescimento maior que a média. O sistema NUTRI-UFV TECA após parametrizado foi utilizado para avaliar o estado nutricional de povoamentos em Sto. Antônio do Leverger. O 3-PG proporcionou boas estimativas para biomassa de “*stem*” (tronco + galhos), dap, altura, biomassa de folha e volume de lenho. Com o ajuste dos MDD, foi possível distribuir a biomassa de “*stem*” e a área basal estimada pelo 3-PG nas diferentes classes diamétricas e a partir daí foi simulado desbaste pela remoção de árvores das menores classes diamétricas. As estimativas de crescimento e produção obtidas neste trabalho diferem das estimativas obtidas pela parametrização desenvolvida por Behling, 2009, indicando a não universalidade das parametrizações do 3-PG para teca. Os teores de nutrientes variaram em função do crescimento em diâmetro, e essa variação foi dependente do compartimento da planta. Logo os valores de CUB, que é o inverso do teor, também variaram em função do dap. A produtividade potencial obtida com o modelo 3-PG, e os valores de CUB foram utilizados para estimar a demanda nutricional. No sistema NUTRI-UFV TECA as normas gerais diferiram estatisticamente das normas estratificadas por classe de idade. O modelo 3-PG adicionado do MDD proporcionou melhores estimativas de produtividade em povoamentos manejos com desbastes, devendo, contudo, ser parametrizado e calibrado para cada região de plantio da cultura. Os modelos obtidos para os valores de CUB em função da idade são úteis para aprimorar o sistema FERTI-UFV TECA. As normas de teores e relações entre teores foliares geradas neste trabalho são úteis ao aprimoramento do sistema NUTRI-UFV TECA, recomendando-se o uso de normas específicas por classe de idade.

ABSTRACT

PONTES, Mônica da Silva, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July de 2011. **Parameterization of 3-PG model for teak (*Tectona grandis* L.f.) and of FERTI-UFV and NUTRI-UFV systems to subsidize its nutritional management.** Orientador: Júlio César Lima Neves. Co-orientadores: Nairam Félix de Barros, Hélio Garcia Leite and Roberto de Aquino Leite.

Teak (*Tectona grandis* L.f.) is a tree species original from southwest Asia that have adapted well to the Brazilian climatic conditions, especially in the Mato Grosso state. The area planted with teak in Brazil is rising due to its high quality wood and high price at the international market. The productive potential of teak stands can be obtained through modeling and constitutes an input variable to fertilizer recommendation systems based in the nutritional balance (e.g. FERTI-UFV TECA). Recommendations from these systems can be refined by monitoring the nutritional status of the stands based on the leaf nutrient status through NUTRI-UFV TECA. The objectives of this work were: a) parameterize and calibrate 3-PG model for teak stands in the mid-south region of Mato Grosso state; b) evaluate the universality of 3-PG parameterization as function of the forest sites; c) enable 3-PG to estimate teak stands productivity in sites managed by thinning; d) improve FERTI-UFV TECA (Plant submodel) and NUTRI-UFV TECA systems for fertilizer and lime recommendations and nutritional monitoring of teak stands in the Mato Grosso state. This work was carried out in the Santo Antônio do Leverger region – MT, in commercial teak stands owned by the Vale do Araguaia Company. The teak stands were sampled at different stages in their cycles (3, 4, 5, 6, 7, 8, and 11 years). Within each sampled stand three trees were cut, measured in terms of DBH and height, and separated in its components (leaves, branches, and trunk). The trees were classified according to their DBH as inferior ($\leq \bar{x} - s$), mean ($\bar{x} - s \leq x \leq \bar{x} + s$), and superior ($\geq \bar{x} + s$), and had the concentrations of N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Mn, Cu, and B determined for each component. In order to parameterize 3-PG, allometric equations were adjusted to describe biomass production as function of DBH. The diametric distribution model (DDM) employed used the Weibull probability density function adjusted by the maximum likelihood method. β e γ parameters of this function were adjusted for each plot and age, and then correlated with site characteristics. In order to parameterize FERTI-UFV TECA nutrient status of each component was used to estimate the biological utilization coefficient (BUC). For

NUTRI-UFV TECA standard nutrient levels (Kenworthy standards) and dual ratios among nutrients (DRIS standards) were estimated based on leaf analysis from 10 locations in Mato Grosso state, comprising teak stands from 1 up to 11 years. Those standards were separated in 2 classes: I) comprising trees up to 5 years old, and II) trees older than 5 years old, with the reference population been constituted by trees growing above than the average. After the parameterization NUTRI-UFV TECA was used to evaluate the nutritional status of the teak stands in Santo Antônio do Leverger. 3-PG returned good estimates for stem (trunk + branches), DBH, height, leaf biomass, and wood volume. With the coupling of DDM it was possible to distribute stem biomass and basal area by 3-PG in diametric classes. The growing and productivity estimates obtained in this present work differed from those by Behling (2009), indicating that 3-PG parameterizations are not universal for teak. Nutrient concentrations varied as a function of the increase in diameter and this variation was different among the compartments. As BUC is the inverse of nutrient concentration, it also varied as a function of DBH. These BUC values and the potential productivity estimated by 3-PG were used to estimate the nutritional demand. In the NUTRI-UFV TECA system general standards differed statistically from age class stratified standards. The coupling of 3-PG and DDM improved the productivity estimates in thinned stands. However, it should be parameterized and calibrated for each region. The models obtained for the BUC values as a function of the age are useful to improve FERTI-UFV TECA system. The foliar nutrient concentration standards and the dual nutrient ratios obtained in this work are useful to improve NUTRI-UFV TECA system, recommending the use of specific standards for each class of age.

INTRODUÇÃO GERAL

O aumento da demanda por produtos de origem florestal tem levado a uma progressiva expansão das áreas de plantios florestais no Brasil. Em 2010, a área ocupada por plantios florestais no Brasil totalizou 6.510.693 ha (ABRAF, 2011). Tais plantios, adequadamente manejados, propiciam o aumento da oferta de produtos florestais, aliviam a pressão sobre as florestas naturais, constituem opção para recuperar áreas já devastadas e, ou, degradadas pelo cultivo agrícola ou pastoril, além de melhorar as condições das comunidades locais, gerando emprego e renda.

A elevação da produtividade e sua manutenção em níveis elevados são importantes para a sustentabilidade e competitividade do setor florestal. No Brasil pesquisas realizadas nas áreas de melhoramento genético, de nutrição e manejo da fertilização, aliados às práticas de manejo silvicultural vêm possibilitando ganhos importantes na produtividade dessas florestas. No entanto, nas condições climáticas presentes em boa parte do país, fatores como as disponibilidades de água e nutrientes, frequentemente limitam a produtividade florestal. A avaliação e compreensão de como os recursos água e nutrientes regulam a produtividade florestal contribuem para maior acurácia na estimativa do potencial produtivo das florestas, possibilitando adequar técnicas de manejo apropriadas ao crescimento e à sustentabilidade da produção florestal.

A teca (*Tectona grandis*) é espécie arbórea de grande porte, natural do Sudoeste Asiático, produtora de madeira nobre, de elevado valor no mercado internacional. Na Ásia, onde estão os maiores produtores (Indonésia, Tailândia, Myanmar e Sri Lanka), o seu ciclo de rotação é variável de 60 a 100 anos (Behling, 2009). No Brasil, a teca é uma das espécies florestais que atualmente tem-se destacado no Estado de Mato Grosso, com área plantada de 60.000 ha, em franca expansão, com produtividade variando de 15 – 20 m³/ha/ano, com ciclo de produção de apenas 25 a 30 anos, sendo cultivada com manejo de desbastes durante esse período (ABRAF, 2009). Atualmente, a teca é cultivada em praticamente todo o Estado do Mato Grosso, sendo que a expansão dos plantios, cujo início foi a partir da década de 80, foi e vem sendo realizada por inúmeras empresas do setor, além de produtores rurais, de plantios sob fomento florestal, para atender a reposição florestal obrigatória. Nesse Estado, a madeira de teca oriunda do primeiro desbaste, que ocorre em torno do quinto ano, é utilizada para lenha ou para

fabricação de pequenos utensílios e brinquedos. Já, a madeira oriunda do segundo desbaste, que ocorre por volta do décimo ano, é utilizada como laminados para fabricação de móveis. Do terceiro desbaste em diante, a madeira tem valor comercial mais elevado, podendo ser utilizada de acordo com as demandas do mercado.

Um dos fatores que mais limitam o crescimento e a produção dos plantios de teca é a disponibilidade de nutrientes para as plantas. A exportação de elevadas quantidades de nutrientes pela colheita florestal, ao longo das rotações, pode levar à redução da capacidade produtiva do local. (Behling, 2009). Por isso, há necessidade de um melhor entendimento do potencial produtivo dos vários locais, particularmente naquilo que diz respeito à demanda e partições dos nutrientes, e seu efeito na sustentabilidade da produção florestal (Santana et al., 1999).

O potencial produtivo dessas florestas pode ser obtido por meio de modelagem. O modelo de crescimento 3-PG (acrônimo da expressão *Physiological Principles in Predicting Growth*), baseado em processos ecofisiológico (Landsberg & Waring, 1997), essencialmente, é um modelo baseado em eficiência de uso de radiação solar e água e partição de carbono nos diferentes componentes das árvores (folha, galhos, casca, lenho e raízes), que pode ser facilmente parametrizado para florestas plantadas, sendo bastante adequado para fins de estimar o crescimento florestal. Uma vez obtida a produtividade potencial dos plantios florestais, estimada pelo 3-PG, essa pode ser usada como variável de entrada para sistemas de recomendação de corretivos e fertilizantes baseados em balanço nutricional.

A adição e, ou, reposição de nutrientes pode ser quantificada mediante sistemas baseados no balanço nutricional entre a demanda de nutrientes pelas árvores para uma produtividade esperada e o suprimento desses, pelo solo (Neves, 2000). No Brasil, os Sistemas de Recomendação de Adubação com base em balanço nutricional iniciaram-se com a cultura do eucalipto - NUTRICALC (Barros et al., 1995), que vêm sendo utilizado por varias empresas, e também desenvolvido para diversas culturas.

Atualmente estes sistemas são denominados sistema FERTI-UFV, sendo que para um bom ajuste desses sistemas é fundamental que se obtenha boas estimativas da demanda nutricional das culturas, sendo necessário, para tal, dispor de dados acurados sobre a eficiência de utilização biológica de nutrientes (Barros et al., 2000).

Uma vez obtidas e aplicadas as recomendações de correção da acidez e de fertilização, fornecidas pelo FERTI-UFV, num dado momento do ciclo de crescimento das árvores, pode-se fazer a coleta de folhas e sua análise química cujos resultados

podem ser interpretados com auxílio do sistema NUTRI-UFV, de modo a se avaliar o estado nutricional do povoamento.

Neste contexto, o presente estudo foi conduzido considerando que a produtividade da teca pode ser modelada mediante modelos baseados em processos, como o 3-PG, e essa produtividade pode ser utilizada como variável de entrada no sistema para recomendação de adubação para a cultura da teca (FERTI-UFV TECA). Após aplicação da adubação recomendada, o estado nutricional dos povoamentos pode ser avaliado ao longo do tempo por meio de análises foliares, as quais podem ser interpretadas mediante uso do sistema NUTRI-UFV TECA.

Assim foram estabelecidos os seguintes objetivos: a) parametrizar e calibrar o modelo 3-PG para povoamentos de teca no Mato Grosso, na região de Santo Antônio do Leverger; b) avaliar o grau de universalidade das parametrizações do 3-PG em função do sítio florestal; c) habilitar o 3-PG para estimar a produtividade, em povoamento de teca, manejados com desbaste; d) aprimorar o aplicativo FERTI-UFV TECA (submodelo Planta); e) aprimorar o aplicativo NUTRI-UFV TECA para plantios dessa cultura no Estado de Mato Grosso.

O trabalho está dividido em dois capítulos. No capítulo 1 é feita uma abordagem sobre a parametrização do modelo 3-PG para teca e as alterações feitas no modelo para que o mesmo seja capaz de simular a produtividade, em povoamentos de teca manejados com desbaste. O capítulo 2 é focado no uso dos Sistemas FERTI-UFV TECA e NUTRI-UFV TECA como subsidio para obtenção das recomendações de adubação necessárias para atingir a definida meta de produtividade, por exemplo, a produtividade potencial estimada pelo modelo 3-PG, e fazer a avaliação do estado nutricional dos plantios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF- Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2008/ABRAF – Brasília, 2011, 120p.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; TEIXEIRA, J.L. & FERNANDES FILHO, E.I. NUTRICALC 2.0 – Sistemas para cálculo del balance nutricional y recomendación de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. **Bosque**, 16:129-131, 1995.
- BARROS, N.F., NEVES, J.C.L., NOVAIS, R.F. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: Gonçalves, J.L.M. e Benedetti, W. (Ed.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba. IPEF, p.269-286, 2000.
- BEHLING, M. **Nutrição, partição de biomassa e crescimento de povoamentos de teca em Tangará da Serra – MT**. Viçosa: UFV, 2009. 176p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2009.
- LANDSBERG, J.J.; WARING, R.H.A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. **Forest Ecology and Management**, 95:209-228, 1997.
- NEVES, J. C. L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo**. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000. 191p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000.
- 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 Forestal**.1999, n.56, p.155-169.

CAPÍTULO 1

PARAMETRIZAÇÃO DO MODELO 3-PG PARA PLANTIOS DE TECA NO ESTADO DO MATO GROSSO

RESUMO

Predições com elevado grau de acurácia do crescimento florestal são fundamentais para estimar o potencial produtivo de determinada floresta e seus efeitos sobre os recursos do futuro. Essa estimativa pode ser viabilizada por meio da modelagem. O 3-PG (*Physiological Principles in Predicting Growth*), um modelo baseado em processos que utiliza princípios fisiológicos para estimar a produtividade de povoamentos florestais equiâneos, tem-se destacado pelos bons resultados alcançados. O modelo 3-PG calcula, essencialmente, a quantidade de energia radiante que será absorvida pelo dossel, convertida em carboidratos e alocada nos diferentes componentes da árvore (folhas, tronco + galhos e raízes), requerendo relativamente poucas variáveis de entrada. A única parametrização existente do 3-PG para a cultura da teca foi desenvolvida por Behling (2009), para plantios na região de Tangará da Serra. Entretanto, da maneira com que este modelo é parametrizado, não é possível estimar diretamente a produtividade, em povoamentos desbastados. Uma alternativa a esta situação seria o acoplamento de um modelo de distribuição diamétrica (MDD), ao 3-PG, para simulação o crescimento em florestas desbastadas. Os objetivos deste trabalho foram parametrizar o modelo baseado em processos 3-PG para plantios de teca na região de Santo Antônio do Leverger – MT, habilitá-lo para simular a produtividade em povoamentos manejados com desbastes, e avaliar o grau de universalidade das parametrizações. A parametrização foi realizada com base em dados obtidos em povoamentos de teca no município de Santo Antônio do Leverger – MT caracterizando plantios seminais pertencentes a empresa Companhia do Vale do Araguaia. As estimativas deste trabalho foram comparadas com as estimativas geradas pela parametrização realizada no trabalho de Behling, 2009. O modelo de distribuição diamétrica (MDD) foi ajustado utilizando a função densidade de probabilidade de Weibull, ajustada pelo método da máxima verossimilhança, para cada parcela em cada idade, e seus parâmetros foram correlacionados com características do povoamento. O 3-PG proporcionou boas estimativas para biomassa de “*stem*” (tronco + galhos), diâmetro, altura e volume de lenho, as quais refletem o crescimento da floresta. Com o ajuste dos MDD, foi possível distribuir a biomassa de “*stem*” e a área basal estimada

pelo 3-PG nas diferentes classes diamétricas. A partir daí o desbaste foi simulado considerando uma redução de 40 % da área basal. A área basal foi removida das menores classes diamétricas. A biomassa correspondente às árvores remanescentes na área é utilizada para dar continuidade às rotinas de simulação do 3-PG. O modelo 3-PG apresentou bom desempenho quanto às estimativas da produtividade desses plantios, sendo mais eficiente para simulação da produtividade em povoamentos manejados com desbastes. As estimativas de crescimento e produção obtidas pela parametrização do modelo 3-PG para a região de Santo Antônio do Leverger diferem das estimativas obtidas pela parametrização existente para a região de Tangará da Serra, indicando a não universalidade das parametrizações do modelo para teca, ou seja, o mesmo deve ser parametrizado e calibrado para cada região de plantio desta cultura. Entretanto há necessidade de aprimoramento desses modelos de modo que possam ser utilizados dados que contemplem um ciclo completo da teca (± 25 anos), tanto no que diz respeito aos modelos de distribuição diamétrica, tanto quanto as estimativas de produtividade geradas pelo 3-PG.

Palavras-Chave: *Tectona grandis*, Teca – Modelagem de crescimento, Teca – Modelos de distribuição diamétrica.

CHAPTER 1

PARAMETERIZATION OF 3-PG MODEL FOR TEAK PLANTATIONS IN MATO GROSSO STATE

SUMMARY

Accurate prediction of planted forest's growth is fundamental to estimate their productive potential and its effects on the resources. 3-PG (Physiological Principles in Predicting Growth) is a model based in processes that uses physiological principles to estimate productivity of forest stands. It is a relatively simple model that requires few input variables and has shown great results. Basically, 3-PG calculates how much radiant energy is absorbed by the canopy, converted into carbohydrates, and then allocated into different tree components (leaves, trunk + branches, and roots). The only attempt to parameterize 3-PG for teak plantation was made by Behling (2009) for teak stands in the Tangará da Serra region. However, this parameterization does not allow estimating teak productivity in thinned stands. An alternative to amend this parameterization would be the coupling of a diametric distribution model (DDM) to the 3-PG, which would then allow to estimate the growth of thinned stands. The objective of this work was to parameterize the 3-PG model for teak stands in the Santo Antônio do Leverger region – MT, enabling it to simulate productivity in thinned stands, and evaluate the degree of universality of the parameterizations. The parameterization was based on data from teak stands planted from seeds owned by Vale do Araguaia Company. The estimates generated from this work were compared to those by Behling (2009). The DDM was adjusted by the Weibull probability density function, based on the maximum likelihood method for plots at the same age, generating parameters that were compared to the teak stands. 3-PG returned good estimates for stem biomass (trunk + branches), diameter, height, and wood productivity, which reflect the plantation growth. The coupling of DDM allowed to estimate the distribution of stem biomass and the basal area by 3-PG for the different diametric classes. After that, thinning was simulated considering a reduction of 40% on its basal area, with this basal area being removed from the lower diametric classes. The tree biomass remaining in the area was used to continue the 3-PG simulations. 3-PG was efficient on estimating the productivity of the thinned teak stands. The growth and productivity estimates obtained from the 3-PG parameterization for the Santo Antônio do Leverger region differed from those existent for the Tangará da Serra region. It means that 3-PG parameterizations are

not universal for teak plantations, with the necessity of parameterization and calibration of the model for each region. At the same time, these models need to be upgraded to contemplate a full teak cycle (± 25 years), for both the DDM and the 3-PG.

Keywords: *Tectona grandis*, Teak – Growth modeling, Teak – Diametric distribution modeling.

1 - INTRODUÇÃO

Predições do crescimento com elevado grau de acurácia são fundamentais para que se possa estimar o potencial produtivo de povoamentos florestais, bem como seus efeitos sobre recursos do ambiente físico. O potencial produtivo de um povoamento florestal pode ser obtido por meio da modelagem. De maneira geral, conforme Passioura (1996), os modelos de simulação em agricultura podem ser divididos em dois grupos básicos: empíricos (“modelos de engenharia”) e mecanísticos (“modelos científicos”, baseados em processos, MBP).

Os modelos empíricos, baseados em dados dendrométricos obtidos nos trabalhos de inventário florestal, são usados na maioria das empresas florestais e constituem ferramenta valiosa para o manejo, apesar de não fornecerem respostas a algumas questões críticas, principalmente em relação aos efeitos das variações de clima e do manejo silvicultural.

Já os modelos mecanísticos são definidos por Johnsen et al. (2001) como a construção de uma representação matemática de sistemas biológicos que incorporam conhecimentos sobre mecanismos fisiológicos e ecológicos por meio de algoritmos preditivos. Estes modelos, também denominados modelos baseados em processos (MBP), na área florestal, simulam o padrão de crescimento das árvores em resposta às condições ambientais e práticas de manejo adotadas (Almeida et al., 2004a).

Dentre os diversos MBP existentes, o 3-PG (Physiological Principles in Predicting Growth, Landsberg & Waring (1997)) utiliza princípios fisiológicos para estimar a produtividade de povoamentos florestais equiâneos e requer relativamente poucas variáveis de entrada. (Almeida et al. 2004a).

O modelo 3-PG vem sendo utilizado, para espécies como eucalipto e pinus, em diversos países como: Austrália (Coops et al., 1998b; Tickle et al., 2001; Sands & Landsberg, 2002; Landsberg et al., 2003), Nova Zelândia (Coops et al., 1998a; Whitehead et al., 2002), EUA (Coops et al., 2000; Coops & Waring, 2001a, b) e África do Sul (Dye, 2001; Dye, et al., 2004).

No Brasil, esse modelo já foi parametrizado e calibrado para plantios comerciais de Eucalipto em várias regiões do país como os Estados da Bahia (Stape, 2002), Espírito Santo (Almeida et al., 2003; Almeida et al., 2004a,b) e Minas Gerais (Silva, 2006; Borges, 2009).

De maneira geral, esses trabalhos destacam o potencial do 3-PG como ferramenta para auxiliar o planejamento florestal e avaliam a sensibilidade do modelo a variáveis de manejo (por exemplo, material genético), possibilitando prever o impacto de fatores como radiação solar, temperatura, água e nutrientes sobre o potencial produtivo de plantios florestais.

Para a cultura da teca, no entanto, a modelagem de crescimento baseada em processos, mediante o uso do 3-PG, é ainda incipiente no Brasil. A única parametrização do 3-PG existente para essa cultura foi desenvolvida por Behling (2009) para sítios florestais em Tangará da Serra, no Estado do Mato Grosso. Nesse trabalho, o 3-PG proporcionou estimativas satisfatórias para as variáveis estudadas: biomassa de folhas, Índice de Área Foliar (IAF), biomassa de lenho e de tronco, Diâmetro a 1,30 m de altura (*dap*), volume de lenho e de tronco e as respectivas produtividades (IMA).

Em eucalipto, de modo geral, os trabalhos desenvolvidos com o 3-PG têm mostrado que o modelo deve ser parametrizado para cada região de cultivo e até mesmo para cada material genético. Dessa forma, para que o modelo 3-PG possa ser utilizado como ferramenta de manejo, torna-se necessário que o mesmo seja calibrado para regiões de cultivo com características climáticas diferentes e validado por meio da comparação dos dados observados e aqueles estimados pelo modelo.

Cabe ressaltar que nesses trabalhos com eucalipto as parametrizações e calibrações do 3-PG foram obtidas em parcelas experimentais fertirrigadas, onde se procurava manter as condições hídricas e nutricionais no seu nível ótimo. Dessa forma, a produtividade fica muito mais influenciada por características climáticas do que as produtividades obtidas em plantios comerciais. Recentemente, contudo, Borges (2009) observou maior capacidade de extrapolação do 3-PG quando, para sua parametrização e calibração, são usados dados de plantios comerciais.

O 3-PG requer dados climatológicos mensais facilmente disponíveis como temperatura máxima, mínima e média, precipitação e radiação solar, déficit de pressão de vapor (DPV). Utiliza variáveis de solo, tais como fertilidade, textura, disponibilidade de água e variáveis de planta como, biomassa inicial de lenho, folhas e raízes, população de árvores, coeficientes das equações alométricas que relacionam o diâmetro a 1,3 m de altura (*dap*) com a biomassa de “*stem*”, volume de lenho, a altura total, eficiência quântica máxima do dossel, e a relação produção primária líquida (PPL)/produção primária bruta (PPB).

O modelo 3-PG é composto por cinco submodelos: assimilação de carboidratos, distribuição da biomassa entre folhas, raízes e “*stem*” (galho + casca + lenho), mortalidade de árvores, balanço de água no solo e caracterização do povoamento.

O modelo 3-PG, essencialmente, é um modelo baseado em eficiência de uso de radiação solar e água e partição de carbono nos diferentes componentes das árvores (folhas, galhos, cascas, lenho e raízes), ele converte a radiação solar (RS) em energia solar que será absorvida pelo dossel, levando em consideração, o índice de área foliar (IAF) e a radiação fotossinteticamente ativa (RFA). A RFA é determinada considerando que essa corresponde a 50 % da radiação solar (RS).

Quantificada a radiação fotossinteticamente ativa absorvida (RFAA) pelo dossel, o 3-PG estima a quantidade de CO₂ fixado por unidade de energia radiante absorvida (fótons). A partir da quantidade de CO₂ fixado, o 3-PG converte esse valor para produção de biomassa vegetal.

A relação entre produção primária líquida (PPL) e produção primária bruta (PPB) equivale a um coeficiente de uso do C (CEU). Tem-se demonstrado que essa relação (PPL/PPB) varia pouco, e tem permanecido na faixa compreendida entre 0,45 para uma ampla variedade de florestas (Landsberg & Waring, 1997). Esta faixa de valores foi derivada dos trabalhos (Schulze et. al., 1977; Benecke and Evans, 1987; Waring et. al., 1995; Ryan et. al., 1996a; Willian et. al., 1997) citados por Landsberd & Waring, 1997. Essa relação facilita os cálculos e elimina algumas das interferências referentes à necessidade de calcular às perdas de C por meio da respiração, já que estas são medições difíceis de serem feitas e não há disponibilidade na literatura de dados medidos para a referida variável (PPL/PPB), para plantios de teca no Brasil. O erro cometido ao adotar esse intervalo de valores para o relacionamento PPL/PPB é certamente menor do que o que resultaria do calculo da respiração (Landsberd & Waring, 1997).

Posteriormente, a quantidade de carbono fixada (PPL) é alocada nos diferentes compartimentos da planta, considerando relacionamentos alométricos entre o diâmetro à altura do peito (DAP) e as respectivas biomassas de folhas, lenho e raízes. A partir dessas informações, o modelo estima, em intervalos mensais, biomassa de tronco, folha e raízes, volume, área basal por hectare, IMA, *dap*, disponibilidade de água do solo e variáveis de interesse ecofisiológico como o índice de área foliar, taxa de transpiração e uso de água do povoamento.

Cabe destacar que na forma atual o 3-PG não é capaz de estimar diretamente a produtividade em povoamentos manejados com desbastes, como usualmente adotado nos plantios de teca. Para tanto, uma alternativa seria a inclusão de um modelo de distribuição diamétrica (MDD) ao modelo 3-PG, isso permitiria que o mesmo estimasse a biomassa do tronco, e a distribuísse por classes de diâmetro.

O crescimento e a produção por classe de diâmetro podem ser estimados por meio dos modelos de distribuição diamétrica, os quais propiciam um maior detalhamento na predição do porte das árvores do povoamento, facilitando o planejamento da produção florestal e a simulação de uma série de tratamentos silviculturais como, por exemplo, os desbastes (Soares, 2006). Como a finalidade principal da exploração de plantios de teca é fornecer madeira para serraria, a distribuição diamétrica das árvores é informação fundamental, possibilitando um adequado manejo por desbastes (Oliveira, 2003).

Esses modelos permitem estimar o número de árvores dentro de cada classe de diâmetro nas idades presentes e futuras (Campos & Leite, 2009), e com isso o crescimento e a produção por classes de tamanho (diâmetro), e têm como característica comum o uso de uma função densidade de probabilidade (f.d.p.) (Nogueira et al., 2005).

Uma f.d.p define a probabilidade associada com cada valor da variável em estudo, ou da classe de diâmetro nesse caso particular. Ou, ainda, descreve a distribuição de frequência relativa e, ou, absoluta, dos vários tamanhos de árvores. Pode também ser empregada para descrever a distribuição de massa, por exemplo, nas várias classes diamétricas que compõem o povoamento.

Exemplos de funções que têm sido empregadas para descrever as estruturas, horizontal e vertical, de povoamentos florestais são: Gama, log-normal, Beta, Johnson's S_B , Hiperbólica e Weibull. Dentre elas, conforme Binoti et al. (2010) e Leite et al. (2010), a função densidade de probabilidade Weibull é atualmente a mais utilizada no setor florestal. A preferência por essa função deve-se à sua flexibilidade, a qual permite moldar diferentes tendências de distribuição, desde exponencial até a normal, além da correlação de seus parâmetros com atributos do povoamento e sua facilidade de ajustamento (BAILEY e DELL, 1973).

Neste contexto, este trabalho teve por objetivo, parametrizar, calibrar e validar o modelo 3-PG, para povoamentos de teca na região de Santo Antônio do Leverger - Mato Grosso, avaliar o grau de universalidade das parametrizações do 3-PG em função do sítio florestal e habilitá-lo para estimar a produtividade, em povoamento de teca, manejados com desbaste.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

A parametrização de um dado modelo refere-se à obtenção do ajuste de relacionamentos e, ou, de equações matemáticas, que descrevem o comportamento de determinadas variáveis, por meio da utilização de dados medidos (Sands & Landsberg, 2002).

Para realização deste trabalho, o estudo foi conduzido em povoados de teca localizados no município de Santo Antônio do Leverger (Figura 1), região Centro-sul do Estado do Mato Grosso, a 33 km de Cuiabá, pertencentes à empresa Companhia Vale do Araguaia (CVA). Situa-se na latitude 15° 51' 57" S e longitude 56° 04' 37" O. A altitude média da área é de 140 m, com clima tropical quente e subúmido, conforme a classificação da Köppen. A precipitação pluviométrica anual é de 1.500 mm, com intensidade máxima em dezembro, janeiro e fevereiro, e com um período de três meses de seca, de junho a agosto. A temperatura média anual de 24° C.



Figura 1: localização do município de Santo Antônio do Leverger, Estado do Mato Grosso.

Os dados utilizados neste estudo correspondem a povoados seminais de teca com árvores de 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 11 anos de idade, cujo plantio foi realizado no espaçamento 3 x 2 m, e plantas em fase de viveiro (mudas).

No viveiro foram selecionadas, aleatoriamente, 24 mudas às quais foram separadas em seus componentes, folha e “*stem*” (galho + casca + lenho). As amostras foram secas em estufa de circulação forçada a 70 °C, até peso constante. As massas de folhas e de

“*stem*” das mudas foram utilizadas para calcular a partição folha/lenho em povoamento jovem, variável necessária para a parametrização do 3-PG.

Nos plantios já estabelecidos foram amostradas, dentro de cada idade, três árvores, selecionadas com base na classe de diâmetro (considerando média (\bar{x}) e desvio padrão (s)) de modo a se ter uma árvore inferior ($\leq \bar{x} - s$), uma árvore média ($\bar{x} - s \leq \bar{x} \leq \bar{x} + s$) e uma árvore superior ($\geq \bar{x} + s$), as quais tiveram a altura e o diâmetro a 1,30 m de altura (*dap*) medidos.

Além das avaliações dendrométricas, as árvores selecionadas foram abatidas e seus componentes foram separados e pesados para quantificar a massa fresca de folha, galhos, casca e lenho. Para a estimativa do peso de matéria seca foi retida uma amostra de cada componente que foi pesada (massa fresca) e posteriormente seca em estufa de circulação forçada a 70° C, até peso constante. A partir do peso da matéria fresca total e da porcentagem de umidade da amostra, foi estimado o peso da matéria seca total, dos respectivos componentes, para todas as árvores abatidas.

A partir das características dendrométricas foram ajustadas equações alométricas (Equações 1, 2 e 3) para descreverem o relacionamento entre a massa de matéria seca de folhas e “*stem*”, e altura total em função do *dap* (Landsberg & Waring, 1997; Sands & Landsberg, 2002). As equações foram ajustadas com auxílio do software Statística 7.0, pelo procedimento (Nonlinear Estimation\User-specified regression, custom loss function\Gauss-Newton).

Para a obtenção da equação alométrica que descreve o relacionamento da massa de folhas com *dap*, é necessário o conhecimento da biomassa total de folhas produzida pela planta até o momento da quantificação. Para teca, uma espécie caducifólia, assume-se que a taxa anual de queda de “*litter*” é igual a 100 % do valor da biomassa de folhas. A partir desta taxa e com a biomassa atual de folhas, calculou-se a biomassa total de folhas (M_F) produzidas.

$$M_F = a_F DAP^{n_F} + \varepsilon \quad (\text{Equação 1})$$

$$M_S = a_S DAP^{n_S} + \varepsilon \quad (\text{Equação 2})$$

$$H = a_H DAP^{n_H} + \varepsilon \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

M_F : Massa de matéria seca de folha (kg/arv).

M_S : Massa de matéria seca de “*stem*” (kg/arv).

H: Altura total.

a_F, a_S, a_H : coeficientes multiplicativos ajustados.

n_F, n_S, n_H : coeficientes potenciais ajustados.

DAP: diâmetro a 1,30 m de altura (cm).

ϵ : erro aleatório.

Foram calculados também o limite de confiança (LC) e o limite de predição (LP) das equações ajustadas. O limite de confiança consiste em estimar uma faixa de valores admissíveis para um parâmetro, ao invés de estimá-lo por um único valor, ou seja, a variação admissível em torno da média e são utilizados para indicar a confiabilidade de uma estimativa, sendo que quanto menor for o IC mais confiável são as estimativas.

O limite de predição define o intervalo admissível incluindo todos os valores observados.

O limite de confiança é estimado a partir dos valores médios das observações (menor variabilidade das informações), ao passo que o limite de predição é estimado considerando todos os dados observados (maior variabilidade), conseqüentemente, o limite de confiança sempre será menor, pela menor variabilidade, do que o limite de predição.

Para delimitar os limites de confiança e predição, primeiramente as equações 1, 2 e 3 foram linearizadas (equação 4), e em seguida, foram definidos intervalos com 95% de probabilidade, com auxílio do software Statistica 7.0.

$$\log M_i = \log a + n \log DAP \quad (\text{equação 4})$$

em que: M_i = Massa de matéria seca de folha e “stem”; a e n = coeficientes ajustados; e DAP diâmetro a 1,30 m de altura (cm).

Além das equações alométricas, foi determinada a área foliar específica (AFE) para as mudas e árvores. Para a determinação da AFE nos plantios já estabelecidos foram avaliadas outras 5 árvores, dentro de cada idade, amostrando 4 folhas por árvore. Em cada folha foram retirados 10 discos de 2,4 cm de diâmetro, com auxílio de um furador de rolha, totalizando 200 discos por amostra. Nas mudas, foram avaliadas todas as folhas da muda, essas foram digitalizadas em scanner HP deskjet F390, e a área do limbo foliar foi medida por meio de processamento dessas imagens no software Quant 1.0©.

As amostras foram secas em estufas de circulação forçada a 70° C, até peso constante. Conhecendo-se a área do limbo foliar e a matéria seca das amostras, a AFE foi determinada dividindo a área foliar pela sua massa seca. O valor da AFE, juntamente com a massa seca total de folhas de cada árvore e a respectiva área útil, foi usado para calcular o índice de área foliar (IAF), ou seja, a área de folhas por área de solo.

Com relação aos dados climáticos (temperatura máxima, mínima e média, precipitação e radiação solar) necessários á rotina de cálculos do modelo 3-PG, segundo Sands & Landsberg (2002), devido à sensibilidade do modelo a variáveis climáticas, principalmente, precipitação e radiação solar, o procedimento normal é utilizar dados climáticos médios para a região simulada, ou, caso se deseje analisar os efeitos de eventos específicos, tais como seca, na produtividade das florestas, utilizar dados climáticos atuais para o período de crescimento simulado. Borges (2009) utilizando o 3-PG para simular a produtividade de eucalipto na região de Curvelo – MG observou que regiões onde não ocorrem grandes variações climáticas, principalmente precipitação, em anos subsequentes, não houve diferença significativa entre estimar a produtividade com dados mensais ou atuais para as estimativas de produtividades obtidas pelo 3-PG.

Já para regiões marcadas por fortes irregularidades climáticas ao longo dos anos, o tipo de dado climático utilizado (médio ou atual) tem efeito pronunciado nas estimativas de produtividades fornecidas pelo 3-PG (Silva, 2006; Borges, 2009).

Neste trabalho, optou-se pela utilização de dados climáticos médios, na simulação do crescimento dos plantios de teca. Os dados de temperatura máxima e mínima, radiação solar global e precipitação foram extraídos do banco de dados da Estação Meteorológica Mundial disponível no NUTREE. Os dados climáticos médios utilizados nas simulações para região de Santo Antônio do Leverger são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Dados climáticos médios para a região de Santo Antônio do Leverger – MT.

Mês	Temp. max	Temp. mim	Precipitação	Radiação
	°C	°C	mm	MJ/m2 dia
Jan	32,00	23,00	217,00	19,64
Fev	32,25	23,00	189,00	19,99
Mar	32,00	22,00	155,00	20,11
Abr	32,25	21,25	97,50	20,34
Mai	31,00	19,00	31,00	19,81
Jun	30,00	17,00	0,00	19,85
Jul	31,00	16,25	0,00	20,44
Ago	33,00	18,00	0,00	20,51
Set	33,00	21,00	30,00	20,47
Out	33,00	19,00	93,00	21,24
Nov	31,50	22,50	150,00	20,91
Dez	32,50	22,50	186,00	19,91

2.1 - Calibração do 3-PG

O procedimento de calibração utilizado envolve rodar o modelo e comparar os valores estimados com os valores observados em trabalhos de campo (Sands & Landsberg, 2002; Landsberg et al., 2003). Após devidamente parametrizado foram estimadas as variáveis de crescimento: dap, altura, produtividade de “*stem*” e volume do lenho e biomassa de folhas. Essas estimativas foram comparadas aos valores observados, nos povoamentos, para as respectivas variáveis.

Durante o procedimento de calibração, os valores de alguns parâmetros e, ou, variáveis não medidas durante a execução do trabalho de campo são alteradas de modo a diminuir o desvio entre o valor estimado e o observado, obtendo assim a melhoria do ajuste do modelo. Sempre que necessário, foram realizadas as calibrações nas variáveis eficiência quântica máxima do dossel (α_{Cx}), na relação PPL/PPB, na máxima condutância da copa, e nas relações de partições de biomassa entre a folha e “*stem*” para dap igual a 20 cm (pFS20), que, segundo Esprey et al.(2004), são as variáveis que apresentam maior sensibilidade no modelo 3-PG.

A eficiência do modelo foi testada por meio de regressão linear simples ($Y = \beta_0 + \beta_1 x$), onde Y = o valor observado; e o x = valor estimado pelo modelo 3-PG. Considerando que em um modelo hipotético ideal, o valor estimado pelo modelo é igual ao valor observado, tem-se, portanto, que $\beta_0 = 0$ e $\beta_1 = 1$. Dessa forma, esses coeficientes foram testados pelo teste t a 1 % de significância, para cada situação, com a

hipóteses de $\beta_0 = 0$ e $\beta_1 = 1$, tendo como embasamento teórico o fato de que para modelos processuais o importante é que o β_1 não seja estatisticamente diferente de 1, o que indica adequado tratamento do modelo aos processos envolvidos.

Adicionalmente, para testar a identidade de modelos analíticos foi utilizado o procedimento estatístico L&O (usando $\alpha = 0,01$) proposto por Leite e Oliveira (2002). O procedimento proposto resulta da combinação da análise do teste t para o erro médio e do teste F no qual os valores de β_0 e β_1 são testado simultaneamente, ou seja, $H_0: \beta'=[0 \ 1]$ para conferir se os valores estimados pelo 3-PG diferem dos valores observados.

$$t(\bar{e}) = \frac{\bar{e}-0}{s\bar{e}} \quad (\text{Equação 5})$$

$$F(H_0) = \frac{(\beta - \theta)'(Y1'Y1)(\beta - \theta)}{2QMR} \sim F\alpha(2, n - 2) \quad (\text{Equação 6})$$

2.2 - Universalidade das parametrizações do 3-PG

Após parametrizar e calibrar o modelo procedeu-se à obtenção de estimativas para as variáveis de crescimento e produtividade de teca (biomassa de fuste, volume de lenho, *dap* e altura), para a região de Santo Antônio do Leverger - MT, mediante a utilização do modelo ajustado neste trabalho e do modelo ajustado para teca na região de Tangará da Serra, desenvolvido por Behling, 2009. Estas estimativas foram comparadas com os dados de crescimento medidos nesta região pelos mesmos métodos descritos no item 2.1, a fim de avaliar o grau de universalidade das parametrizações e ajustes do modelo.

2.3 - Ajuste do modelo de distribuição diamétrica

Este estudo foi desenvolvido a partir de dados de povoamentos seminais de teca, plantados no espaçamento 3,0 x 2,0 m, provenientes da empresa Companhia do Vale do Araguaia (CVA), situados nos municípios de Santo Antônio do Leverger e Água Boa, na região centro-sul do Estado do Mato Grosso.

Os dados são provenientes de parcelas permanentes de aproximadamente 1.200 m² nas quais foram medidos os *dap* de todas as árvores. No total foram mensuradas 96

parcelas, sendo que a idade de medição variou entre 1,5 a 12 anos, e as medições foram realizadas durante os anos de 2008 a 2010.

O modelo de distribuição diamétrica foi ajustado a estes dados, sendo realizado em dois estágios: Primeiramente, foi ajustada a função Weibull, para cada parcela, e em cada idade, e em seguida, os parâmetros γ e β da f.d.p. foram correlacionados com atributos do povoamento de acordo com a metodologia proposta por Campos & Leite (2009).

A partir dos dados de dap, agrupados em classes diamétricas com amplitude de 1 cm e utilizando o método da máxima verossimilhança foi ajustada, para cada parcela, em cada medição, a f.d.p. Weibull com dois parâmetros (Equação 7), e para os ajustes, os dados foram agrupados em classes de diâmetro com amplitude de 1 cm.

$$F(x) = \frac{\gamma}{\beta} \cdot \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\gamma-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\gamma\right] \quad (\text{Equação 7})$$

Onde: β é o parâmetro de escala ($\beta > 0$), γ o parâmetro de forma ($\gamma > 0$) e x o centro de classe de diâmetro ($x \geq 0$).

O parâmetro β controla as dimensões que a curva assume, dada uma forma constante. À medida que o valor de β aumenta a curva se torna mais dispersa. O parâmetro γ controla a assimetria da distribuição, por exemplo, quando γ assume valor de 3,6, a distribuição se aproxima da normal. Essa flexibilidade tornou a função Weibull a mais utilizada na área florestal (Campos & Leite, 2009).

Na sequência, foram obtidas equações de regressão que permitem estimar os parâmetros β e γ da função Weibull em uma idade futura (β_2 e γ_2), utilizando como variáveis independentes características do povoamento que neste trabalho foram o diâmetro médio do povoamento na idade futura (q_2), as idades presentes e futuras (I_1 e I_2) e os próprios parâmetros β e γ na idade atual (β_1 e γ_1). Essas relações são representadas pelas equações 8, 9, 10, 11.

Sistema 1:

$$\gamma_2 = e^{(\alpha_1 + \alpha_2 q_2 + \alpha_3 \log(\gamma_1))} + \varepsilon \quad (\text{Equação 8})$$

$$\beta_2 = \alpha_1 + \alpha_2 q_2 + \alpha_3 \beta_1 + \varepsilon \quad (\text{Equação 9})$$

Sistema 2:

$$\beta_2 = \beta_1 * (I_1/I_2) + \alpha_1 * (1 - I_1/I_2) * q_2 + \varepsilon \quad (\text{Equação 10})$$

$$\gamma_2 = \gamma_1 * (I_1/I_2) + \alpha_1 * (1 - I_1/I_2) * q_2 + \varepsilon \quad (\text{Equação 11})$$

em que:

β_1 e γ_1 – são os parâmetros da função Weibull na idade atual.

β_2 e γ_2 – são os parâmetros da função Weibull na idade futura.

I_1 e I_2 – são as idades atual e futura.

α_n – coeficiente empíricos das equações.

ε – erro aleatório.

No entanto, outras características do povoamento, tais como, diâmetro máximo, diâmetro mínimo, índice de local, número de árvores, altura dominante podem ser utilizadas, para descrever tais parâmetros.

Para ajustar as equações foi utilizado o software Statistica 7.0, empregando o procedimento (Nonlinear Estimation\User-specified regression, custom loss function\Gauss-Newton).

A redistribuição teórica dos diâmetros foi avaliada com base na capacidade do sistema de equações gerado em estimar os parâmetros da função Weibull e recuperar a distribuição de diâmetros do povoamento para qualquer idade. Essa avaliação foi realizada com base no coeficiente de correlação entre os valores de frequência observados e estimados e na análise gráfica dos resíduos.

2.3.1 - Ligação entre os modelos de distribuição diamétrica e o modelo 3-PG

A estratégia de ligação entre o 3-PG e o modelo de distribuição diamétrica foi a seguinte: Nas rotinas de simulação, o modelo 3-PG estima a biomassa de “*stem*” produzida, e a partir da inversão da equação alométrica que relaciona o dap e a matéria seca de “*stem*”, calcula o diâmetro médio do povoamento para idade simulada conforme a equação 8.

$$M_s = a_s \text{ DAP}^{n_s} \quad \Longrightarrow \quad \text{DAP} = \sqrt[n_s]{\frac{M_s}{a_s}} \quad (\text{Equação 8})$$

em que: M_s é a matéria seca de “*stem*”;

DAP = diâmetro a 1,3 m;

a_s e n_s = os coeficientes empíricos.

Obtido o diâmetro médio para o povoamento, esse é usado como variável independente nas equações que estimam os parâmetros β e γ da função Weibull (equações 8 a 11).

Assim, nesta nova abordagem, o valor total da matéria seca de “*stem*” e a área basal estimada pelo 3-PG podem ser distribuídos nas várias classes de diâmetros. O desbaste pode então ser simulado determinando a porcentagem da área basal que será removida da área, sendo esta retirada das menores classes diamétricas. Sobre as árvores remanescentes é calculada a biomassa de “*stem*” remanescente, e esta entra como estimativa inicial para dar continuidade às simulações de produção em idades posteriores.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

De maneira geral, as relações alométricas estabelecidas para as variáveis matéria seca de “*stem*”, a matéria seca acumulada de folhas, a matéria seca total da parte aérea e a altura em função do DAP se adequaram bem aos dados medidos, sendo estatisticamente significativas ($p < 0,001$). Essas relações explicam 91, 99, 92 e 77 % da variação observada para as respectivas variáveis, (Figura 2).

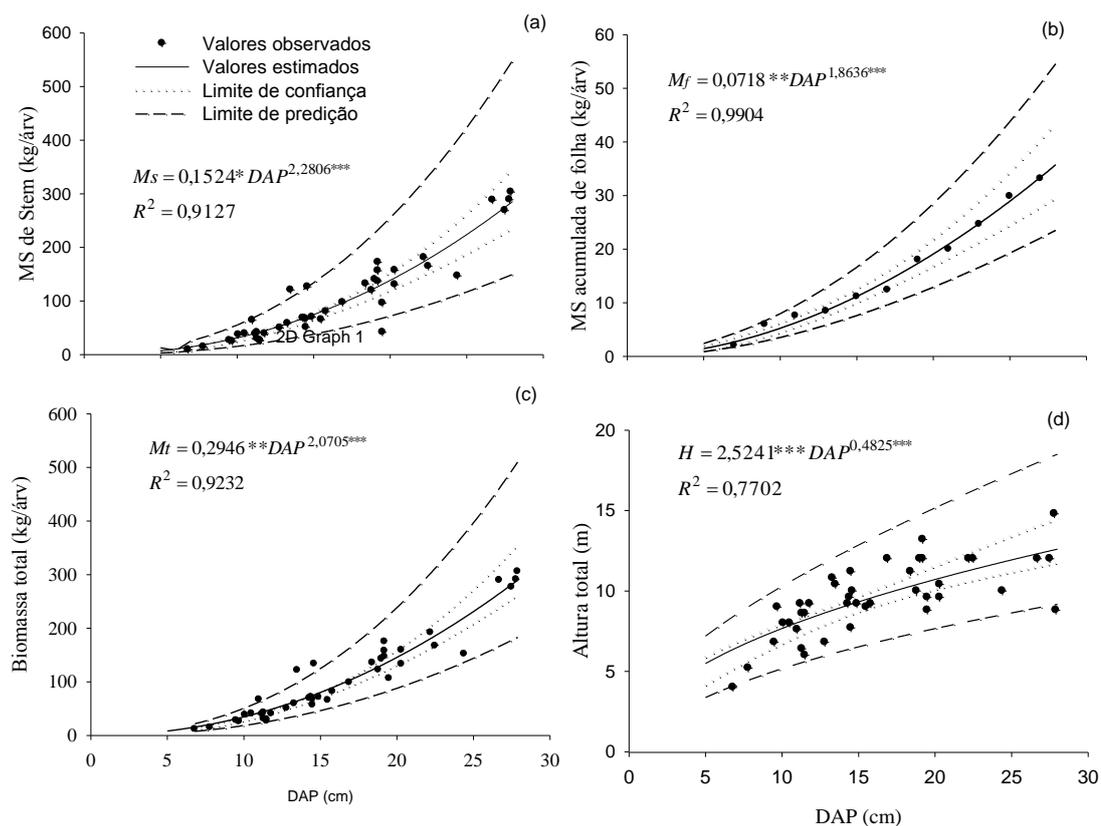


Figura 2: Relações alométricas para (a) matéria seca de “stem” (tronco + galhos), (b) matéria seca acumulada de folhas, (c) biomassa total e (d) altura em função do DAP de árvores de teca, para Santo Antônio do Leverger - Mato Grosso.

O relacionamento entre a AFE e a idade das árvores também foi expresso pelo modelo potencial e é mostrado na Figura 3. Considerando o comportamento médio para AFE, o valor encontrado para AFE das árvores jovens foi igual a 7,78 m²/kg e para os plantios adultos foi igual a 13,79 m²/kg. Estes valores são corroborados pelos valores encontrados por Behling, 2009, que investigando o comportamento da AFE em árvores de 17 a 90 meses, também encontrou tendência de aumento na AFE. Tendência inversa para o esperado para outras espécies florestais, como por exemplo, eucalipto cuja AFE diminui com a idade.

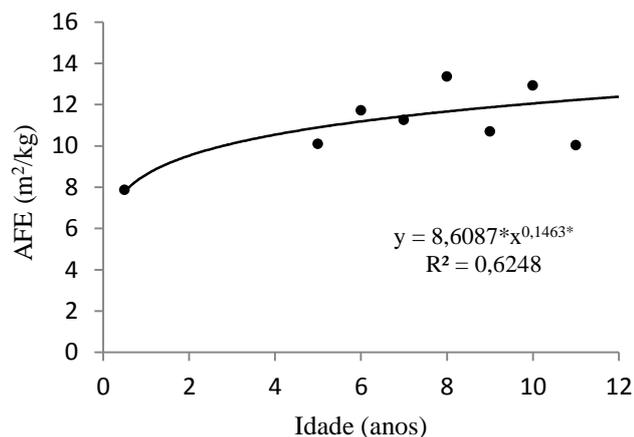


Figura 3: Relação entre a área foliar específica e a idade.

A calibração do modelo 3-PG foi realizada, principalmente, a partir dos ajustes dos valores dos parâmetros relacionados com a eficiência quântica máxima do dossel (αCx) e a resposta estomática ao déficit de pressão de vapor. Os valores dos parâmetros e variáveis resultantes das etapas da parametrização e calibração do modelo 3-PG são mostrados na Tabela 2.

Estes parâmetros foram utilizados então, para gerar estimativas das variáveis massa seca de “*stem*”, volume do lenho, dap e altura para povoamentos de teca com idades entre 3 a 11 anos. O resultado final desta calibração, onde são comparadas as estimativas obtidas pelo modelo com o valor medido para cada variável em estudo, são apresentados na Figura 4.

O desempenho do modelo 3-PG foi satisfatório para as diferentes variáveis que refletem o crescimento da floresta, considerando o período de simulação de 11 anos. Este fato foi resultante, principalmente, dos ajustes realizados nos parâmetros αCx , na resposta ao DPV e no ajuste da fração de galho e casca. O 3-PG demonstrou boa concordância entre os valores estimados e os valores medidos para as variáveis avaliadas, os quais não diferiram estatisticamente entre si ($p > 0,01$). A análise estatística da eficiência do modelo 3-PG nesta etapa é apresentada na Tabela 3.

Tabela 2: Parametrização do Modelo 3-PG para povoamentos de teca da região Santo Antônio do Leverger - Mato Grosso.

PARÂMETRO	UNIDADE	COEFICIENTES
Partição folha/lenho povoamento jovem	-	1,5
Partição folha/lenho povoamento adulto	-	0,15
Constante de relacionamento entre massa do tronco x diâmetro	-	0,152
Potência do relacionamento entre massa do tronco x diâmetro	-	2,281
Fração máxima da produção primária líquida para raízes	-	0,300
Fração mínima da produção primária líquida para raízes	-	0,200
Taxa de queda de "litter" na idade inicial	1/mês	0
Taxa de queda de "litter" para plantios em idade adulta	1/mês	0,083
Taxa média de ciclagem radicular	1/mês	0,015
Temperatura mínima para o crescimento	°C	15
Temperatura ótima para o crescimento	°C	25
Temperatura máxima para o crescimento	°C	40
Nível de fertilidade	-	0,45
Resposta estomática ao déficit de pressão de vapor	m/bar	0,40
Parâmetro relacionado com disponibilidade de água no solo	-	
Idade máxima do povoamento para computar a idade relativa	ano	25
Eficiência quântica do dossel	molC/mol PAR	0,07
Índice de área foliar em que a em que a condutância do dossel e máxima	m ² /m ²	3,33
Condutância da camada limite do dossel	m/s	0,20
Massa de lenho máxima para cada 1000 árvores/ha	kg/arv	300
Área foliar específica para plantios em idade jovem	m ² /kg	7,78
Área foliar específica para plantios em idade adulta	m ² /kg	13,79
Interceptação máxima de água pelo dossel	-	0,15
Índice de área foliar em que a em que a interceptação de água pelo dossel e máxima	m ² /m ²	3,33
Coefficiente de extinção da radiação fotossinteticamente ativa pelo dossel	-	0,47
Idade de fechamento do dossel	ano	3 a 3
Eficiência quântica máxima do dossel	-	0,07
Relação entre Produção Primária Líquida/Produção Primária Bruta	-	0,47
Fração de galho e casca para plantios em idade inicial	-	0,40
Fração de galho e casca para plantios em idade adulta	-	0,40
Densidade básica mínima - plantios em idade inicial	t/m ³	0,50
Densidade básica máxima - plantios em idade adulta	t/m ³	0,58
Constante de relacionamento entre massa do tronco x diâmetro	-	4,05
Potência do relacionamento entre massa do tronco x diâmetro	-	0,26
Constante de relacionamento entre volume de lenho x diâmetro	-	0,259
Potência do relacionamento entre volume de lenho x diâmetro	-	1,989
Potencia de relacionamento entre volume de lenho x número de árvores	-	0,03

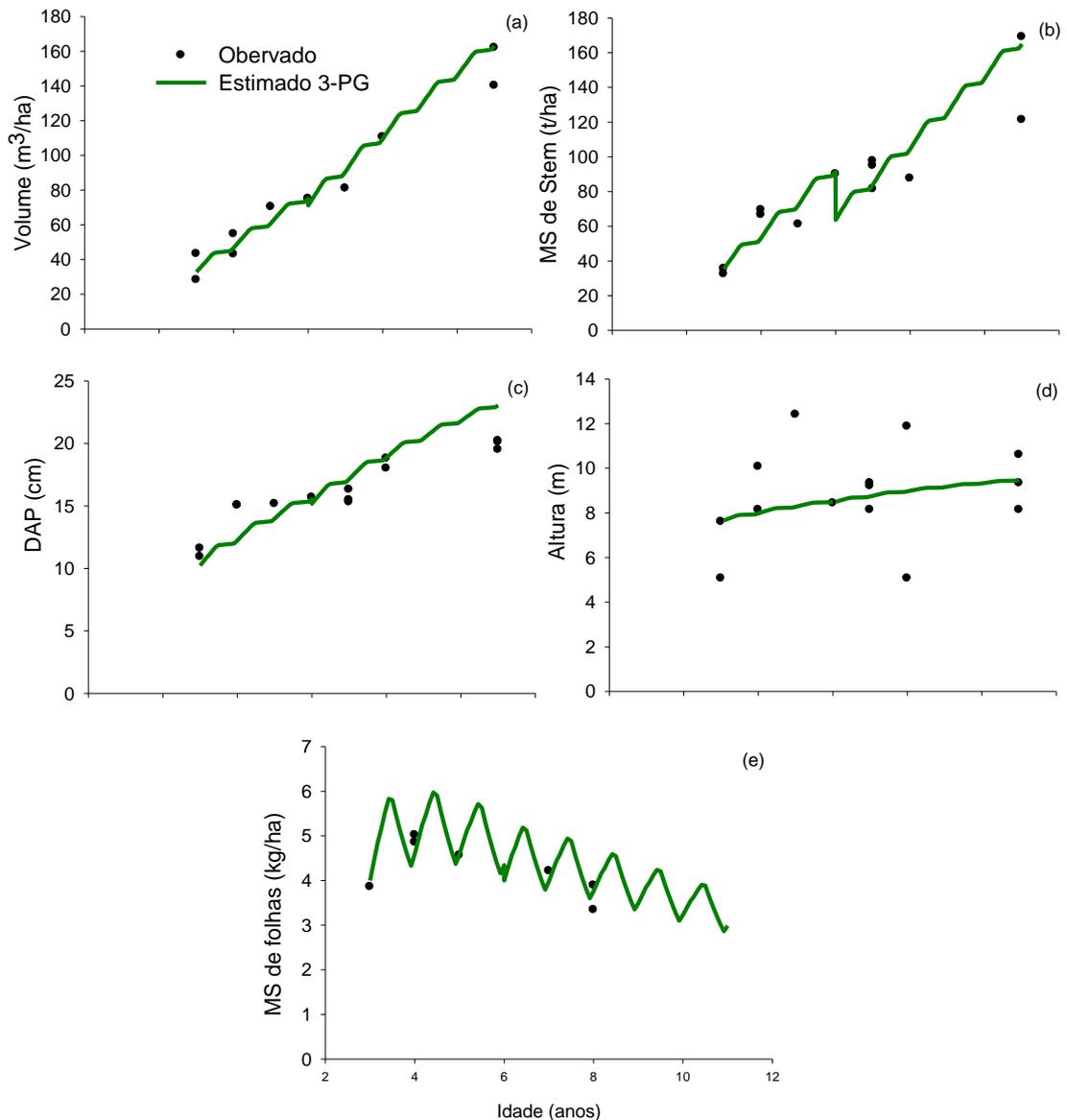


Figura 4: Estimativas do volume de lenho, matéria seca de “stem” (tronco + galhos), diâmetro a altura do peito, altura e matéria seca de folhas obtidas pelo modelo 3-PG, nas idades de 3 a 11 anos, para povoamentos de teca na região de Santo Antônio do Leverger - Mato Grosso,

Para a variável *dap* houve uma subestimação de 10 % nos valores para as idades iniciais, e uma superestimação de 13 % para idade de 11 anos. Entretanto, essas variações não prejudicaram as estimativas geradas pelo 3-PG, a qual apresentou um erro médio de -0,04 %. Behling 2009, em sua parametrização também encontrou uma faixa de subestimação do *dap* das idades iniciais, mas para idades intermediárias importantes para determinação do primeiro desbaste, o modelo 3-PG apresenta boas estimativas para

o dap. As superestimações observadas para as idades mais próximas aos 11 anos podem retratar a ocorrência de limitação no crescimento, pois não era de se esperar uma taxa de crescimento tão reduzida, em um espaço de tempo consideravelmente longo (8 a 11 anos), indicando assim que a capacidade produtiva do sítio foi atingida, e não houve um manejo adequado, por exemplo, desbaste, para possibilitar a retomada de crescimento em dap, ou se houve desbaste, este teve uma intensidade reduzida, o que não permitiu uma retomada significativa do crescimento em dap.

Para as demais variáveis as estimativas geradas pelo modelo 3-PG estão dentro da faixa de valores observados, apresentando tendências de crescimento bem definidas, que segundo (Behling, 2009), atente aos padrões de crescimento de povoamentos equiâneos.

De modo geral o modelo 3-PG teve uma leve tendência a estimar valores abaixo do observado, porém a média dos erros é, consideravelmente, pequena como pode ser observado na Tabela 3, onde para as variáveis massa seca de “*stem*”, volume de lenho, altura, dap e massa seca de folha, cujas médias foram iguais a -0,69, -2,52, -0,04, -1,17 e -2,22 % respectivamente.

Na tabela 3, também são apresentados os resultados dos testes $F(H_0)$, que testa simultaneamente, os coeficientes $\beta_0 = 0$ e $\beta_1 = 1$ e o teste t para a média dos erros, sobe a hipótese que $\bar{e} = 0$,

Tabela 3: Parâmetros da relação linear e correlação entre valores estimados (Est) e observados (Obs), teste F (F_{H0}) e teste t do erro médio ($t(\bar{e})$) para estimativa da biomassa de *stem*, volume de lenho, altura e DAP,

Variável	Relação Linear entre Obs e Est			Test L&O		% Erro
	β_0	β_1	$R\hat{y}y$	$F(H_0)$	$t(\bar{e})$	
<i>Stem</i>	0,3436	0,9939	0,9442	ns	ns	-0,6900
Volume	-4,3999	1,0411	0,9757	ns	ns	-2,5212
Altura	0,2550	1,0228	0,9891	ns	ns	-1,17175
DAP	0,8325	0,9291	0,9521	ns	ns	-0,0434
Folha	0,9035	0,7653	0,8280	ns	ns	-2,2251

* significativo e ^{ns} não significativo a 1% de probabilidade pelo teste de L&O,

A não-Rejeição da hipótese de nulidade observada na Tabela 3 implica que os valores estimados e observados são estatisticamente coincidentes, perfazendo uma linha reta que passa pela origem ($\beta_0 = 0$) e com declividade igual a 45% ($\beta_1 = 1$) Campos & Leite (2009),

3.1 – Universalidade das Parametrizações

Após o ajuste do modelo 3-PG para a região de Santo Antônio do Leverger considerando, portanto, que as estimativas obtidas por ele são coerentes com dados de crescimento florestal medidos na região, foram feitas simulações, das variáveis massa seca de “stem”, volume de lenho, dap e Altura. Essas mesmas variáveis foram obtidas utilizando a parametrização desenvolvida por Behling 2009. As estimativas geradas pelas duas parametrizações podem ser observadas na figura 5.

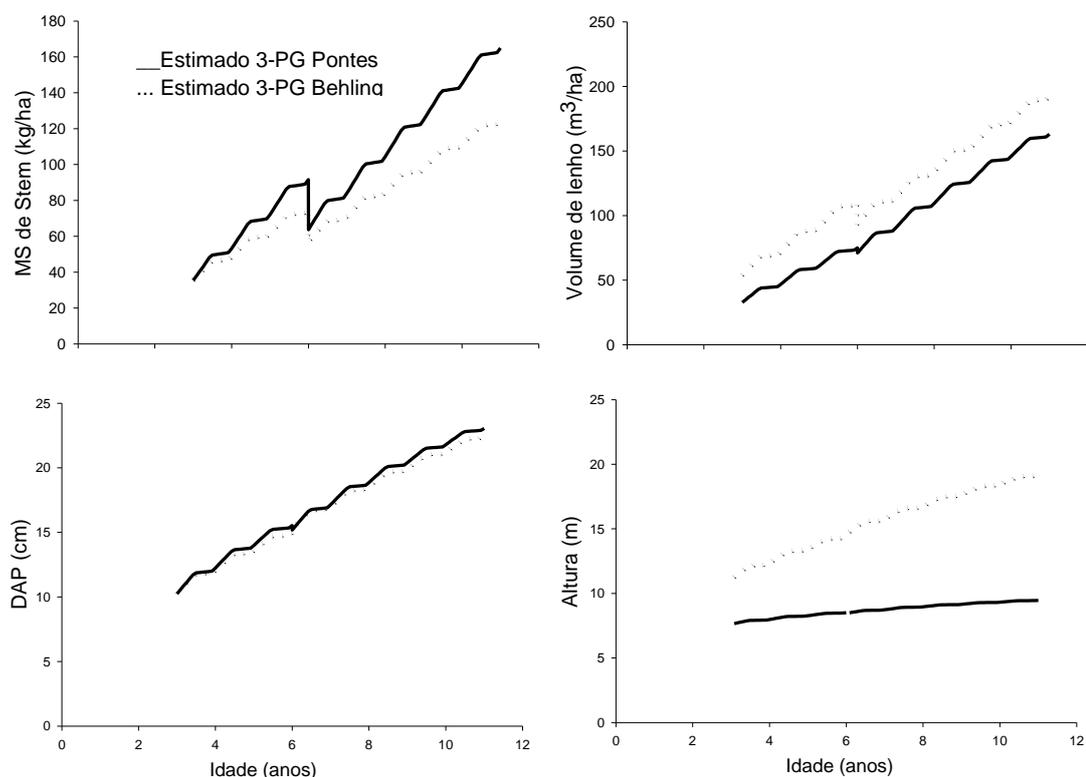


Figura 5: Estimativas geradas para as variáveis MS de stem, volume de lenho, DAP e Altura, utilizando a parametrização desenvolvida neste trabalho e pela parametrização realizada por Behling, 2009

As duas parametrizações diferiram estatisticamente entre si, principalmente no comportamento das variáveis pós-desbaste, por isso as duas parametrizações foram comparadas separadamente, antes e depois do desbaste, e a relação entre elas é pode observado na Tabela 4.

Tabela 4: Parâmetros da relação linear e correlação entre valores estimados pela parametrização realizado neste trabalho (Pontes) e os valores estimados pela parametrização realizada por Behling (Behling), antes e depois do desbaste, teste F (F_{H_0}) e teste t do erro médio ($t(\bar{\epsilon})$) para estimativa da biomassa de *stem*, volume de lenho, altura e DAP.

Variável	Relação Linear entre Pontes e Behling			Teste L&O		% Erro	
	β_0	β_1	$R\hat{y}$	$F(H_0)$	$t(\bar{\epsilon})$		
Antes do desbaste	Stem	11,500	0,6923	0,9997	*	*	13,89
	Volume	9,2127	1,3462	0,9997	*	*	-34,19
	Altura	-17,248	3,7123	0,9961	*	*	-37,26
	DAP	1,4066	0,8706	0,9999	ns	ns	2,28
Depois do desbaste	Stem	19,437	0,7047	0,9999	*	*	13,87
	Volume	11,879	1,1534	0,9997	*	*	-20,37
	Altura	-23,311	4,5482	0,9961	*	*	-20,37
	DAP	1,9556	0,9293	0,9996	ns	ns	-2,85

Era de se esperar este tipo de comportamento para as duas parametrizações, pois existe grande diferença entre a capacidade produtiva para as duas regiões em análise. A parametrização realizada por Behling, 2009, foi desenvolvida para a região de Tangará da Serra, que corresponde a sítios de alta capacidade produtiva, já a região de Santo Antônio do Leverger representada sítios de baixa capacidade produtiva. Estes resultados são corroborados pelos trabalhos realizados para eucalipto, que de modo geral, demonstram que este tipo de trabalho deve ser parametrizado para cada região de cultivo e até mesmo para cada material genético.

3.2 – Ajuste dos modelos de distribuição diamétrica

A utilização das equações definidas nos sistemas 1 e 2, utilizam como variável independente além do diâmetro médio e da idade atual e futura, os parâmetros da função Weibull em uma idade atual. Em casos de simulações para plantios já estabelecidos, pode-se utilizar a distribuição diamétrica real da área para idades iniciais e a partir dela projetar as distribuições na sequência de idades. Para simulações onde ainda não existem árvores plantadas, como alternativa, pode-se utilizar uma distribuição diamétrica teórica baseada em dados de literatura, sobre o comportamento médio da distribuição de diâmetros da cultura, na idade de interesse.

Neste trabalho foi considerada uma distribuição diamétrica real para idade de 3 anos, e a partir dela, foram geradas as distribuições para as idades posteriores.

Verifica-se que os dois sistemas de equações propostos para estimar os valores dos parâmetros β e γ da distribuição Weibull para uma idade futura geraram estimativas acuradas, apresentando valores relativamente altos de coeficiente de correlação que indicam que os ajustes foram satisfatórios para todas as equações, Além da análise do coeficiente de correlação, redistribuição de diâmetros foi avaliada com base na análise gráfica dos resíduos, e na comparação os quais são apresentados na Figura 6 e 7.

Sistema 1:

$$\gamma_2 = \exp(0,560907 + 0,007366 * q_2 + 1,603904 * \log(\gamma_1)) \quad R^2 = 0,8136 \quad (12)$$

$$\beta_2 = 0,202683 + 1,061884 * q_2 - 0,032996 * \beta_1 \quad R^2 = 0,9997 \quad (13)$$

Sistema 2:

$$\beta_2 = \beta_1 * (I_1/I_2) + 1,5732 * (1 - I_1/I_2) * q_2 \quad R^2 = 0,9880 \quad (\text{eq, 14})$$

$$\gamma_2 = \gamma_1 * (I_1/I_2) + 0,6907 * (1 - I_1/I_2) * q_2 \quad R^2 = 0,7784 \quad (\text{eq, 15})$$

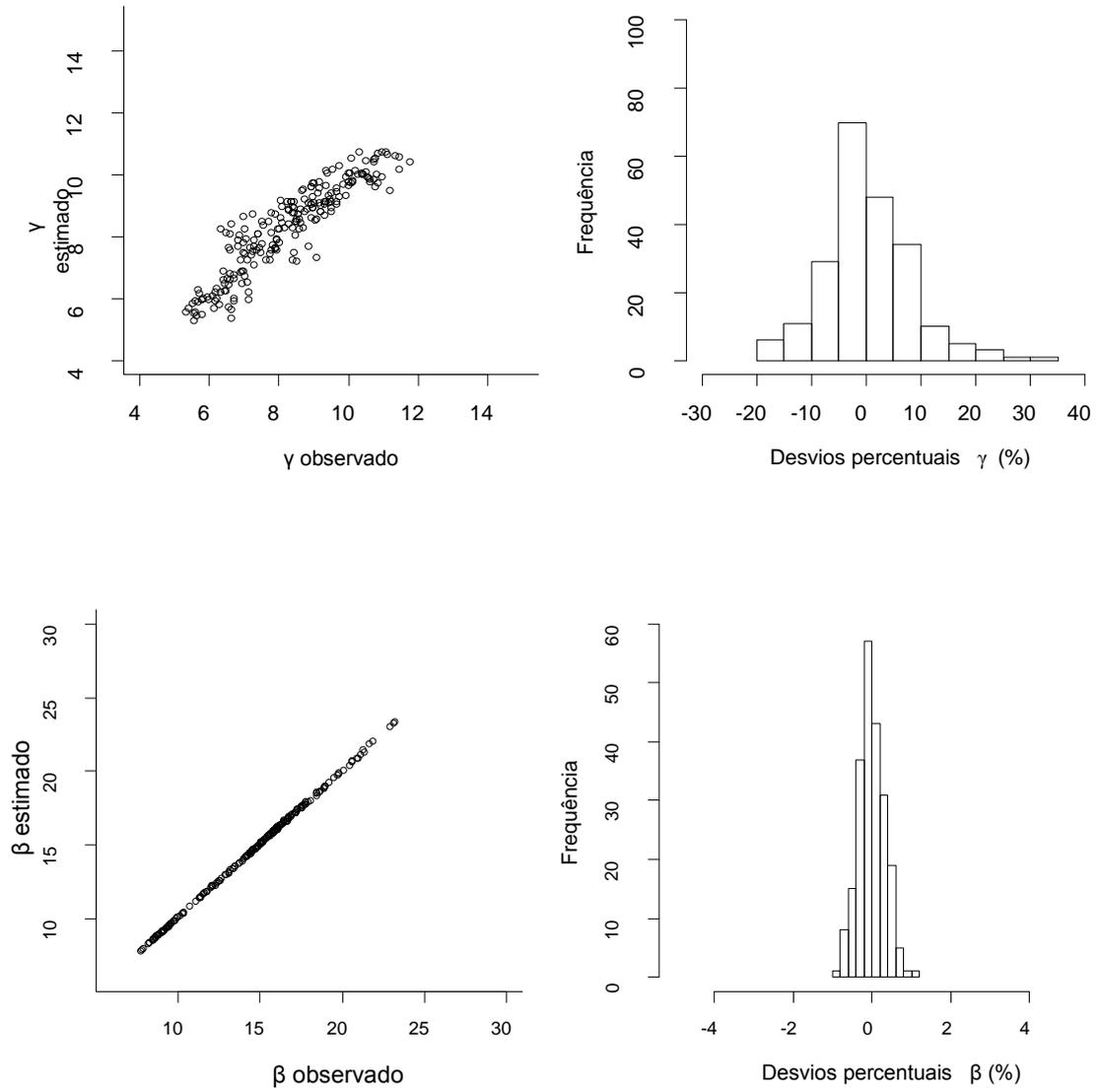


Figura 6: Distribuição dos desvios percentuais entre os valores observados e recuperados pelas equações que compõem o modelo de distribuição de diâmetro do sistema 1.

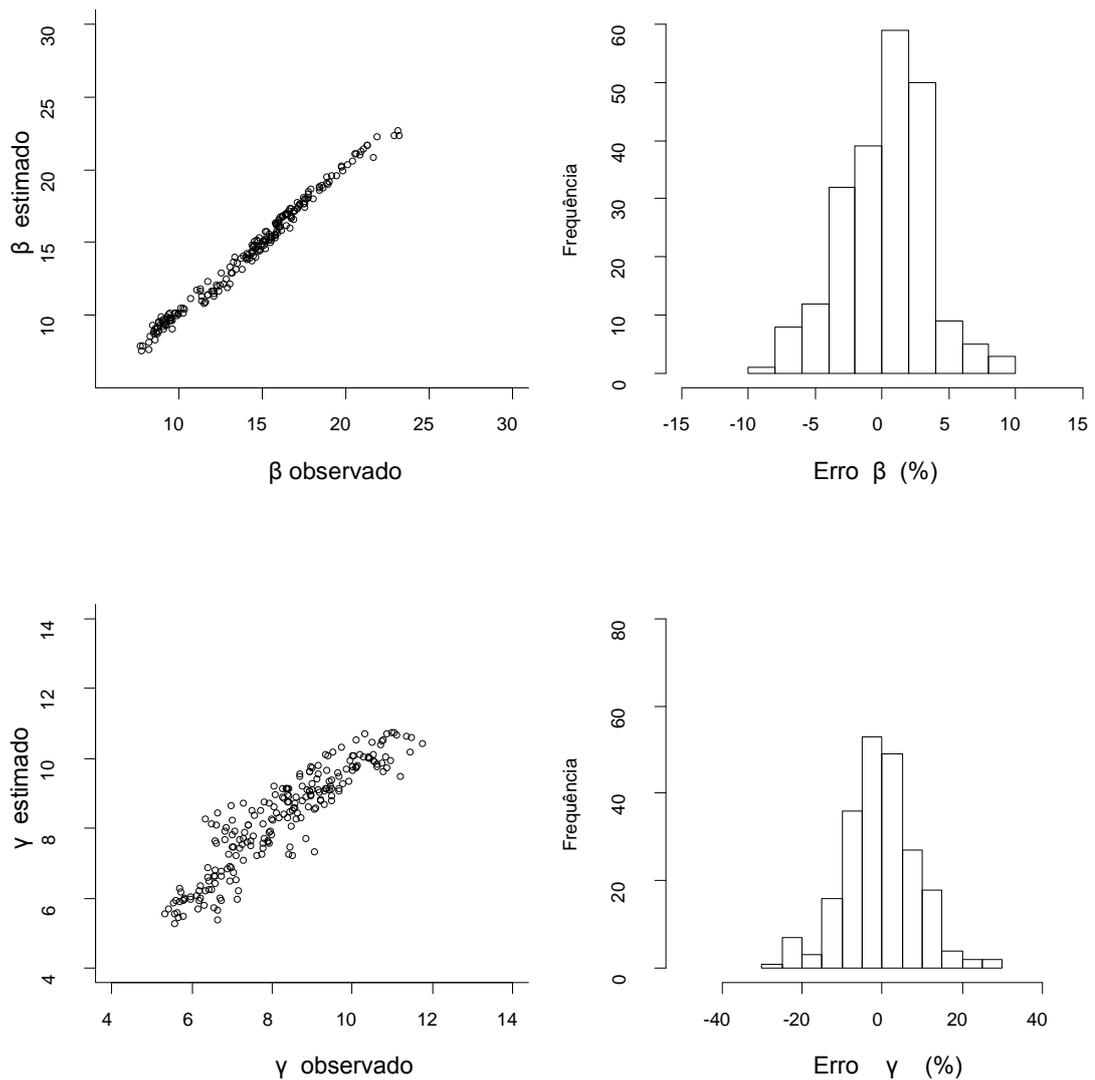


Figura 7: Distribuição dos resíduos percentuais entre os valores observados e recuperados pelas equações que compõem o modelo de distribuição de diâmetro do sistema 2,

Apesar do bom desempenho dos dois sistemas de equação, neste trabalho optou-se por utilizar as equações do sistema 1 para descrever os parâmetros da função Weibull. Esta escolha foi baseada na funcionalidade, e na maior capacidade de extrapolação dos modelos, pois o sistema 1 baseia-se na estimativa do diâmetro médio, que torna este sistema independente da capacidade produtiva do local, Cabe ressaltar que na disposição de dados confiáveis de inventário, e do objetivo de estimar estes parâmetros para um sítio específico o sistema 2 e perfeitamente aplicável e fornece estimativas consistentes, pois com ele é possível recuperar os parâmetros para a idade

atual, pois quando a idade futura (I_2) for igual à idade atual (I_1), a distribuição diamétrica na idade futura é igual à distribuição diamétrica na idade atual.

Partindo então do sistema de equações 1, da distribuição de diâmetros real para povoamentos de teca aos 3 anos e dos valores estimados de dap médio para uma sequência de idades, obtêm-se a seguinte distribuição de diâmetros, para povoamentos de 3, 4, 5 e 6 anos:

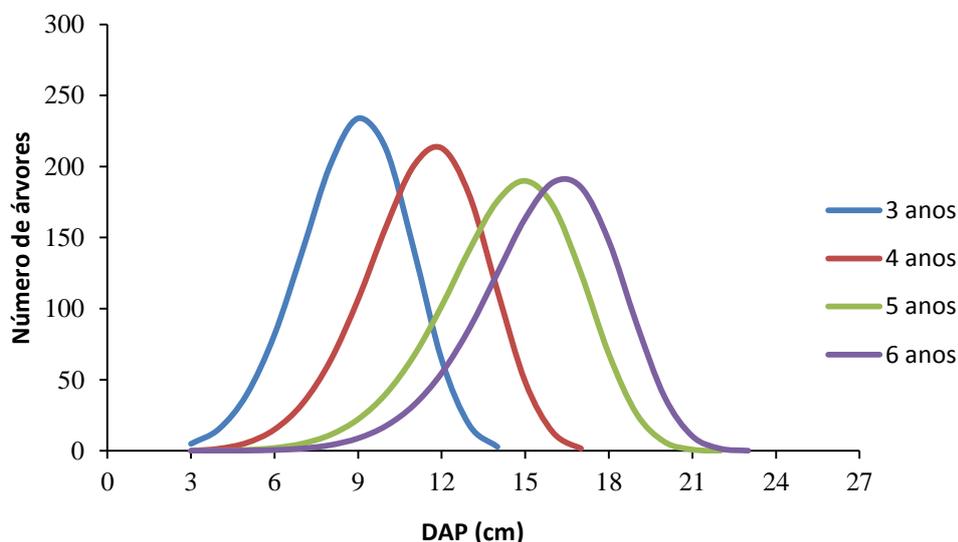


Figura 8: Projeção da distribuição diamétrica para idades futuras,

O procedimento proposto para utilização dos modelos de distribuição diamétrica acoplamento ao modelo 3-PG consiste em utilizar o modelo 3-PG, devidamente parametrizado e calibrado, para gerar a estimativa do diâmetro médio dos povoamentos de teca. Aplicando o valor do diâmetro médio estimado pelo 3-PG nas equações 12 e 13 descritas anteriormente, obtêm-se as estimativas de β e γ para uma idade futura. Em seguida, é calculada a proporção de árvores em cada classe de *dap* através da função Weibull (equação 7). Essas proporções, multiplicadas pelo número total de árvores por hectare, resultam na distribuição de árvores dentro de cada classe diamétrica. A partir do número de árvores dentro de cada classe diamétrica, estima-se também, a distribuição da massa de “*stem*”, e da área basal dentro de cada classe diamétrica. A simulação de desbaste é realizada, retirando a área basal desejada, iniciando pela menor classe de diâmetro, até atingir a proporção da área basal que determinará o desbaste. A partir do número de árvores remanescentes, calcula-se o valor da biomassa de “*stem*” que permanece na área, e esta retorna ao modelo 3-PG para dar continuidade às rotinas de simulação.

Como exemplo, considerando o diâmetro médio estimado pelo 3-PG aos seis anos de idade igual a 15,4 cm, e os parâmetros da distribuição inicial teórica, $\beta_1 = 16,1053$ e $\gamma_1 = 7,33$ e o número total de árvore por hectare igual a 1156 árvores, obtêm-se a distribuição de diâmetros conforme a Tabela 5:

Tabela 5: Distribuição diamétrica observada aos 6 anos para povoamentos de teca.

Classe de <i>dap</i> (cm)	F(x)	f(x)	N/ha	Área basal (m ² /ha)	Massa de <i>Stem</i> (kg/árv)	Distribuição da Massa de <i>Stem</i> por classe (t/ha)
3	0,0000	0,0000	0,0051	0,0000	1,8609	0,0000
4	0,0000	0,0000	0,0372	0,0000	3,5859	0,0001
5	0,0002	0,0002	0,1753	0,0003	5,9644	0,0010
6	0,0007	0,0005	0,6108	0,0017	9,0387	0,0055
7	0,0022	0,0015	1,7352	0,0067	12,8455	0,0223
8	0,0059	0,0037	4,2489	0,0214	17,4172	0,0740
9	0,0139	0,0080	9,2811	0,0590	22,7831	0,2115
10	0,0299	0,0160	18,4734	0,1451	28,9697	0,5352
11	0,0592	0,0293	33,9157	0,3223	36,0017	1,2210
12	0,1092	0,0499	57,7067	0,6526	43,9020	2,5334
13	0,1877	0,0785	90,7976	1,2052	52,6921	4,7843
14	0,3009	0,1132	130,8628	2,0145	62,3922	8,1648
15	0,4477	0,1468	169,7201	2,9992	73,0213	12,3932
16	0,6144	0,1667	192,7141	3,8747	84,5975	16,3031
17	0,7739	0,1594	184,2882	4,1830	97,1382	17,9014
18	0,8957	0,1219	140,8667	3,5846	110,6599	15,5883
19	0,9653	0,0696	80,4278	2,2804	125,1785	10,0678
20	0,9925	0,0272	31,4878	0,9892	140,7091	4,4306
21	0,9991	0,0066	7,5921	0,2630	157,2663	1,1940
22	0,9999	0,0009	0,9922	0,0377	174,8645	0,1735
23	1,0000	0,0001	0,0598	0,0025	193,5170	0,0116

A área basal calculada pela expressão $AB = \left(\frac{\pi \text{dap}^2}{40,000}\right) * N$, a massa de *stem* (kg/árv) foi obtida aplicando a equação MS de *stem* (kg/árv) = 0,1528 DAP^{0,2806} e a distribuição da massa (t/ha) obtida por: $\frac{MS*N}{1000}$,

Dessa forma, o somatório da massa de *stem* e da área basal nas diferentes classes é igual à massa de “*stem*” e área basal simulada pelo 3-PG.

A área basal total simulada para povoamentos de seis anos foi igual a 23 m²/ha e a massa de “*stem*” igual a 97, 43 t/ha. Considerando a distribuição diamétrica da Tabela 5, um desbaste de 40% da área basal corresponderia à remoção de 9,2 m²/ha de AB. Esse 9,2 m²/ha são retirados a partir das menores classes, dessa forma que foram

retiradas todas as árvores até a classe de 15 cm de diâmetro mais 104 árvores da classe de 16 cm. No Total foram retiradas da área 621 árvores.

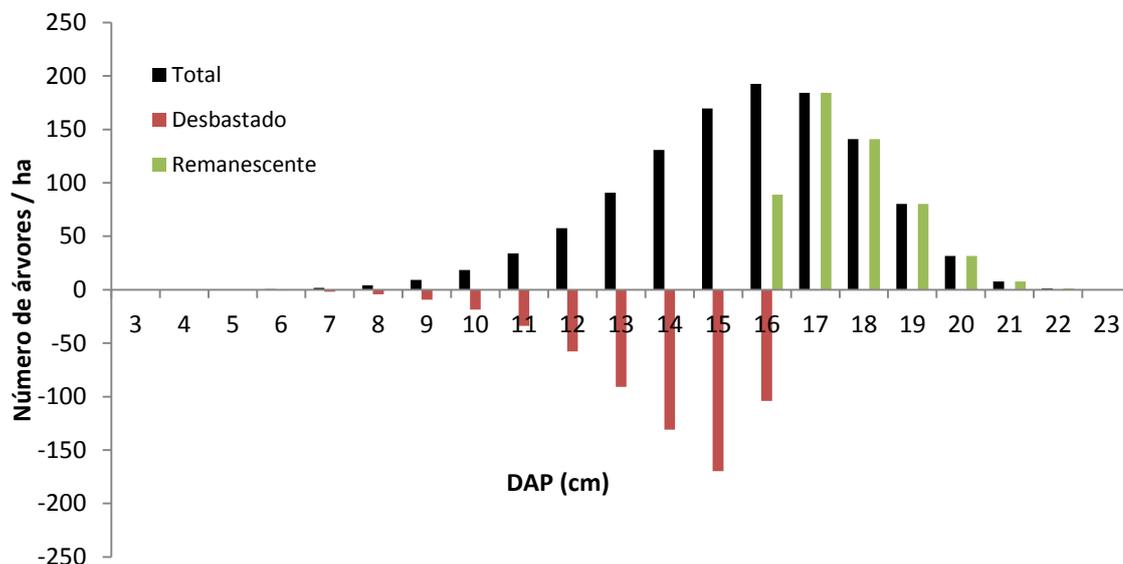


Figura 9: Distribuição de diâmetros total, desbastada e remanescente aos 6 anos, assumindo um desbaste de 40% da área basal (os valores negativos indicam número de árvores a serem desbastadas).

A massa de “*stem*” remanescente na área correspondente as 535 árvores foi igual a 60,70 t/ha, que utilizando a equação 8, nos permite recalculer o novo diâmetro médio do povoamento, maior que a média antes do desbaste. O valor da massa de “*stem*” retornar ao 3-PG, como nova estimativa da massa inicial, para dar continuidade às rotinas de simulação.

4 - CONCLUSÃO

Foi obtida a parametrização do modelo 3-PG para região de Santo Antônio do Leverger – MT, a qual apresentou boas estimativas para as variáveis de crescimento e produção de massa de *stem*, massa de folhas, volume de lenho, dap e altura em plantios de teca.

As estimativas de crescimento e produção obtidas pela parametrização do modelo 3-PG para a região de Santo Antônio do Leverger diferem das estimativas obtidas pela parametrização existente para a região de Tangará da Serra, indicando a não universalidade das parametrizações do modelo para teca, ou seja, o mesmo deve ser parametrizado e calibrado para cada região de plantio desta cultura,

Os modelos de distribuição acoplados ao modelo 3-PG são uma nova ferramenta para auxiliar o manejar com desbaste em povoamentos de teca.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A.; LANDBERG, L. & SANDS, P.J. Parameterisation of 3-PG model for fast-growing *Eucalyptus grandis* plantations. **Forest Ecology and Management** 193: 179–195, 2004b.
- ALMEIDA, A.C.; LANDSBERG, J.J.; SANDS, P.J.; AMBROGI, M.S.; FONSECA, S.; BARDDAL, S.M. & BERTOLUCCI, F.L. Needs and opportunities for using a process-based productivity model as a practical tool in fast growing *Eucalyptus* plantations. **For. Ecol. Manage.**, 193:167–177, 2004a.
- ALMEIDA, A.C.; MAESTRI, R.; LANDSBERG, J.J. & SCOLFORO, J.R.S. Linking process-based and empirical forest models in *Eucalyptus* plantations in Brazil. In: Amaro, A.; Tomé, M. (Eds.), **Modeling Forest Systems**. CABI, Wallingford, UK, p.63–74, 2003.
- BAILEY, R.L., DELL, T.R. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. **Forest Science**. v.19, n.2, p.97-104, 1973.
- BEHLING, M. **Nutrição, partição de biomassa e crescimento de povoamentos de teca em Tangará da Serra – MT**. Viçosa: UFV, 2009. 176p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2009.
- BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; SILVA, M. L. M.; GARCIA, S. L. R.; CRUZ, J. P. Uso da função Weibull de três parâmetros em um modelo de distribuição diamétrica para plantios de eucalipto submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v. 34, n. 1, p. 147-156. 2010.
- BORGES, J. S. **Parametrização, calibração e validação do modelo 3-PG para eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 2009. 116p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2009.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. Editora UFV. Viçosa. 3.ed. atual. ampl. 2009. 548p. :il.
- COOPS, N.C. & WARING, R.H. Estimating maximum potential site productivity and site water stress of the Eastern Siskiyou Mountains of southwestern Oregon using a satellite driven process model, 3-PGS. **Can. J. For. Res.**, 31:143-154, 2001b.

- COOPS, N.C., WARING, R.H. & LANDSBERG, J.J. Assessing forest productivity in Australia and New Zealand using a physiologically-based model driven with averaged monthly weather data and satellite-derived estimates of canopy productivity. **For. Ecol. Manage.**, 104:113-127, 1998a.
- COOPS, N.C.; WARING, R.H. & LANDSBERG, J.J. Estimation of potential forest productivity across the Oregon transect using satellite data and monthly weather records. *Int. J. Remote Sens.* 2000. (in press).
- COOPS, N.C.; WARING, R.H. & LANDSBERG, J.J. **The development of a physiological model (3-PGS) to predict forest productivity using satellite data.** In: Nabuurs, G.; Nuutinen, T.; Bartelink, H.; Koorhonen, M. (Eds.). *Forest Scenario Modelling for Ecosystem Management at Landscape Level*, EFI Proceedings, p.173–191, 1998b.
- COOPS, N.C.; WARING, R.H. Assessing forest growth across southwestern Oregon under a range of current and future global change scenarios using a process model, 3-PG. **Global Change Biology**, 7:15-29, 2001a.
- DYE, P.J. Modelling growth and water use in four *Pinus patula* stands with the 3-PG process-based model. **S. Afr. For. J.**, 191:53–63, 2001.
- DYE, P.J.; JACOBS, S.; DREW, D. Verification of 3-PG growth and water-use predictions in twelve *Eucalyptus* plantations stands in Zululand, South Africa. **For. Ecol. Manage.**, 193:197-218, 2004.
- ESPREY, L.J.; SANDS, P.J.; SMITH, C.W. **Understanding 3-PG using a sensitivity analysis.** *Forest Ecology and Management*, n. 193, p. 235–250, 2004.
- JOHNSEN, K.; SAMUELSON, L.; TESKEY, R.; MCNULTY, S.; Fox, T. Process models as tools in forestry research and management. **For. Sci.**, 47:2-8, 2001.
- LANDSBERG, J.J.; WARING, R.H. & COOPS, N.C. Performance of the forest productivity model 3-PG applied to a wide range of forest types. **For. Ecol. Manage.**, 172:199-214, 2003.
- LANDSBERG, J.J.; WARING, R.H. A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. **Forest Ecology and Management**, 95:209-228, 1997.
- LEITE, H. G.; BINOTI, D. H. B.; GUIMARÃES, D. P.; SILVA, M. L. M.; GARCIA, S. L. R. Avaliação do ajuste das funções weibull e hiperbólica a dados de povoamentos de eucalipto submetidos a desbaste. **Revista Árvore**. Vol. 34, n. 2, p. 305 – 311. 2010.

- LEITE, H.G.; OLIVEIRA, F. H. T. Statistical procedure to test the indentity between analytical methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Vol. 33, nº 7-8, p. 1105-1118, 2002.
- NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; CARVALHO, A. F.; SOUZA, A. L. Modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de Eucaliptus sp. submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v. 29, n. 4, p. 579-589, 2005.
- OLIVEIRA, J.R.V. **Sistemas para cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e adubação de povoamento de teca-NUTRITECA**. Viçosa: UFV, Universidade Federal de Viçosa, 2003. 76p. (Tese de Mestrado).
- PASSIOURA, J.B. Simulation models: science, snake oil, education, or engineering? **Agron J.v.** 88, p. 690-694, 1996.
- SANDS, P.J.; LANDSBERG, J.J. Parameterisation of 3-PG for plantation grown Eucalyptus globulus. **Forest Ecology and Management** , 163:273-292, 2002.
- SILVA, G. G. C. **Nutrição, crescimento e sua modelagem em povoamentos de eucalipto em resposta à disponibilidade de água e nutrientes**. Viçosa: UFV, 2006. 116p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2006.
- SOARES, T. S. **Avaliação de modelos de distribuição diamétrica em povoamentos de eucalipto não desbastados**. Viçosa: UFV, 2006. 75p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2006.
- STAPE, J.L. **Production ecology of clonal eucalyptus plantations in northesastern Brazil**. 2002. 225p. Tese (Doutorado) - Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 2002.
- TICKLE, P.K.; COOPS, N.C. & HAFNER, S.D. Assessing forest productivity at local scales across a native eucalypt forest using the spatial model, 3-PGSPATIAL.For. **Ecol. Manage.**, 152:275–291, 2001.
- WHITEHEAD, D.; HALL, G.M.J.; WALCROFT, A.S.; BROWN, K.J.; LANDSBERG, J.J.; TISSUE, D.T.; TURNBULL, M.H.; GRIFFIN, K.L.; SCHUSTER, W.S.F.; CARSWELL, F.E.; TROTTER, C.M.; JAMES, I.L. & NORTON, D.A. Analysis of the growth of rimu (*Dacrydium cupressinum*) in South Westland, New Zealand, using process-based simulation models. *Int. J. Biometeorol*, 46:66–75, 2002.

CAPÍTULO 2

SISTEMAS DE RECOMENDAÇÃO DE CORRETIVOS E FERTILIZANTES COM BASE EM BALANÇO NUTRICIONAL (FERTI-UFV TECA) E DE DIAGNOSE DO ESTADO NUTRICIONAL (NUTRI-UFV TECA) PARA A TECA

RESUMO

Um dos principais fatores que limitam crescimento e a produtividade da teca é a nutrição mineral. As recomendações de adubação para esta cultura podem ser geradas a partir dos Sistemas de Recomendação de Adubação com base em balanço nutricional (FERTI-UFV), os quais já foram desenvolvidos, para diversas culturas, incluindo teca. Esses sistemas são compostos por três módulos: a) o que estima a demanda e o requerimento nutricional da cultura para obtenção da meta de produtividade; b) o que estima o suprimento de nutrientes pelo solo; e c) o que calcula o balanço entre a requerimento e o suprimento de nutrientes e estima as quantidades de fertilizantes e corretivos a serem aplicados para atender a essa demanda. A demanda nutricional é estimada a partir da meta de produtividade esperada e do coeficiente de utilização biológico (CUB) de cada nutriente. Nas parametrizações existentes, para a teca, foram utilizados valores médios para os CUBs, porém o CUB varia com aumento da idade e a disponibilidade de nutrientes no solo. Uma vez obtidas e aplicadas as recomendações geradas pelo sistema FERTI-UFV TECA, num dado momento do ciclo de crescimento, pode-se fazer análise foliar, cujos resultados podem ser interpretados com auxílio do sistema NUTRI-UFV TECA. O objetivo deste trabalho foi aprimorar o subsistema planta dos sistemas FERTI-UFV TECA e NUTRI-UFV TECA para plantios dessa cultura no Estado de Mato Grosso. Para tanto, o trabalho foi conduzido na região de Sto. Antônio do Leverger – MT, em plantios seminais pertencentes a empresa Companhia Vale do Araguaia. Foram amostradas três árvores dentro de cada idade (3, 4, 5, 6, 7, 8 e 11 anos) classificadas em árvore inferior ($\leq \bar{x} - s$), média ($\bar{x} - s \leq \bar{x} \leq \bar{x} + s$) e superior ($\geq \bar{x} + s$). As árvores foram abatidas, e seus componentes separados em folha, galhos e tronco. Os teores dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Mn, Cu e B) no tecido foliar, foram determinados pelos métodos rotineiros, sendo utilizados para o cálculo das respectivas eficiências nutricionais. Para a parametrização do NUTRI-UFV TECA, foram utilizados dados de teores de nutrientes obtidos de 10 municípios do Estado do Mato Grosso abrangendo, em conjunto, plantios de 1 a 11 anos. Os povoamentos foram estratificados em duas classes (classe I = árvores de até 5 anos e classe II = árvores

maiores de 5 anos). A população de referência, para cada classe, foi constituída das árvores que apresentaram dap maior que a média. Na população de referência foram calculadas as normas DRIS e Kenworthy necessárias para parametrizar o NUTRI-UFV TECA. Com o auxílio do NUTRI-UFV TECA parametrizado com as normas (específicas e gerais) foram obtidos os diagnósticos do estado nutricional para plantios de teca, para esta região. Os nutrientes tiveram comportamento diferente dependendo do componente da planta avaliado, nas folhas os teores de N, P, K, S, Zn, Fe, Cu, e B decresceram, enquanto os teores de Ca, Mg e Mn aumentaram, em função do crescimento em dap. Nos galhos os teores de N, Ca, Mg e Mn se mantiveram constantes, enquanto que os teores de P, K, S, Zn, Fe, Cu e B decresceram com o dap. No tronco os teores de N, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn, Cu e B decresceram e os teores de P e S se mantiveram constantes. Uma vez que os teores dos nutrientes variaram, verifica-se que o valor de CUB, que é o inverso do teor, também variou em função do dap. Assim, o uso de valores médios de CUB, independentemente do dap, pode gerar estimativas pouco acuradas para a demanda nutricional. Dessa forma os valores de CUB obtidos foram utilizados para aprimorar o sistema FERTI-UFV TECA. Para o sistema NUTRI-UFV TECA foram calculados os conjuntos de normas específicas (por classe de idade) e gerais. As normas específicas foram comparadas com as normas tidas como gerais mediante o teste *t* para as médias. As normas gerais diferem estatisticamente das normas específicas, portanto, o uso de normas específicas são mais recomendadas. A avaliação do estado nutricional dos plantios de Sto. Antônio do Leverger mostra que o Fe e Ca foram os nutrientes em níveis mais adequados nos plantios, seguidos por $Mn > Zn > N$ e $Cu > Mg > S > K > P > B$. Ressaltando que os nutrientes mais limitantes para estes plantios são o P, K e B. Os valores de CUB em função da idade são úteis para aprimorar o sistema FERTI-UFV TECA para essa cultura no Estado do Mato Grosso. As normas geradas neste trabalho foram úteis para o aprimoramento do sistema NUTRI-UFV TECA para a diagnose do estado nutricional de plantios de teca no Estado do Mato Grosso, sendo recomendado o uso de normas específicas por classe de idade.

Palavras-Chave: *Tectona grandis*, balanço nutricional, requerimento de nutrientes, suprimento de nutrientes, modelagem, FERTI-UFV TECA, normas DRIS, normas Kenworthy.

CHAPTER 2

RECOMMENDATION SYSTEMS OFFERTILIZER AND LIME FOR TEAK PLANTATIONS BASED IN THE NUTRITIONAL BALANCE (FERTI-UFV TECA) AND THE DIAGNOSE OF THE NUTRITIONAL STATUS (NUTRI-UFV TECA)

SUMMARY

Mineral nutrition is one of the most important factors limiting teak productivity. Fertilizer recommendations for teak plantations can be generated by Recommendation Systems based in the nutritional balance (e.g. FERTI-UFV), which has already been developed for several species. Those systems are composed by three modules: I) the nutrient demand and requirement according the desired productivity; II) estimation of how much nutrient soils can provide; and III) the difference between nutrient requeriment and nutrient provided by the soil, estimating the amount of lime and fertilizer to be used. Nutritional demand is estimated for each nutrient according the desired productivity and the biological utilization coefficient (BUC). Even though BUC varies with age and nutrient availability in soil, we used average BUC values in our parameterizations. After the recommendations have been generated by the FERTI-UFV TECA and applied to teak stands, the nutrient status of these stands can be monitored throughout its cycle by NUTRI-UFV TECA system, which interprets the results of leaf analysis. The objective of the present work was to improve the plant subsystem of the FERTI-UFV TECA and the NUTRI-UFV TECA systems for teak plantations in the Mato Grosso state, Brazil. The work was carried out at plantations owned by Vale do Araguaia Company located at Santo Antônio do Leverger region. Three teak trees were sampled in teak stands at different ages (3, 4, 5, 6, 7, 8, and 11 years), classified according to their DAP as inferior ($\leq \bar{x} - s$), mean ($\bar{x} - s \leq \bar{x} \leq \bar{x} + s$), and superior ($\geq \bar{x} + s$), and then they were cut and its components separated into leaves, branches, and trunk. Leaf nutrient status (N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Mn, Cu e B) was determined and used to access nutritional efficiencies of the nutrients. In order to parameterize NUTRI-UFV TECA data on nutrient status of plantations from 10 different locations in the MatoGrosso state were used. Those stands were at different ages and classified as I (trees up to 5 years old) or II (trees older than 5 years). The reference population for each class was formed by the trees that showed DBH higher than the average. For this reference population DRIS and Kenworthy standards were estimated in order to parameterize NUTRI-UFV TECA. Then, this parameterized NUTRI-UFV TECA was

used to assess the nutritional status of teak plantations for this region. As the results indicated, nutrient concentrations showed different patterns among the tree components studied. In leaf tissues the nutrient concentration as a function of DAP decreased for N, P, K, S, Zn, Fe, Cu, and B, and increased for Ca, Mg, and Mn. For branches, N, Ca, Mg, and Mn did not show any significant change, while P, K, S, Zn, Fe, Cu, and B concentrations decreased with DAP. For the trunk, the concentrations of N, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn, Cu, and B decreased, while P and S levels were constant. As BUC is the inverse of nutrient levels, it also varied as a function of DBH, which means that the use of mean BUC values could bias the nutritional demand estimate. In this sense, BUC values were optimized in order to improve FERTI-UFV TECA system. For the NUTRI-UFV TECA system, general and specific standards (by class of age) were calculated. A comparison showed that they are statistically different, therefore the use of specific standards are recommended. However, the variation of BUC with age is useful to improve the FERTI-UFV TECA system for teak plantations in the Mato Grosso state. Also, the standards obtained in this work are useful to improve the NUTRI-UFV TECA system, as a nutritional status diagnosis tool.

Keywords: *Tectona grandis*, nutritional balance, nutrient requirement, nutrient supply, modeling, FERTI-UFV TECA, DRIS standards, Kenworthy standards.

1 - INTRODUÇÃO

A adubação e a nutrição mineral das plantas estão entre os fatores que mais têm afetado a produtividade de espécies florestais, as quais são, na maioria das vezes, implantadas em solos de baixa fertilidade natural.

Grande parte das recomendações de corretivos e fertilizantes para diferentes culturas são sugeridas no país, para diferentes regiões por meio de resultados de pesquisas de correlação e calibrações (Raffaelli, 2002). Nesses trabalhos de correlação são utilizados solos comuns da região, onde são realizados ensaios com doses crescentes de nutrientes visando obter a produtividade de máxima eficiência econômica, gerando assim as tabelas de recomendação de fertilizantes muito utilizadas para diversas culturas (Raffaelli, 2002). Porém, essas tabelas não consideram que as doses recomendadas dos nutrientes variam continuamente com a produtividade esperada, com o teor e com a capacidade tampão do nutriente no solo (Oliveira, 2002).

Um novo enfoque dado às recomendações de adubação, utilizando Sistemas de Recomendação, tem propiciado doses de fertilizantes e corretivos mais criteriosas e com melhor fundamentação teórica do que aquelas contidas nas tabelas.

Para teca, por se tratar de uma cultura introduzida recentemente no país, a pesquisa em nutrição mineral de teca é ainda recente, cabendo ressaltar a carência de trabalhos nessa área para as condições de cultivo dessa espécie no Brasil. Poucos trabalhos como o de Oliveira, 2003; Serigatto, 2003, Behling, 2009, Pontes et al., 2010, e Lourenço et al., 2010, todos desenvolvidos no Estado de Mato Grosso, relacionam o estado nutricional e o crescimento de plantios de teca com fatores do solo.

Assim, propõe-se que as recomendações de adubação para povoamentos de teca sejam mais confiáveis do ponto de vista técnico e, principalmente, mais propensas a ajustes com bases científicas, em relação às tabelas, mediante o desenvolvimento e utilização de sistemas para recomendação de adubação baseados em modelos matemáticos (Oliveira, 2003).

No Brasil, os Sistemas de Recomendação de Adubação com base em balanço nutricional iniciaram-se com a cultura do eucalipto - NUTRICALC (Barros et al., 1995), sendo que posteriormente esses sistemas foram desenvolvidos para atender a diversas culturas: tomate (Mello, 2000), milho (Carvalho, 2000), café (Prezotti et al., 2001), cana-de-açúcar (Freire, 2001), arroz (Raffaelli, 2002), soja (Santos, 2002), coco

(Rosa, 2002), algodão (Possamai, 2003), pastagens (Santos, 2003), banana (Oliveira et al., 2005), abacaxi (Oliveira et.al, 2002) e teca (Oliveira, 2003; Behling 2009).

A primeira versão do FERTI-UFV TECA foi desenvolvida por Oliveira (2003), na qual foi considerada uma sequência cronológica de árvores de teca com 29, 41 e 53 meses, obtidos de diferentes áreas (Tangará da Serra, Rio Claro e Juruena - MT). Este trabalho foi sucedido por Behling (2009), que parametrizou o mesmo sistema utilizando outra sequência de idades 17, 29, 64 e 90 meses para área de Tangará da Serra - MT, cuja idade de 29 meses foi à mesma área utilizada por Oliveira, 2003. Estes autores constataram que o uso do sistema FERTI- UFV TECA permitiu recomendar com melhor fundamentação teórica, fertilizantes e corretivos.

Por outro lado, o ponto comum entre essas parametrizações está no cálculo da eficiência nutricional, em que foram utilizados valores médios para a eficiência nutricional de cada nutriente ao longo das idades avaliadas.

Esses sistemas são compostos por três módulos: o primeiro, que estima a demanda nutricional da cultura para obtenção de definida meta de produtividade; o segundo, que estima o suprimento de nutrientes pelo solo, com base em resultados de análises químicas do solo e camada de solo explorada pelas raízes e o terceiro, que calcula o balanço entre a demanda e o suprimento de nutrientes e estima as quantidades de fertilizantes e corretivos a serem aplicados para atender a essa demanda (Cantarutti et al., 2007).

Os testes de validação dos sistemas FERTICALC, atualmente denominados FERTI-UFV, têm demonstrado que as recomendações são muito mais sensíveis às variações nas características de solo e planta do que as tabelas tradicionalmente usadas (Cantarutti et al., 2007).

No que tange à demanda pela planta, para o bom desempenho desses sistemas em povoamentos florestais, é fundamental que se obtenham estimativas acuradas da demanda dos nutrientes pelas plantas, sendo necessária a obtenção de dados referentes à eficiência de utilização de nutrientes para a produção de lenho e de tronco, e da partição de biomassa e de nutrientes para os demais componentes das árvores, levando também em conta a serapilheira (Barros et al., 2000).

A demanda nutricional pode ser estimada a partir da meta de produtividade esperada e do coeficiente de utilização biológico (CUB) de cada nutriente. O CUB é a quantidade de matéria seca produzida pela quantidade do nutriente nela contida, correspondendo ao quociente de utilização proposto por Steenbjerg & Jackobsen

(1963), citados por Araújo (2000), que, em essência, como demonstrado por esses autores, é o inverso do teor do nutriente.

Assim, como consequência da ciclagem bioquímica, ou seja, da translocação de nutrientes de tecidos de maior para os de menor idade fisiológica, com o crescimento e formação de novos tecidos, o CUB dos nutrientes móveis na planta (N, P, K e Mg) geralmente não é constante, aumentando com a idade. Logo, há a necessidade de se obter valores de CUB ao longo de uma sequência de idade das árvores, visto que para a parametrização existente (Oliveira, 2003; Behling, 2009) foram usados valores médios de CUB.

Trabalhos com eucalipto têm mostrado que os valores de CUB, para um mesmo material genético e idade das árvores variam inversamente com a disponibilidade de nutrientes no solo, fato que ressalta a necessidade de os valores de CUB serem obtidos, para a cultura da teca, em sítios contrastantes quanto à fertilidade, haja vista que nos trabalhos de Oliveira (2003) e Behling (2009) as árvores de teca avaliadas eram cultivadas em sítios com alta fertilidade do solo.

Para os plantios de teca, devido ao manejo com desbastes, é necessário que o sistema FERTI-UFV considere também as quantidades de nutrientes que retornam ao solo por intermédio da decomposição e ou liberação de resíduo, das árvores desbastadas, que ficam na área, quais sejam: folhas, galhos (copa) e raízes e caso se faça o descascamento no campo também o retorno do nutriente contido na casca. Novamente aqui, entra em cena o modelo de distribuição diamétrica (MDD) do povoamento, que permite indicar quais árvores devem ser desbastadas, e com base na biomassa dessas árvores e dos respectivos CUBs podem ser estimadas as quantidades de nutrientes contidas nos componentes das árvores desbastadas que permanecem na área, passíveis de retorno ao solo mediante a ciclagem biogeoquímica.

Uma vez obtidas e aplicadas as recomendações de correção da acidez e de fertilização, fornecidas pelo FERTI-UFV TECA, num dado momento do ciclo de crescimento das árvores, pode-se fazer a coleta de folhas e a análise química do tecido (análise foliar), cujos resultados devem ser interpretados de modo a se avaliar o estado nutricional do povoamento. Para tanto, devem ser avaliados o grau de balanço e o de equilíbrio nutricional.

O grau de balanço possui aceção mais quantitativa, podendo ser inferido dos teores de nutrientes considerados isoladamente, ou seja, um nutriente por vez. Para tanto, pode-se fazer uso, como proposto por Neves et al. (2008), do método Kenworthy

(Kenworthy, 1961), e para isso há que se dispor de normas (normas KW). Estas são a média e a variabilidade do teor de cada nutriente numa população de referência, geralmente de alta produtividade, pois se a produtividade é alta tem-se que, além da nutrição, os demais fatores de produção estão bem ajustados (Neves et al., 2008).

Já o grau de equilíbrio possui aceção mais qualitativa, podendo ser avaliado com base nas relações entre teores de nutrientes, dois por vez, ou seja, com base nas relações duais entre nutrientes, como feito no método DRIS (Beaufils, 1973). Para uso do DRIS, faz-se também necessário se dispor de normas. As normas DRIS, também obtidas em plantios de alta produtividade, são, portanto, a média de cada relação dual e a respectiva variabilidade (Beaufils, 1973).

O aplicativo computacional NUTRI-UFV TECA, devidamente parametrizado com as normas KW e normas DRIS, avalia o estado nutricional de plantios de teca, de modo integrado, ou seja, considera o grau de balanço (índices KW) e de equilíbrio (índices DRIS), bem como, com base no Potencial de Resposta à Adubação (PRA, Wadt, 1996), prioriza o(s) nutriente(s) que deve(m) integrar o programa de fertilização e indica também um fator de ajuste da dose, estabelecendo assim ligação quantitativa entre a diagnose e a recomendação.

Este trabalho teve como objetivo aprimorar o subsistema planta do sistema de recomendação de adubação para cultura da teca - FERTI-UFV TECA por meio do ajuste das relações de biomassa e da eficiência nutricional (CUB) nos diferentes compartimentos da planta e em uma sequência de idades de um mesmo site; e aprimorar o sistema NUTRI-UFV TECA para plantios dessa cultura no Estado de Mato Grosso.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1 – FERTI-UFV TECA: Submodelo planta

Os dados para realização deste trabalho foram obtidos de povoamentos de teca, localizados na região de Santo Antônio do Leverger, conforme descrito no capítulo 1.

Para obtenção dos teores de nutrientes nas plantas foram amostradas, dentro de cada idade, três árvores, selecionadas com base na classe de diâmetro (considerando a média (\bar{x}) e o desvio padrão (s)) de modo a se ter uma árvore inferior ($\leq \bar{x} - s$), uma árvore média ($\bar{x} - s \leq \bar{x} \leq \bar{x} + s$) e uma árvore superior ($\geq \bar{x} + s$). As árvores selecionadas foram

abatidas e seus componentes foram separados e pesados para quantificar a massa fresca de folha, galhos e tronco (lenho + casca).

Para a estimativa do peso de matéria seca foi retida uma amostra de cada componente que foi pesada (massa fresca) e posteriormente seca em estufa de circulação forçada a 70° C, até peso constante. A partir do peso da matéria fresca total e do teor de umidade da amostra, foi estimado o peso da matéria seca total, dos respectivos componentes, para todas as árvores abatidas.

Cada componente das árvores abatidas foi amostrado e enviado ao laboratório. Após pesadas e moídas, as amostras dos componentes das árvores foram analisadas para N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Mn, Cu e B. A extração de P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Mn foi realizada por digestão nitroperclórica. O P foi determinado por colorimetria pela redução do fosfomolibdato pela vitamina C (Braga & Deffelipo, 1974). O K foi dosado por fotometria de emissão em chama; O S (turbidimetria de sulfatos) e o Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn por espectrofotometria de absorção atômica (Tedesco et al., 1995). O N foi extraído por digestão sulfúrica, destilação com hidróxido de sódio, recebimento do destilado com ácido bórico e titulação com hidróxido de sódio 0,02 mol L⁻¹ (Bremner, 1996). O B foi determinado, colorimetricamente, após calcinação do material vegetal.

Foram ajustadas equações referentes ao modelo logístico, (equação 1), para os teores dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Mn, Cu e B no tronco, nos galhos e nas folhas das árvores de teca.

$$y = \frac{a}{1 + be^{-cx}} + \varepsilon \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: y é o teor do nutriente (no tronco, nos galhos e nas folhas) em g/kg para macronutrientes e mg/kg para micronutrientes; x é o dap (cm); e é a base dos logaritmos neperianos; e a , b e c são coeficientes empíricos, de ajuste, da equação; ε é o erro aleatório.

As equações foram obtidas com o auxílio do software CurveExpert 1.3. O modelo 3-PG (capítulo 1) foi utilizado para simular o dap médio das árvores nas diferentes idades. Este valor de dap foi utilizado como variável independente na equação descrita acima (equação 1), para gerar estimativas dos teores dos nutrientes nos componentes da planta.

Como a eficiência nutricional, expressa pelo coeficiente de utilização biológica (CUB) consiste, essencialmente, do inverso do teor do nutriente, a partir das estimativas geradas para o teor dos nutrientes, foram calculados os respectivos valores de CUB, invertendo os valores dos teores dos nutrientes. Dessa forma é possível modelar a variação da eficiência nutricional em função do crescimento em diâmetros das árvores.

O *dap* expressa o crescimento das árvores e este tem maior grau de universalidade, e assim maior capacidade de extrapolação, do que a contagem de anos, pois segundo Cantarutti et al. (2007) plantas cultivadas em ambientes onde os fatores de produção são limitantes, embora com a mesma idade cronológica, podem ser fisiologicamente mais jovens do que plantas que não sofreram restrições ao crescimento.

O crescimento está diretamente ligado à produção de biomassa; já o teor do nutriente resulta do quociente entre a taxa de acúmulo do nutriente e a taxa de crescimento da árvore. Uma vez estabelecidas essas relações, pode-se correlacionar o *dap* com o teor de nutrientes e incluir essas relações no sistema FERTI-UFV TECA. Dessa forma, o teor do nutriente e consequentemente o CUB passa a ser diretamente relacionado ao crescimento, possibilitando aprimorar o sistema, para que o mesmo aplicativo seja capaz de prever a demanda nutricional para sítios florestais com características distintas, e também ao longo do ciclo de crescimento das árvores.

A partir dos valores de produtividade e dos valores de CUB, calcula-se a demanda nutricional dos povoamentos. Para o cálculo do requerimento foram consideradas as mesmas taxas de recuperação dos nutrientes pela planta (TRpl), utilizadas no trabalho de Behling, 2009 apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Valores de taxa de recuperação de nutrientes pela planta (TRpl), ou equações que a estimam, utilizados no FERTI-UFV TECA.

Nutriente	TRpl ou respectiva equação	R2
N	0,65	-
P	$TRpl = (4,508 * \exp(0,0347 * P \text{ rem}) * Fc) / 100$	0,837
K	$TRpl = 87,506 * \exp(-0,0014 * \text{dose}) / 100$	0,735
Ca	0,48	-
Mg	0,57	-
S	$TRpl = (9,8 + 0,44 * P \text{ rem}) / 100$	-
Zn	0,10	-
Fe	0,10	-
Mn	0,10	-
Cu	0,10	-
B	0,10	-

Adaptado de Behling, 2009.

2.2 – FERT-UFV TECA: Submodelo solo

O cálculo da quantidade de nutriente suprida pelo solo será realizado em função do teor do nutriente no solo e da taxa de recuperação do nutriente pelo extrator. Neste trabalho foram utilizadas as mesmas taxas de recuperação utilizadas por Oliveira (2003) e Behling (2009). Dessa forma, a parametrização do submodelo solo não será modificada.

2.3 – Obtenção de normas para uso no NUTRI-UFV TECA

A base de dados para obtenção das normas necessárias para a parametrização do NUTRI-UFV TECA foi composta além dos dados de teores de nutrientes deste trabalho, para região de Santo Antônio do Leverger, por dados de diferentes municípios, representativos dos plantios de teca, no Estado do Mato Grosso. Estes dados foram retirados de literatura (Tabela 2), os quais encontram-se representados na (Figura 1), abrangendo, em conjunto, plantios de 1 a 11 anos de idade. Na amostragem, foram coletadas folhas do terço médio da copa e do terço médio dos ramos das árvores.

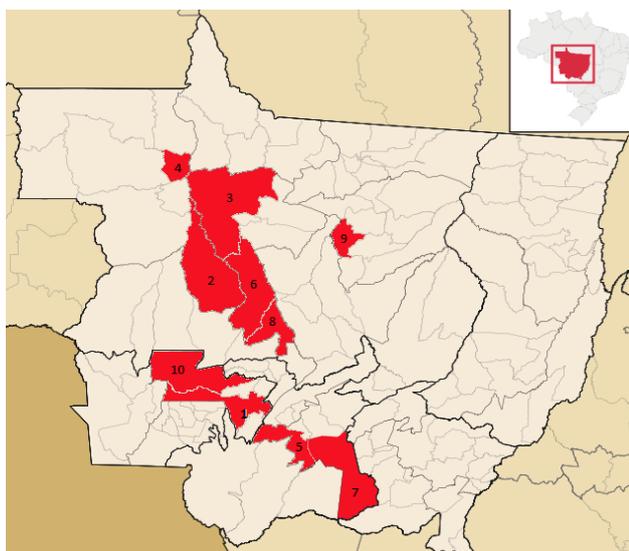


Figura 1: Mapa do Estado do Mato Grosso com a localização dos municípios onde se encontram os plantios de teca estudados: 1 - Barra do Burgues; 2 – Brasnorte; 3 – Juara; 4 – Juruena; 5 - Nossa Senhora do Livramento; 6 - Nova Maringá; 7 - Santo Antônio do Leverger; 8 - São José do Rio Claro; 9 – Sinop; 10 - Tangará da Serra.

Tabela 2: Localização dos municípios onde encontram-se os plantios de teca utilizados com base para parametrização do NUTRETECA e as respectivas referência bibliográfica.

Ponto	Município	Latitude	Longitude	Refêrencia
1	Barra do Bugres	15° 04' 22" S	57° 10' 51" O	Foloni, 2009*
2	Brasnorte	12° 09' 18" S	57° 58' 44" O	Foloni, 2009
3	Juara	11° 15' 18" S	57° 31' 12" O	Foloni, 2009; Oliveira, 2003
4	Juruena	10° 19' 04" S	58° 21' 32" O	Foloni, 2009
5	Nossa Senhora do livramento	15° 46' 30" S	56° 20' 45" O	Foloni, 2009
6	Nova Maringá	13° 01' 33" S	57° 04' 26" O	Foloni, 2009
7	Santo Antônio do Leverage	15° 51' 57" S	56° 04' 37" O	-
8	São José do Rio Claro	13° 26' 49" S	56° 43' 15" O	Oliveira, 2003; Foloni, 2009
9	Sinop	11° 50' 53" S	55° 38' 57" O	Foloni, 2009
10	Tangará da Serra	14° 37' 08" S	57° 29' 09" O	Oliveira, 2003; Behling, 2009; Foloni, 2009.

* José Marcos Foloni - Informação pessoal.

Para obtenção das normas, primeiramente é necessário à obtenção de uma população de referência que é representada pela população de alta produtividade. Para compor a população de referência, para a idade de um ano, foram escolhidas as árvores que apresentavam dap e altura maiores que a média. Para os plantios acima de um ano, foram escolhidas as árvores com dap maior que a média. Essa diferença entre os plantios de um ano, e os demais, deve-se a grande variabilidade que os plantios de teca apresentam nas idades iniciais.

Uma vez obtida à população de referência, essa base de dados foi estratificada em duas classes de idade: Classe I = árvores menores de 5 anos e classe II = árvores maiores de 5 anos), para obtenção de populações específicas. Dessa forma, foram obtidos três conjuntos de normas classificadas em: Normas Gerais (que levou em consideração toda a base de dados da população de referências e as Normas Específicas para população menor igual a 5 anos, e para população maior que 5 anos.

Na população de referência, as normas para uso no método Kenworthy (normas KW) foram obtidas por meio do cálculo da média e da variabilidade (desvio padrão e coeficiente de variação) dos teores de nutrientes. Já as normas DRIS foram determinadas por meio da média das relações duais, e suas respectivas variabilidades, expressas pelo desvio-padrão.

Depois de calculadas as normas, essas foram utilizadas para parametrizar o sistema NUTRI-UFV TECA e para avaliar o estado nutricional dos plantios dessa cultura em Santo Antônio do Leverger no Mato Grosso.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - FERT-UFV TECA - Submodelo Planta

A produção de matéria seca (MS) de tronco e as respectivas partições de biomassas são apresentadas na Figura 2, e as respectivas equações encontram-se na Tabela 3. Essas equações se adequaram bem aos dados medidos, conforme observado pelas estimativas de r^2 destas equações, os quais foram iguais à 0,96, 0,67, 0,74 e 0,64 para matéria seca de tronco (MSTr) e para as partições, em porcentagem, de biomassa para tronco (PARTTr), galhos (PARTG) e folhas (PARTF) respectivamente.

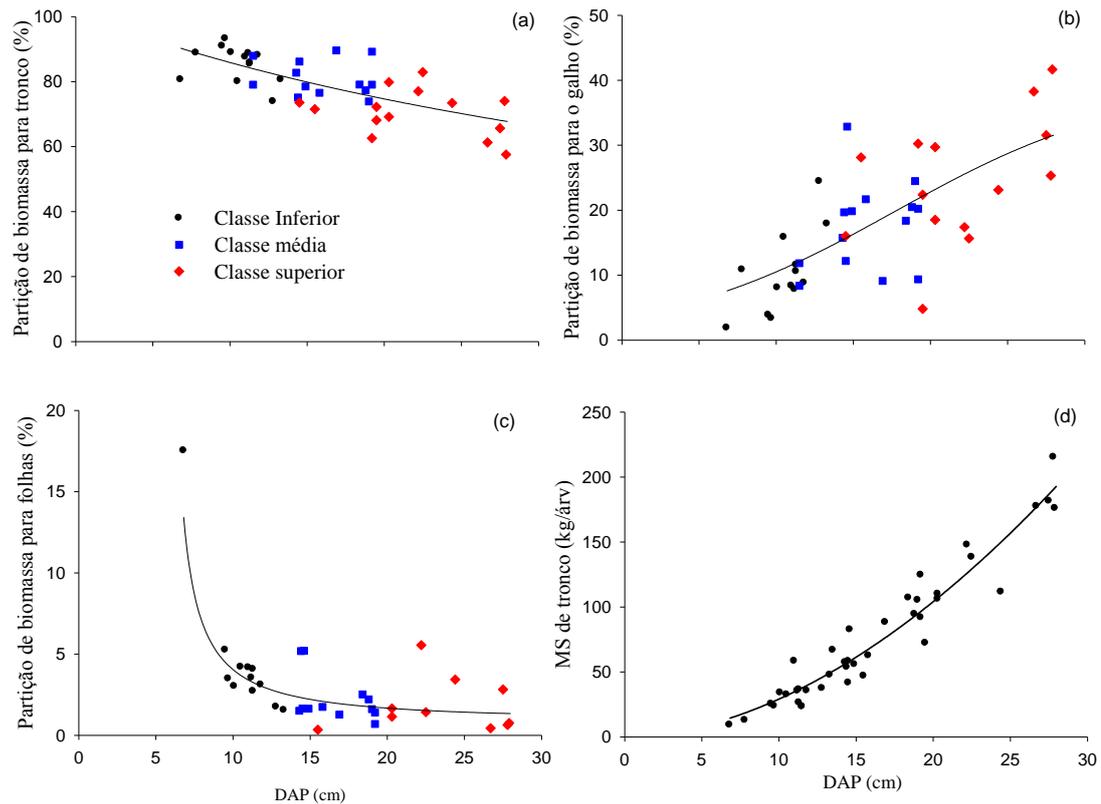


Figura 2: Partições de biomassa para tronco (a), galhos (b) e folhas (c); e biomassa produzida de tronco para plantios de teca em função do crescimento em diâmetro.

Tabela 3: Equações para partição de biomassa de tronco (PARTTr), de galhos (PARTG) e de folhas (PARTF), todas em %, e para massa seca de tronco (MSTr) (kg/árv), em árvores de povoamentos de teca, na região de Santo Antônio do Leverger, Mato Grosso, em função do DAP (cm).

Nutriente	Equação	R
PARTTr	$\hat{y} = 9,1177/(1-0,91007*\exp(-0,001799*dap))$	0,6961
PARTG	$\hat{y} = 39,6351/(1+10,4128*\exp(-0,1324*dap))$	0,7356
PARTF	$\hat{y} = 1,0470/(1-1,4670*\exp(-0,0683*dap))$	0,6353
MSTr	$\hat{y} = 0,4253*dap^{1,8361}$	0,9621

A partição de biomassa, para cada componente, dentro de cada classe diamétrica, não diferiu entre as classes diamétricas sendo possível o ajuste de uma única equação que correlaciona à produção e a partição em função do crescimento em diâmetro. Nota-se que a partição para tronco e para as folhas decrescem em função do

crescimento. Contrariamente, para os galhos, essa partição aumenta em função do crescimento.

Uma vez estabelecido estes relacionamentos, pode-se fazer uso do modelo 3-PG para estimar o *dap* médio das árvores de teca nas diferentes idades. Utilizando o modelo 3-PG para simular a produção em uma condição onde a fertilidade não fosse limitante à produção (utilizando fator de fertilidade (FR) igual a 0,9), obteve-se os valores de *dap* esperados para diferentes idades. A partir deste *dap* calculou-se então a biomassa de tronco produzida por meio da equação descrita na Tabela 3. De posse do valor de MS de tronco produzida e ainda com as equações da Tabela 3, pode-se calcular as respectivas biomassas de galhos e folhas produzidas. Esses valores são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Partição de biomassa para tronco (PARTTr), galhos (PARTG), folhas (PARTF) e as respectivas biomassa estimadas pelas equações da Tabela 3.

Idade	<i>dap</i>	PATTr (%)	PARTG (%)	PATF (%)	MSPA (kg/árv)	MSTTr (kg/árv)	MSG (kg/árv)	MSF (kg/árv)
3	10,58	85,14	11,12	3,64	38,00	32,35	4,22	1,38
4	13,45	81,64	14,39	2,53	61,54	50,24	8,85	1,55
5	15,89	78,89	17,46	2,08	86,50	68,24	15,10	1,80
6	17,99	76,68	20,20	1,83	111,80	85,72	22,59	2,05
7	20,41	74,29	23,34	1,65	145,46	108,05	33,95	2,39
8	22,55	72,30	25,98	1,53	179,58	129,83	46,66	2,74
9	24,48	70,61	28,16	1,45	213,66	150,86	60,17	3,09
10	26,21	69,15	29,94	1,39	247,42	171,10	74,08	3,43
11	27,79	67,88	31,39	1,34	280,65	190,51	88,09	3,77

Os teores de nutrientes em cada componente (tronco, galho e folhas), também foram correlacionados com o *dap*. Os teores dos nutrientes nas folhas são apresentados na Figura 3 para macronutrientes e na Figura 4 para micronutrientes e suas respectivas equações são mostradas na Tabela 5.

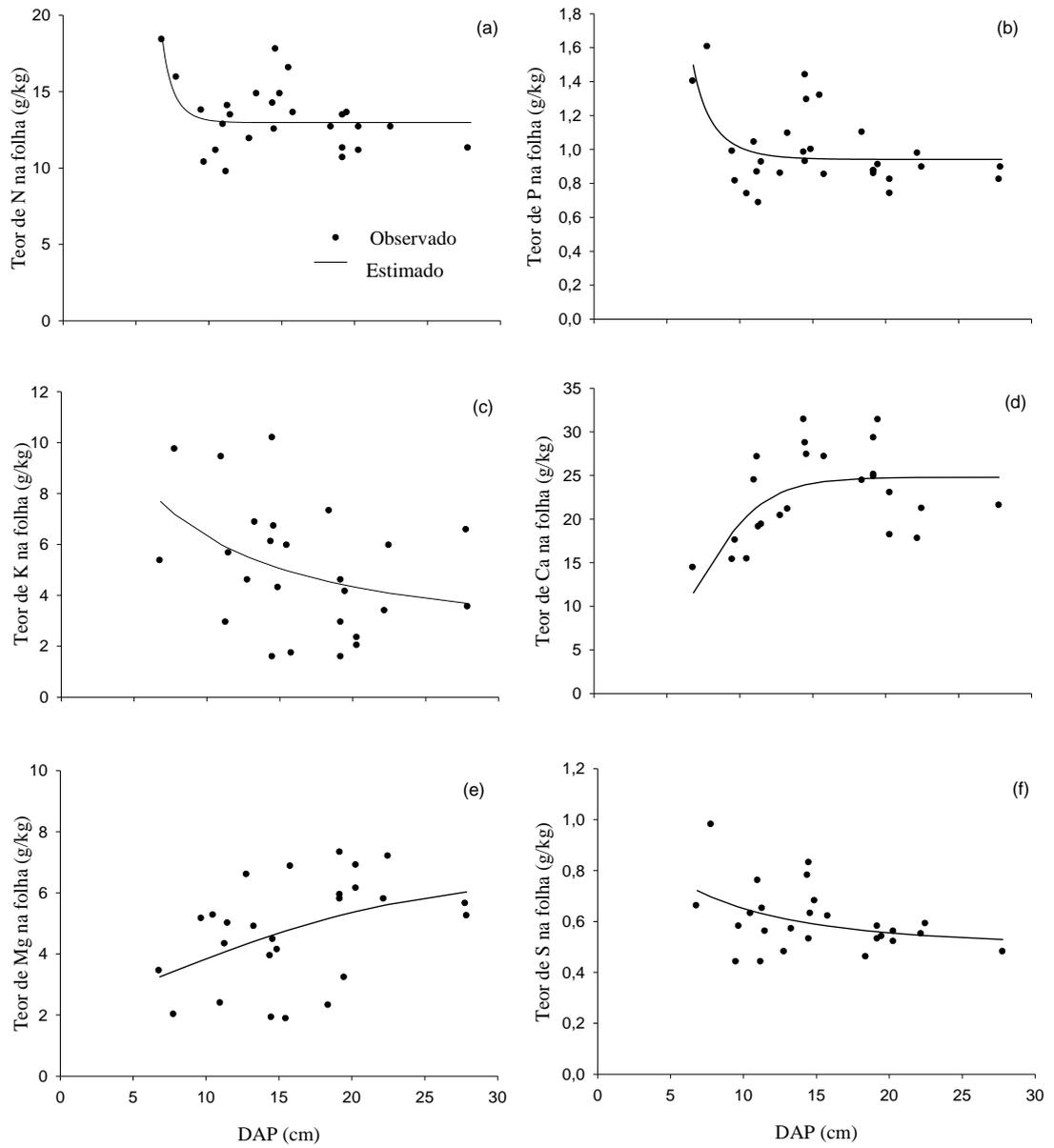


Figura 3: Relacionamento entre o teor de N(a), P(b), K(c), Ca(d), Mg(e) e S(f), nas folhas de árvores de teca em função do seu crescimento em *dap*.

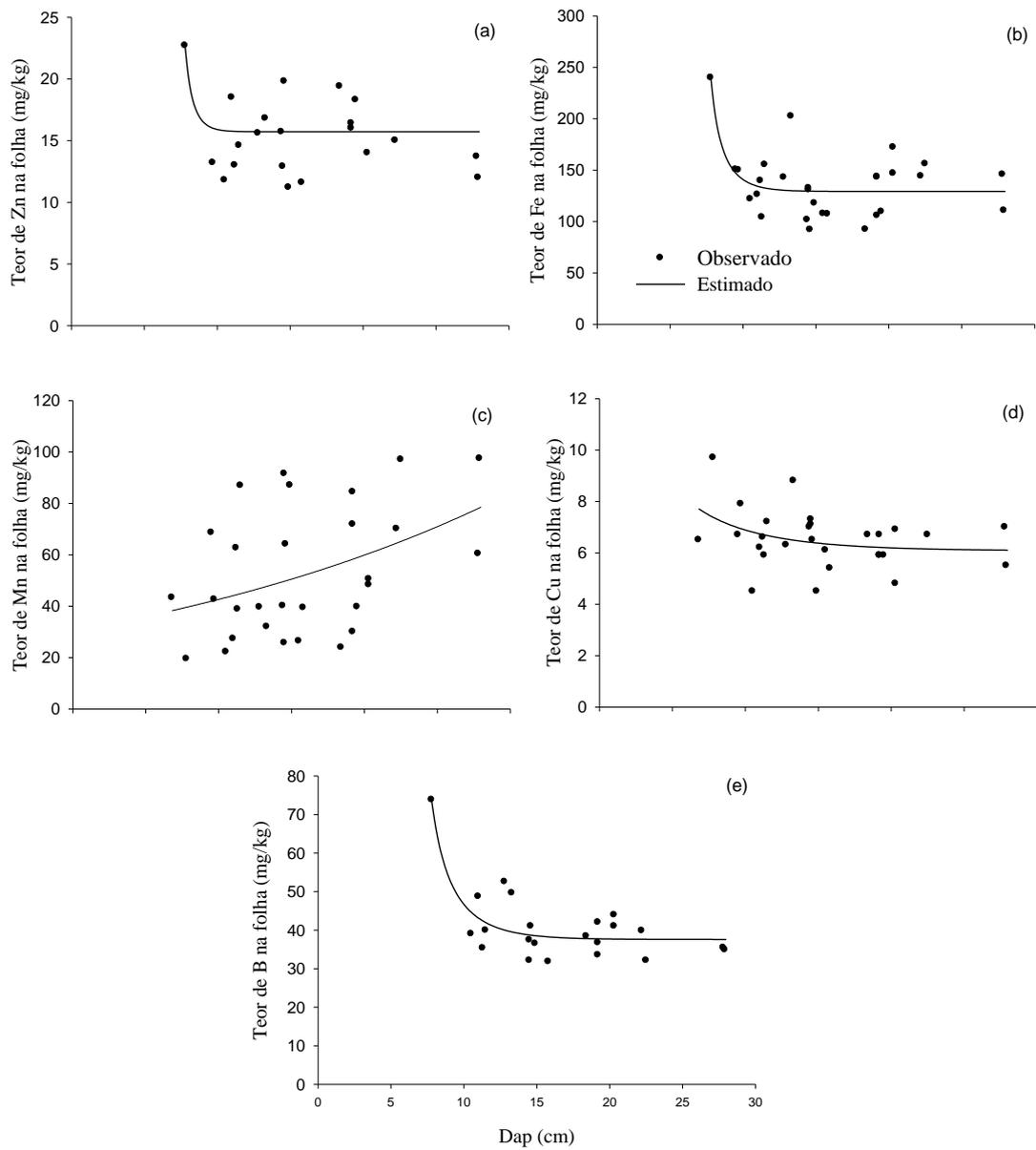


Figura 4: Relacionamento entre o teor de Zn(a), Fe(b), Mn(c), Cu(d), B(e), nas folhas de árvores de teca em função do seu crescimento em *dap*.

Tabela 5: Equações entre o teor de nutriente nas folhas em função do *dap* em árvores de Teca.

Nutriente	Equação	R
N	$\hat{y} = 12,9729 / (1 - 290,024 * \exp(-1,0097 * \text{dap}))$	0,5202
P	$\hat{y} = 0,9414 / (1 - 12,8417 * \exp(-0,5206 * \text{dap}))$	0,5099
K	$\hat{y} = 2,4896 / (1 - 0,8582 * \exp(-0,0350 * \text{dap}))$	0,3899
Ca	$\hat{y} = 24,7913 / (1 + 24,8440 * \exp(-0,4513 * \text{dap}))$	0,5755
Mg	$\hat{y} = 6,6089 / (1 + 2,2359 * \exp(-0,1129 * \text{dap}))$	0,4404
S	$\hat{y} = 0,5067 / (1 - 0,5616 * \exp(-0,0930 * \text{dap}))$	0,2540
Zn	$\hat{y} = 15,7253 / (1 - 35499,6 * \exp(-1,4945 * \text{dap}))$	0,5930
Fe	$\hat{y} = 129,1836 / (1 - 206,948 * \exp(-0,7828 * \text{dap}))$	0,6435
Mn	$\hat{y} = 31859,54 / (1 + 1047,854 * \exp(-0,0339 * \text{dap}))$	0,4105
Cu	$\hat{y} = 6,0803 / (1 - 0,7448 * \exp(-0,1848 * \text{dap}))$	0,3445
B	$\hat{y} = 37,5893 / (1 - 12,6107 * \exp(-0,4168 * \text{dap}))$	0,8158

De acordo com as figuras 3 e 4, os teores de N, P, K, S, Zn, Fe, Cu, e B decresceram conforme tendência curvilínea em função do aumento do *dap*. Considerando que a biomassa de tronco aumentou com o *dap*, conforme já referido e mostrado na Figura 2 e Tabela 5, o padrão verificado para os teores desses nutrientes é reflexo da ciclagem bioquímica, e era esperado principalmente para os nutrientes mais móveis na planta - que podem ser translocados para outras partes da planta com o avançar da idade fisiológica.

Contrariamente, os teores de Ca, Mg e Mn aumentaram em função do *dap*. Uma vez que a biomassa aumentou, para que o teor de um nutriente aumente, o acúmulo desse nutriente tem que aumentar em maior proporção do que o aumento da biomassa, o que sugere, aplicado a este trabalho, que as árvores de teca possam ter mecanismos mais eficientes para absorção de Ca, Mg e Mn e, ou, ainda, que a Teca tenha alta demanda por estes nutrientes.

De maneira geral, todos os órgãos da planta apresentam ao longo do seu desenvolvimento fases de acúmulo, teor constante e exportação de nutrientes. Por outro lado, o teor de cada nutriente apresenta também um padrão de mudança durante o desenvolvimento, maturidade e senescência do tecido. Segundo Cantarutti et al., 2007, os teores de N, P, K, S, Cu, Zn, e B na folha, em geral, diminuem com o

envelhecimento do tecido, enquanto os de Ca e Mn aumentam e os de Mg aumentam ou permanecem constantes, o que corrobora com os resultados encontrados neste trabalho.

Os teores de nutrientes nos galhos são apresentados nas Figuras 4 e 5 para macronutrientes e micronutrientes respectivamente e suas equações mostradas na Tabela 6.

Tabela 6: Equações entre o teor de nutriente no galho em função do *dap* em árvores de Teca.

Nutriente	Equação	R
N	$\hat{y} = \bar{y} = 4,7570$	-
P	$\hat{y} = 0,2315 / (1 - 0,7687 * \exp(-0,0237 * \text{dap}))$	0,2895
K	$\hat{y} = 0,084 / (1 - 0,9899 * \exp(-0,00047 * \text{dap}))$	0,3907
Ca	$\hat{y} = \bar{y} = 10,39$	-
Mg	$\hat{y} = \bar{y} = 2,5117$	-
S	$\hat{y} = 0,2156 / (1 - 0,4407 * \exp(-0,0150 * \text{dap}))$	0,2540
Zn	$\hat{y} = 8,2807 / (1 - 5,3045 * \exp(-0,4925 * \text{dap}))$	0,2151
Fe	$\hat{y} = 39,4833 / (1 - 32,8509 * \exp(-0,5367 * \text{dap}))$	0,2743
Mn	$\hat{y} = \bar{y} = 16,9$	-
Cu	$\hat{y} = 7,2424 / (1 - 10,5959 * \exp(-0,4640 * \text{dap}))$	0,4172
B	$\hat{y} = \bar{y} = 14,2707$	-

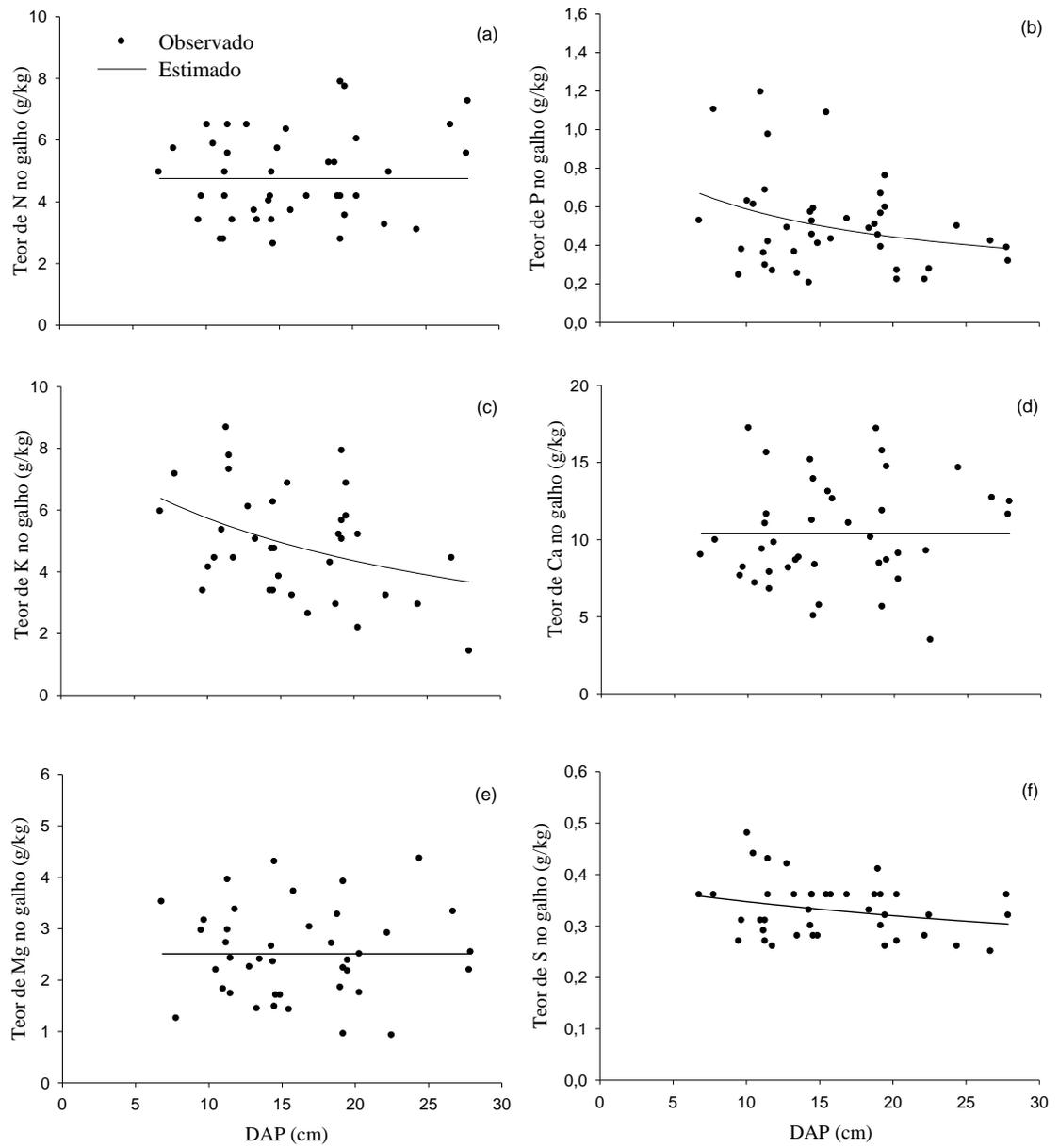


Figura 4: Relacionamento entre o teor de N(a), P(b), K(c), Ca(d), Mg(e) e S(f), no galho de árvores de teca em função do *dap*.

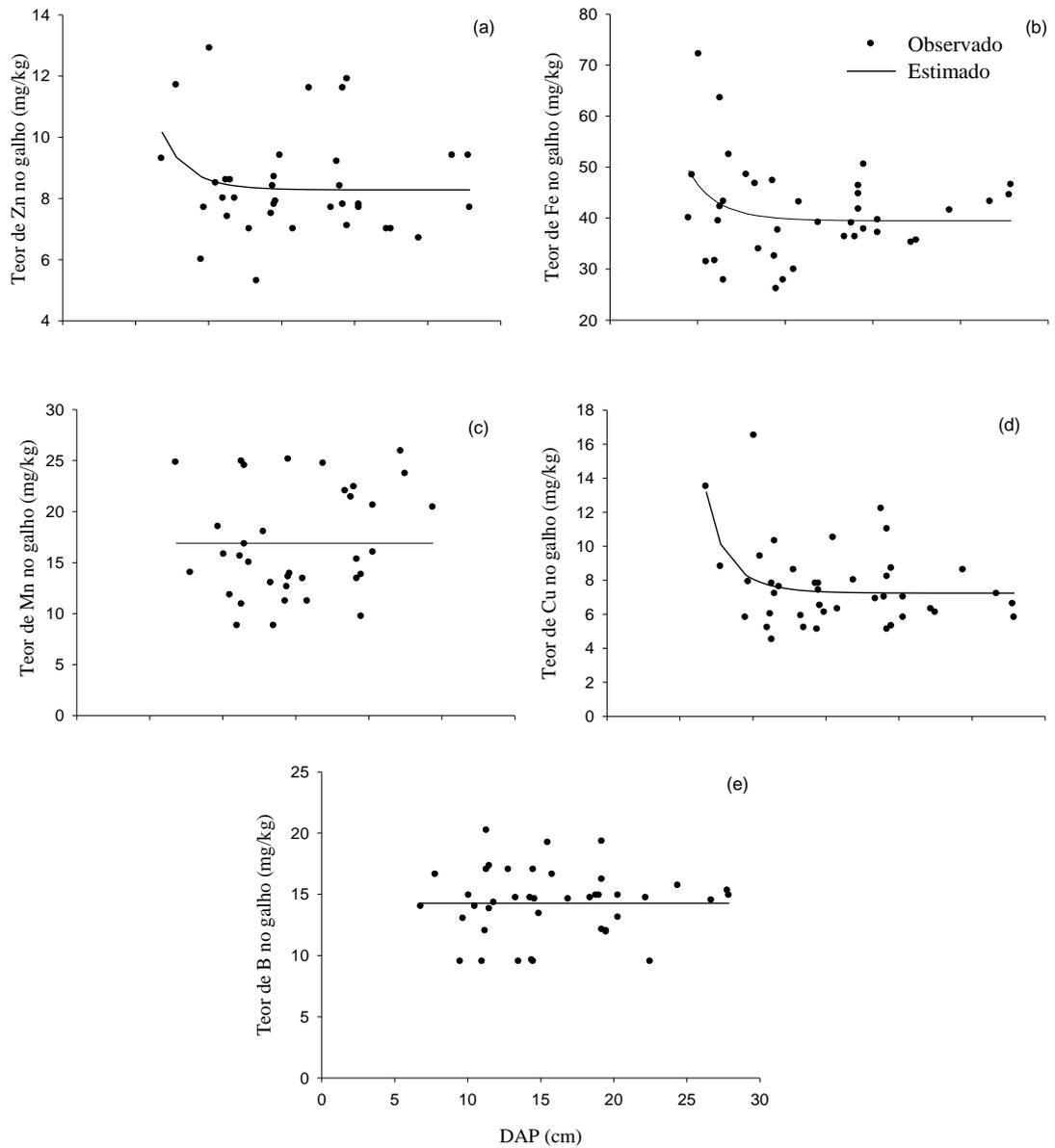


Figura 5: Relacionamento entre o teor de Zn(a), Fe(b), Mn(c), Cu(d), B(e) no galho de árvores de teca em função do dap.

O comportamento dos teores de nutrientes nos galhos foi bem diferenciado do comportamento observado nas folhas. Nos galhos os teores de N, Ca, Mg e Mn se mantiveram constantes, enquanto que os teores de P, K, S, Zn, Fe, Cu e B decresceram a medida em que a árvore se desenvolve.

No tronco, como pode ser verificado nas Figuras 6 e 7, para macronutrientes e micronutrientes respectivamente, os teores de N, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn, Cu e B decresceram em função do dap e os teores de P e S se mantiveram constantes. As equações para teores de nutriente no tronco são resumidas na Tabela 7.

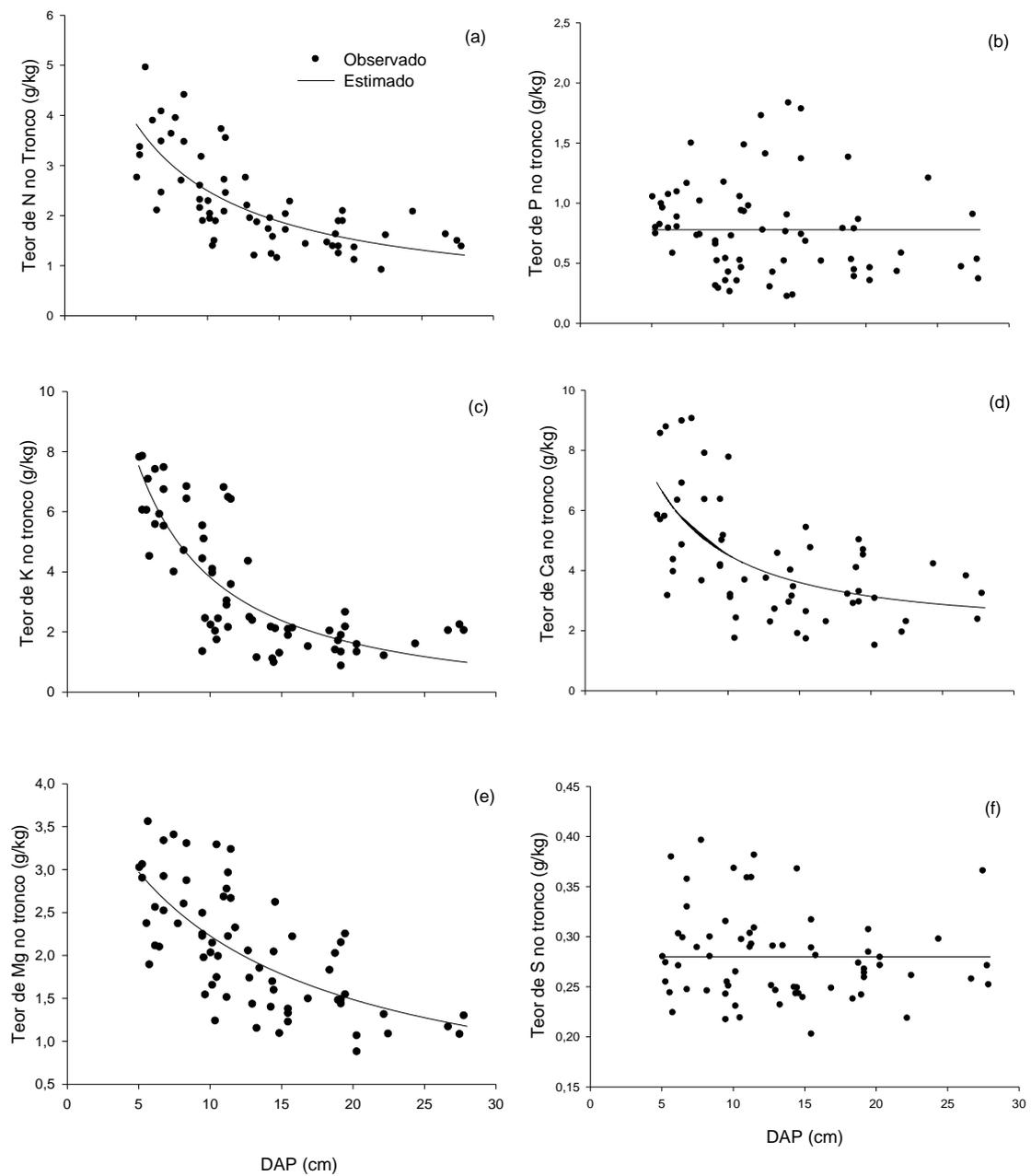


Figura 6: Relacionamento entre o teor de N(a), P(b), K(c), Ca(d), Mg(e) e S(f) no tronco em função do dap

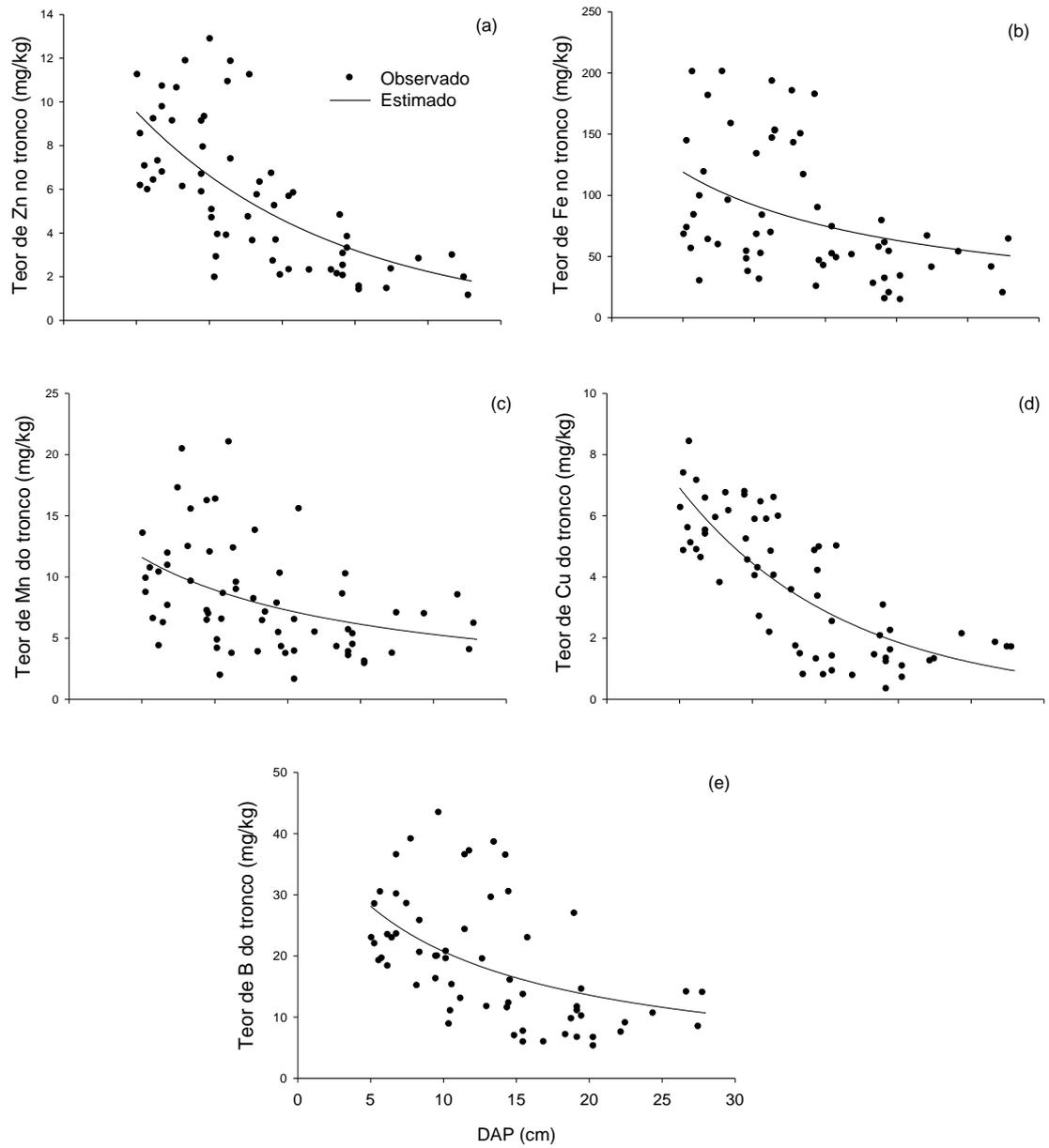


Figura 7: Relacionamento entre o teor de Zn(a), Fe(b), Mn(c), Cu(d), B(e) no tronco em função do dap.

Tabela 7: Equações entre o teor de nutriente no tronco em função do *dap* em árvores de Teca.

Nutriente	Equação	R
N	$\hat{y} = 0,4475/(1-0,9505*\exp(-0,01469*dap))$	0,7380
P	$\hat{y} = \bar{y} = 0,7785$	-
K	$\hat{y} = -2,2145/(1-1,0588*\exp(0,0401*dap))$	0,8123
Ca	$\hat{y} = 2,3387/(1-0,9117*\exp(-0,0636*dap))$	0,6182
Mg	$\hat{y} = 0,0256/(1-0,9943*\exp(-0,0006*dap))$	0,6901
S	$\hat{y} = \bar{y} = 0,2799$	-
Zn	$\hat{y} = -548,9416/(1-40,8582*\exp(0,0719*dap))$	0,7015
Fe	$\hat{y} = 0,3679/(1-0,9978*\exp(0,00018*dap))$	0,4051
Mn	$\hat{y} = 0,0936/(1-0,9943*\exp(-0,0005*dap))$	0,4230
Cu	$\hat{y} = -261,1672/(1-25,2158*\exp(0,08612*dap))$	0,7857
B	$\hat{y} = 0,2516/(1-0,9942*\exp(-0,0006*dap))$	0,5177

Como a eficiência nutricional, expressa pelo coeficiente de utilização biológica (CUB) consiste, essencialmente, do inverso do teor do nutriente, nota-se que, como há diferenças entre o padrão de comportamento dos teores desses nutrientes em função do desenvolvimento da planta, e em função do componente da planta, comprova-se que a eficiência nutricional não se mantém constante à medida que as árvores se desenvolvem.

Dessa forma, quando há uma redução no teor dos nutrientes, há um aumento no valor de CUB, da mesma forma, quando há aumentos nos teores, há redução nos valores de CUB. O aumento da eficiência nutricional é esperado para os nutrientes móveis na planta em razão da ciclagem bioquímica de nutrientes (Neves, 2000), e decréscimo com o aumento da disponibilidade do nutriente no solo.

Oliveira, 2003 e Behling, 2009 utilizaram em suas parametrizações valores médios para CUB dos nutrientes, ao longo das idades avaliadas por eles, o que diante dos relacionamentos mostrados neste trabalho, sugerem que o sistema FERTI-UFV assim parametrizado podem gerar estimativas pouco acuradas da demanda nutricional.

Valores acurados para a eficiência com que as árvores utilizam os nutrientes são importantes para alimentar os sistemas de recomendação de adubação, pois eles

utilizarão a produtividade esperada, juntamente com os valores de CUB para estimar a demanda nutricional pela planta.

A produtividade esperada pode se definida com base nas estimativas geradas anteriormente pelo modelo 3-PG (Capítulo 1). O valor do CUB pode ser calculado a partir das estimativas dos teores de nutrientes expressos pelas equações descritas nas Tabelas 5, 6 e 7.

A partir do modelo -3PG estimou-se o valor do dap em cada idade. O valor de dap foi utilizado nas equações apresentadas nas Tabelas 5, 6 e 7 para se conhecer o teor de nutriente presente nas folhas, galhos e tronco, respectivamente, nas respectivas idades. Invertendo o teor do nutriente obtemos o valor da eficiência nutricional (CUB) em cada idade, para cada componente (Tabelas 9, 11 e 13).

O CUB, juntamente com a produtividade espera (estimada pelo 3-PG), foram utilizadas para determinar a demanda nutricional. A demanda nutricional dividida pela taxa de recuperação do nutriente pela planta (TRpl) nos fornece o valor do requerimento, que pode ser interpretado como quantidade do nutriente que seria necessário aplicar ao solo, via fertilizante, caso o solo não fornecesse nenhum nutriente a planta. A TRpl pode se entendida como a quantidade de nutriente absorvido pela planta, em função da dose aplicada e pode ser calculada a partir das equações da Tabela 1.

O módulo solo, que aqui não foi modificado das versões existentes, calcula a quantidade de nutriente que será fornecida pelo solo. A diferença entre o requerimento e a quantidade que o solo é capaz de fornecer, nos fornecem a necessidade de adubação dessas áreas.

Tabela 8: Teores de nutrientes nas folhas, em função da idade e do dap estimado pelo modelo 3-PG (FR=0,9), obtidos a partir das equações da tabela 3.

Idade	Dap	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B
		-----g/kg-----							-----mg/kg-----			
3	10,58	13,06	0,99	6,11	20,50	3,94	0,64	15,80	136,31	43,46	6,80	44,39
4	13,45	12,98	0,95	5,37	23,44	4,44	0,60	15,73	129,90	47,89	6,48	39,42
5	15,89	12,97	0,94	4,90	24,33	4,82	0,58	15,73	129,29	52,02	6,33	38,23
6	17,99	12,97	0,94	4,59	24,61	5,11	0,57	15,73	129,20	55,85	6,25	37,85
7	20,41	12,97	0,94	4,29	24,73	5,40	0,55	15,73	129,19	60,61	6,19	37,69
8	22,55	12,97	0,94	4,08	24,77	5,62	0,54	15,73	129,18	65,18	6,15	37,63
9	24,48	12,97	0,94	3,92	24,78	5,79	0,54	15,73	129,18	69,56	6,13	37,61
10	26,21	12,97	0,94	3,79	24,79	5,92	0,53	15,73	129,18	73,77	6,12	37,60
11	27,79	12,97	0,94	3,69	24,79	6,02	0,53	15,73	129,18	77,82	6,11	37,59

Tabela 9: Valores de CUB na folha em função da idade e do dap

Idade	dap	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B
		-----kg/kg-----							-----g/kg-----			
3	10,58	76,57	1006,99	163,65	48,79	253,75	1559,28	63,29	7,34	23,01	147,13	22,53
4	13,45	77,06	1049,83	186,37	42,65	225,43	1656,24	63,59	7,70	20,88	154,26	25,37
5	15,89	77,08	1058,76	204,00	41,11	207,58	1720,68	63,59	7,73	19,22	157,97	26,16
6	17,99	77,08	1061,08	218,02	40,64	195,69	1765,56	63,59	7,74	17,90	160,06	26,42
7	20,41	77,08	1061,92	232,92	40,44	185,09	1807,45	63,59	7,74	16,50	161,65	26,54
8	22,55	77,08	1062,14	245,13	40,37	177,82	1837,50	63,59	7,74	15,34	162,57	26,58
9	24,48	77,08	1062,21	255,32	40,35	172,65	1859,77	63,59	7,74	14,38	163,14	26,59
10	26,21	77,08	1062,23	263,95	40,34	168,85	1876,74	63,59	7,74	13,56	163,50	26,60
11	27,79	77,08	1062,24	271,36	40,34	165,99	1889,97	63,59	7,74	12,85	163,75	26,60

Tabela 10: Teores de nutrientes nos galhos, em função da idade e do dap estimado pelo modelo 3-PG (FR=0,9), obtidos a partir das equações da tabela 4.

Idade	dap	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B
		g/kg						mg/kg				
3	10,58	4,76	0,58	5,60	10,39	2,51	0,35	8,53	44,47	16,90	7,86	14,27
4	13,45	4,76	0,52	5,14	10,39	2,51	0,34	8,34	40,46	16,90	7,40	14,27
5	15,89	4,76	0,49	4,81	10,39	2,51	0,33	8,30	39,74	16,90	7,29	14,27
6	17,99	4,76	0,46	4,56	10,39	2,51	0,32	8,29	39,57	16,90	7,26	14,27
7	20,41	4,76	0,44	4,30	10,39	2,51	0,32	8,28	39,51	16,90	7,25	14,27
8	22,55	4,76	0,42	4,09	10,39	2,51	0,31	8,28	39,49	16,90	7,24	14,27
9	24,48	4,76	0,41	3,92	10,39	2,51	0,31	8,28	39,49	16,90	7,24	14,27
10	26,21	4,76	0,39	3,78	10,39	2,51	0,31	8,28	39,48	16,90	7,24	14,27
11	27,79	4,76	0,38	3,66	10,39	2,51	0,30	8,28	39,48	16,90	7,24	14,27

Tabela 11: Valores de CUB nos galhos em função da idade e do dap

Idade	dap	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B
		kg/kg						g/kg				
3	10,58	210,22	1735,66	178,70	96,25	398,41	2894,16	117,27	22,48	59,17	127,29	70,08
4	12,39	210,22	1905,40	194,49	96,25	398,41	2967,57	119,91	24,72	59,17	135,22	70,08
5	13,99	210,22	2041,10	207,92	96,25	398,41	3027,63	120,51	25,16	59,17	137,16	70,08
6	15,43	210,22	2151,79	219,46	96,25	398,41	3077,60	120,67	25,27	59,17	137,73	70,08
7	17,08	210,22	2272,53	232,74	96,25	398,41	3133,19	120,74	25,31	59,17	137,96	70,08
8	18,60	210,22	2374,05	244,50	96,25	398,41	3180,87	120,75	25,32	59,17	138,03	70,08
9	19,98	210,22	2460,67	255,03	96,25	398,41	3222,28	120,76	25,33	59,17	138,06	70,08
10	21,24	210,22	2535,64	264,54	96,25	398,41	3258,69	120,76	25,33	59,17	138,07	70,08
11	22,39	210,22	2601,22	273,18	96,25	398,41	3291,01	120,76	25,33	59,17	138,07	70,08

Tabela 12: Teores de nutrientes no tronco, em função da idade e do dap estimado pelo modelo 3-PG (FR=0,9), obtidos a partir das equações da tabela 5.

Idade	dap	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B
		-----g/kg-----						-----mg/kg-----				
3	10,58	2,40	0,78	3,58	4,37	2,13	0,28	6,35	89,76	8,67	4,23	20,81
4	13,45	2,04	0,78	2,72	3,82	1,87	0,28	5,16	79,76	7,69	3,29	18,25
5	15,89	1,81	0,78	2,21	3,50	1,69	0,28	4,32	72,86	7,02	2,66	16,52
6	17,99	1,66	0,78	1,88	3,30	1,56	0,28	3,71	67,80	6,52	2,22	15,27
7	20,41	1,51	0,78	1,58	3,11	1,44	0,28	3,11	62,80	6,04	1,80	14,06
8	22,55	1,41	0,78	1,37	2,99	1,34	0,28	2,67	58,93	5,66	1,49	13,13
9	24,48	1,33	0,78	1,21	2,90	1,27	0,28	2,32	55,86	5,37	1,26	12,40
10	26,21	1,27	0,78	1,09	2,82	1,21	0,28	2,05	53,34	5,12	1,09	11,80
11	27,79	1,22	0,78	0,99	2,77	1,16	0,28	1,83	51,24	4,92	0,95	11,31

Tabela 13: Valores de CUB no tronco em função da idade e do dap.

Idade	dap	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B
		-----kg/kg-----						-----g/kg-----				
3	10,58	416,40	1284,52	279,27	228,70	468,47	3572,70	157,46	11,14	115,33	236,34	48,06
4	13,45	491,39	1284,52	368,31	261,85	534,80	3572,70	193,93	12,54	130,03	303,60	54,81
5	15,89	552,78	1284,52	452,61	285,68	591,18	3572,70	231,48	13,73	142,53	375,52	60,55
6	17,99	603,91	1284,52	532,10	303,44	639,65	3572,70	269,53	14,75	153,28	450,77	65,48
7	20,41	660,81	1284,52	632,25	321,13	695,36	3572,70	321,05	15,92	165,63	556,01	71,14
8	22,55	709,65	1284,52	729,66	334,71	744,73	3572,70	374,92	16,97	176,59	669,66	76,17
9	24,48	752,10	1284,52	824,29	345,40	788,89	3572,70	430,74	17,90	186,39	790,88	80,66
10	26,21	789,45	1284,52	916,32	354,00	828,75	3572,70	488,28	18,75	195,23	919,11	84,72
11	27,79	822,61	1284,52	1005,79	361,03	864,98	3572,70	547,25	19,51	203,28	1053,64	88,40

Como neste trabalho, não foram avaliados os teores nem as partições de nutrientes para as raízes, esta partição foi estimada com base nas relações observadas no trabalho de Behling, 2009, as quais são demonstradas na Tabela 14.

Tabela 14: Partição dos conteúdos de nutrientes nas raízes, em relação a parte aérea.

Nutriente	Partição (%)
N	35
P	18
K	32
Ca	19
Mg	40
S	34
Zn	26
Cu	31
B	20

3.1.1 – Exemplo do sistema

Considerando que, utilizando modelo 3-PG, para simular a produtividade dos povoamentos de teca aos seis, desejamos calcular qual a quantidade do nutriente K que deveria ser aplicada na área de modo a atingir tal produtividade.

Utilizando $FR = 0,9$ no modelo 3-PG, obtém-se que, o dap médio dessas árvores, o qual foi igual a 17,99 cm. Através das equações descritas na Tabela 3, calcula-se que a biomassa produzida que foi igual a 85,72 kg/árv para o tronco, 22,59 kg/arv para os galhos e 2,05 kg/arv para as folhas (Tabela 4).

Os respectivos valores de CUB, mostrados nas tabelas 9, 11 e 13, e são iguais a 532,10 kg/kg no tronco, 219,46 kg/kg nos galhos e 218,02 kg/kg nas folhas.

Dividindo a biomassa pelo respectivo valor de CUB, obtemos o conteúdo do nutriente em cada componente.

Conteúdo no tronco = $85,72 / 532,10 = 0,1611$ kg/árv * 1156 = 186,23 kg/ha de K

Conteúdo nos galhos = $22,59 / 219,46 = 0,1029$ kg/árv * 1156 = 118,95 kg/ha de K

Conteúdo nas folhas = $2,05 / 218,02 = 0,0094$ kg/arv * 1156 = 10,86 kg/ha de K

O conteúdo de K, na parte aérea foi igual a 316,04 kg/ha (186,23+118,95+10,86). Com base na Tabela 14, estimasse que 32 % do K, em relação

à parte aérea, estão nas raízes, dessa forma adicionando mais 32 % de K ao conteúdo, obtém-se 417,17 kg/ha.

Dessa forma acabamos de determinar a demanda de K pela planta. O requerimento é obtido dividindo este valor pela TRpl. A TRpl para K, varia em função do parcelamento da dose. A dose utilizada para calcular a taxa deve levar em consideração se a aplicação será parcelada ou não. Considerando que os 417,17 kg/ha serão aplicados parcelados quatro vezes, dividem-se os 417,17 kg/ha por quatro antes de aplicar a fórmula.

$$\text{Dose} = 417,17 / 4 = 104,30$$

$$\text{TRpl} = 87,506 * \exp(-0,0014 * 104,30) / 100 = 0,756$$

O requerimento então será igual a $417,17 / 0,756 = 551,81$ kg/ha de K. Se o solo não fosse capaz de fornecer K para a planta, a quantidade de K que deveria ser aplicado é igual ao requerimento, que neste caso é igual a 551,81 kg/ha. O procedimento se repete para os demais nutrientes.

3.2 – Normas para uso no NUTRI-UFV TECA

O banco de dados com os teores foliares dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Mn, Cu e B foi formado por teores foliares de nutrientes de plantios de diferentes municípios (Tabela 1), totalizando 300 amostras para teca no Estado do Mato Grosso.

A população de referência foi composta por 152 amostras de teores foliares, selecionadas como descrito no item 2.3, as quais foram utilizadas para compor as normas gerais para o Estado do Mato Grosso. Essas 152 amostras foram estratificado em função da idade com a finalidade de se estabelecer as normas específicas para população menor e igual a 5 anos e população maior que 5 anos. A estratificação aos 5 anos foi baseada na idade em que, normalmente, se realiza o primeiro desbaste em teca, dessa forma teríamos normas específicas para povoamentos antes do desbaste e depois dos desbaste.

A partir da população de referência foram estabelecidas as normas KW e DRIS para cada uma das populações estabelecidas, as quais se encontram na Tabela 15.

As normas gerais foram comparadas com as normas específicas, através do teste t. Para os nutrientes N ($p < 0,248$), P ($p < 0,0218$), K ($p < 0,0073$), Mn ($p < 0,0839$) e B ($p < 0,0941$) as normas gerais diferiram estatisticamente das normas específicas. Já para

os demais nutrientes as normas gerais não diferiram estatisticamente ($p > 0,1$) das normas específicas. Estes resultados demonstram que o mais adequado seria o uso de normas específicas para cada classe de idade, uma vez que para grande parte dos nutrientes houve diferença significativa.

Na Tabela 15, estão descritos a média, e o desvio-padrão de todos os nutrientes e de todas as relações entre os nutrientes, fornecendo suporte para fazer o diagnóstico por meio dos índices DRIS e Kenworthy para povoamentos de teca com até 5 anos e maiores de 5 anos. Com a utilização dos dados descritos na Tabela 15, pode-se fornecer uma referência dos teores considerados adequados dos respectivos nutrientes e também realizar o diagnóstico nutricional para os plantios de Santo Antônio do Leverger.

O índice DRIS possibilita definir o grau de desvio dos nutrientes da amostra e sua localização em relação ao estado nutricional, se adequado, em deficiência ou em excesso. Quanto mais próximo de zero estiver o índice do nutriente, mais próximo do equilíbrio nutricional o nutriente se encontra; índice positivo indica que o nutriente está em excesso e índice negativo, deficiente.

Tabela 15: Normas dos teores foliares^{1/} de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn, Mn e B e de suas relações duais para os métodos Kenworthy^{2/} e DRIS^{3/}, em árvores de teca da população de referência (normas gerais) e das populações estratificadas pela idade (população ≤ 5 anos e população > 5 anos).

Variável	Normas Gerais - MT		Normas Específicas - MT			
	Geral (n ^{4/} = 152)		População ≤ 5 anos (n = 67)		População > 5 anos (n=85)	
	\bar{y} ^{5/}	s ^{6/}	\bar{y}	s	\bar{y}	s
N	18,1495	2,8187	19,0718	2,6661	17,4225	2,7357
P	1,6132	0,4293	1,7635	0,4666	1,4947	0,3578
K	8,7413	3,5668	10,2099	3,9766	7,5838	2,7145
Ca	20,1798	9,2437	20,5852	9,4811	19,8602	9,0959
Mg	2,8576	1,9688	2,4691	1,4705	3,1638	2,2480
S	0,8095	0,2691	0,8560	0,3326	0,7729	0,2006
Cu	9,6487	3,2428	9,6582	3,3549	9,6412	3,1717
Fe	153,5974	124,9464	154,4672	156,6475	152,9118	93,7147
Zn	23,7987	11,5569	23,9254	12,2595	23,6988	11,0445
Mn	71,9388	60,1312	89,2000	83,1184	58,3329	25,4272
B	23,6342	14,5873	27,5284	18,3495	20,5647	9,8150
N/P	11,8231	2,6623	11,5704	3,2666	12,0223	2,0654
N/K	2,5185	1,3753	2,2135	1,0825	2,7589	1,5319
N/Ca	1,1129	0,6043	1,1961	0,7141	1,0473	0,4958
N/Mg	9,2994	6,3015	10,9182	7,6314	8,0234	4,6781

Tabela 15. Continuação

Variável	Normas Gerais - MT		Normas Específicas - MT			
	Geral (n = 152)		População ≤ 5anos (n = 67)		População > 5anos (n=85)	
	\bar{y} ^{5/}	s ^{6/}	\bar{y}	s	\bar{y}	s
N/S	24,0278	6,6655	24,7716	8,2107	23,4415	5,1095
N/Cu	2,0976	0,8482	2,2409	1,0050	1,9846	0,6858
N/Fe	0,1734	0,1011	0,2117	0,1232	0,1432	0,0661
N/Zn	0,8880	0,3472	0,9413	0,3938	0,8460	0,3013
N/Mn	0,3389	0,1672	0,3167	0,1661	0,3563	0,1669
N/B	1,0625	0,6137	1,0033	0,5645	1,1091	0,6494
P/N	0,0891	0,0212	0,0930	0,0249	0,0860	0,0173
P/K	0,2152	0,1087	0,1947	0,0822	0,2313	0,1238
P/Ca	0,0972	0,0534	0,1088	0,0662	0,0881	0,0387
P/Mg	0,8367	0,5830	1,0243	0,7217	0,6888	0,3894
P/S	2,1412	0,8394	2,3117	1,0721	2,0067	0,5674
P/Cu	0,1849	0,0851	0,2001	0,0870	0,1729	0,0821
P/Fe	0,0157	0,0108	0,0198	0,0132	0,0125	0,0068
P/Zn	0,0758	0,0251	0,0817	0,0253	0,0711	0,0240
P/Mn	0,0301	0,0159	0,0289	0,0159	0,0310	0,0160
P/B	0,0954	0,0560	0,0965	0,0613	0,0945	0,0518
K/N	0,4770	0,1828	0,5358	0,2088	0,4307	0,1446
K/P	5,4207	1,8313	5,8695	1,9941	5,0670	1,6176
K/Ca	0,5665	0,4707	0,6991	0,6155	0,4620	0,2748
K/Mg	4,9558	4,5751	6,5955	5,9409	3,6633	2,4618
K/S	11,3033	4,7619	12,8109	5,0614	10,1151	4,1705
K/Cu	0,9669	0,4484	1,1118	0,4532	0,8526	0,4124
K/Fe	0,0896	0,0803	0,1238	0,1042	0,0627	0,0373
K/Zn	0,4058	0,1838	0,4676	0,1864	0,3571	0,1672
K/Mn	0,1630	0,1087	0,1668	0,1134	0,1600	0,1055
K/B	0,5297	0,3732	0,5849	0,4394	0,4862	0,3071
Ca/N	1,1558	0,5797	1,1092	0,5442	1,1926	0,6069
Ca/P	13,6042	7,8141	12,8657	8,0744	14,1862	7,6001
Ca/K	3,2098	3,3686	2,7092	2,4637	3,6044	3,9079
Ca/Mg	9,9198	8,9378	11,5180	11,7930	8,6600	5,5392
Ca/S	27,6837	16,2204	28,2538	19,4066	27,2343	13,2883
Ca/Cu	2,3474	1,2984	2,4391	1,4594	2,2750	1,1597
Ca/Fe	0,1743	0,0940	0,2007	0,1114	0,1536	0,0717
Ca/Zn	1,0047	0,6538	1,0683	0,8230	0,9545	0,4802
Ca/Mn	0,3751	0,2372	0,3326	0,1960	0,4086	0,2615
Ca/B	1,0670	0,5990	0,9616	0,5419	1,1500	0,6312

Tabela 15. Continuação

Variável	Normas Gerais - MT		Normas Específicas - MT			
	Geral (n = 152)		População ≤ 5anos (n = 67)		População > 5anos (n=85)	
	\bar{y} ^{5/}	s ^{6/}	\bar{y}	s	\bar{y}	s
Mg/N	0,1730	0,1631	0,1360	0,0962	0,2022	0,1964
Mg/P	2,1411	2,2564	1,6650	1,5643	2,5164	2,6280
Mg/K	0,5930	1,2408	0,3630	0,5291	0,7743	1,5723
Mg/Ca	0,1669	0,1284	0,1468	0,1133	0,1827	0,1377
Mg/S	4,0271	3,6630	3,2340	2,1197	4,6523	4,4376
Mg/Cu	0,3625	0,3271	0,3186	0,2741	0,3970	0,3613
Mg/Fe	0,0257	0,0194	0,0251	0,0181	0,0261	0,0204
Mg/Zn	0,1556	0,1748	0,1305	0,1137	0,1753	0,2095
Mg/Mn	0,0544	0,0468	0,0452	0,0451	0,0616	0,0471
Mg/B	0,1562	0,1326	0,1259	0,1055	0,1801	0,1468
S/N	0,0454	0,0174	0,0462	0,0234	0,0448	0,0104
S/P	0,5375	0,2679	0,5402	0,3714	0,5353	0,1437
S/K	0,1139	0,0786	0,1016	0,0801	0,1236	0,0765
S/Ca	0,0498	0,0306	0,0546	0,0371	0,0461	0,0239
S/Mg	0,4246	0,3940	0,5086	0,5244	0,3583	0,2302
S/Cu	0,0955	0,0547	0,1057	0,0722	0,0874	0,0336
S/Fe	0,0079	0,0052	0,0100	0,0065	0,0062	0,0030
S/Zn	0,0391	0,0192	0,0421	0,0246	0,0367	0,0131
S/Mn	0,0157	0,0106	0,0155	0,0132	0,0158	0,0081
S/B	0,0485	0,0361	0,0476	0,0344	0,0492	0,0376
Cu/N	0,5360	0,1713	0,5094	0,1695	0,5570	0,1708
Cu/P	6,2341	2,0690	5,6336	1,6526	6,7074	2,2439
Cu/K	1,3245	0,8818	1,0527	0,4888	1,5387	1,0510
Cu/Ca	0,5892	0,3960	0,6099	0,4543	0,5728	0,3450
Cu/Mg	5,1297	3,9863	5,8402	4,7481	4,5696	3,1830
Cu/S	12,8377	5,3351	12,8711	6,6472	12,8114	4,0556
Cu/Fe	0,0895	0,0609	0,1067	0,0793	0,0760	0,0360
Cu/Zn	0,4501	0,1690	0,4470	0,1673	0,4525	0,1713
Cu/Mn	0,1774	0,1039	0,1539	0,0942	0,1960	0,1079
Cu/B	0,5605	0,3567	0,5003	0,3123	0,6079	0,3834
Fe/N	8,6260	6,7841	8,1551	8,2365	8,9971	5,3957
Fe/P	99,9764	71,3653	88,8188	74,9819	108,7713	67,5293
Fe/K	22,3770	21,6092	18,1706	17,9041	25,6926	23,7130
Fe/Ca	8,4010	7,2951	7,7334	5,9763	8,9272	8,1834
Fe/Mg	72,0993	64,4005	74,3546	71,0558	70,3215	59,0018
Fe/S	214,1731	213,2860	229,7292	295,4260	201,9112	113,3834
Fe/Cu	16,5321	11,0367	16,2095	12,8595	16,7863	9,4280
Fe/Zn	7,1569	5,2866	7,4369	6,8967	6,9361	3,5714
Fe/Mn	2,6188	1,8151	2,1519	1,5718	2,9869	1,9159
Fe/B	8,0974	7,5314	6,6765	6,5403	9,2173	8,0917

Tabela 15. Continuação

Variável	Normas Gerais - MT		Normas Específicas - MT			
	Geral (n = 152)		População ≤ 5anos (n = 67)		População > 5anos (n=85)	
	\bar{y} ^{5/}	s ^{6/}	\bar{y}	s	\bar{y}	s
Zn/N	1,3312	0,6274	1,2780	0,6506	1,3731	0,6091
Zn/P	15,1927	7,2934	13,8758	6,7628	16,2306	7,5639
Zn/K	3,2221	2,1527	2,6425	1,6235	3,6791	2,4042
Zn/Ca	1,4688	1,3297	1,4898	1,0315	1,4523	1,5303
Zn/Mg	12,3565	10,1094	14,2493	12,3966	10,8645	7,6067
Zn/S	31,0446	16,5984	31,0683	20,8087	31,0260	12,4515
Zn/Cu	2,6260	1,2410	2,6579	1,3603	2,6009	1,1460
Zn/Fe	0,2256	0,1924	0,2821	0,2590	0,1811	0,0962
Zn/Mn	0,4451	0,3049	0,3973	0,2741	0,4827	0,3237
Zn/B	1,4081	1,0221	1,3254	0,9966	1,4733	1,0429
Mn/N	4,0158	3,3753	4,7208	4,6556	3,4601	1,6554
Mn/P	46,9496	36,0164	52,8015	46,9426	42,3368	23,4858
Mn/K	9,9791	8,9436	9,4310	6,5767	10,4111	10,4582
Mn/Ca	4,9099	9,2019	6,7078	13,4811	3,4927	2,1923
Mn/Mg	37,9666	47,4261	52,9346	63,8593	26,1683	22,7938
Mn/S	97,1368	77,0792	119,0498	104,4183	79,8642	37,7934
Mn/Cu	7,9350	5,5915	9,4350	7,0226	6,7526	3,7741
Mn/Fe	0,7232	1,1442	1,0548	1,6476	0,4619	0,2526
Mn/Zn	3,4699	2,7543	4,2267	3,5480	2,8734	1,7116
Mn/B	4,1355	4,5262	4,7922	6,2164	3,6178	2,4186
B/N	1,3657	0,9331	1,4766	1,0391	1,2783	0,8363
B/P	16,7910	13,5229	18,1391	15,3199	15,7284	11,9051
B/K	3,9535	4,9556	3,7133	3,8375	4,1428	5,7002
B/Ca	1,3211	0,9733	1,5156	1,2002	1,1678	0,7191
B/Mg	11,6289	13,4481	15,5503	18,6525	8,5380	5,4598
B/S	32,7922	23,7578	37,5150	28,4156	29,0696	18,6654
B/Cu	2,8220	2,2169	3,2416	2,6430	2,4912	1,7593
B/Fe	0,2016	0,1343	0,2545	0,1651	0,1599	0,0836
B/Zn	1,2451	1,0703	1,4866	1,3265	1,0547	0,7705
B/Mn	0,4465	0,4144	0,4733	0,5272	0,4254	0,2989

^{1/}Teores do macronutrientes em g/kg e micronutrientes em mg/kg; ^{2/} Kenworthy (1961); ^{3/} Beaufils (1973); ^{4/} número de observações; ^{5/} média; ^{6/} desvio padrão.

As normas geradas foram utilizadas para aprimorar o Sistema NUTRI – UFV TECA. Uma vez modificado, estes sistemas foram utilizadas, por exemplo, para avaliar o estado nutricional das árvores de teca, em plantios de 3 a 11 anos, na região de Santo Antônio do Leverger, cujos teores foliares são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16: Teores foliares em árvores de teca em diferentes idades na região de Santo Antônio do Leverger.

Idade (ano)	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	g/kg						mg/kg				
3	15,92	1,604	9,73	4,26	2,01	0,98	9,7	239,7	22,7	19,5	73,8
3	16,54	1,317	5,95	13,09	1,87	1,08	6,1	107,5	20,5	26,4	98,8
3	18,39	1,4	5,35	14,41	3,44	0,66	6,5	110,1	12,4	43,3	31,7
3	13,45	0,924	5,65	19,36	5	0,56	7,2	155,1	14,6	86,9	39,9
3	19,63	1,438	10,18	6,86	1,91	0,83	7,1	132,4	12,9	25,7	37,4
4	12,83	1,041	9,43	24,44	2,38	0,76	6,2	126	18,5	27,3	48,7
4	14,06	0,685	2,93	19,08	4,32	0,65	5,9	104,1	9,3	38,8	35,3
4	14,22	0,982	6,1	31,38	3,93	0,78	7	101,6	15,7	40,1	48,1
4	17,77	1,292	6,71	27,36	4,47	0,63	6,5	91,9	19,8	64,1	41
4	13,6	0,909	4,14	31,34	3,22	0,54	5,9	109,4	18,3	39,7	49,3
5	11,13	0,737	2,18	15,4	5,26	0,63	4,5	121,7	11,8	22,2	39
5	13,6	0,851	1,72	27,12	6,86	0,62	5,4	107,1	11,6	39,4	31,8
5	13,45	0,872	4,59	29,28	5,79	2,67	6,7	105,6	16,4	30	42
6	14,84	0,998	4,29	10,15	4,13	0,68	4,5	117,7	11,2	87	36,5
6	11,13	0,739	2,02	22,99	6,9	0,52	4,8	146,8	21,3	48,3	43,9
7	13,76	0,987	1,72	15,34	7,2	0,44	6,7	150,5	9,2	68,6	35,6
7	10,36	0,813	1,12	17,55	5,15	0,58	7,9	150	13,2	42,6	37,1
7	12,52	0,927	1,57	28,69	13,44	0,53	7,3	130,6	8,7	91,5	32,1
7	12,67	0,822	2,33	18,16	6,14	0,56	6,9	172	14	50,5	41
7	17,31	0,976	3,38	17,74	5,79	0,55	9	144	15	70,1	39,8
7	12,67	0,894	5,95	21,18	7,19	0,59	6,7	155,9	19,2	97	32,1
8	9,74	0,865	1,12	27,09	11,39	0,44	6,6	139,5	13	62,6	29,4
8	12,67	1,099	7,31	24,4	2,31	0,46	6,7	92,2	19,4	23,9	38,4
11	11,9	0,858	4,59	20,36	6,59	0,48	6,3	142,8	15,6	39,6	52,5
11	14,84	1,093	6,86	21,11	4,89	0,57	8,8	202,3	16,8	32	49,6
11	10,66	0,872	2,93	24,84	5,93	0,58	5,9	143,4	16	84,4	36,7
11	11,28	0,856	1,57	25,07	7,32	0,53	5,9	142,9	20,4	71,8	33,5
11	11,28	0,822	6,56	21,54	5,64	0,48	7	145,6	13,7	60,4	35,4
11	15,61	0,894	3,54	13,87	5,24	0,79	5,5	110,6	12	97,4	34,9

Como saídas deste sistema, obtemos como exemplo, a figura 8. A avaliação nutricional é realizada por nutriente, com base nas cores, como mostra a legenda da Figura 8. Os nutrientes nas classes de resposta a adubação positiva (p) e positiva a nula (pz) são os nutrientes que necessitam atenção do ponto de vista de adição do nutriente. Aqueles que se encontram nas classes de resposta nula a negativa (nz) e nula (z) são os nutrientes em excesso, cuja adubação deve ser reduzida.



NUTRI-UFV

Sistema de Diagnóstico do Estado Nutricional
para Otimizar a Recomendação de Adubação

Arquivo de Dados : [Dados_TeoresFoliare_Leverger.xls](#)

Normas : [Normas_MT>5anos](#)

Data: 19/7/2011

Identificação	Método	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B	Im
14	KW	88	75	72	74	109	91	64	91	72	128	141	22.82
	DRIS	0.22	-0.42	-0.37	-0.77	0.63	0.31	-1.11	0.05	-0.92	1.12	1.26	0.65
	PRA-M	z	z	z	pz	z	z	p	z	pz	nz	n	
	Fator	1.00	1.14	1.15	1.21	0.87	0.98	1.32	1.01	1.25	0.76	0.71	
15	KW	70	62	53	109	134	76	66	98	95	90	159	26.55
	DRIS	-0.42	-1.09	-1.53	0.62	1.24	-0.29	-0.98	0.39	0.45	0.07	1.54	0.78
	PRA-M	z	pz	p	z	nz	z	pz	z	z	z	n	
	Fator	1.17	1.32	1.45	0.87	0.74	1.12	1.28	0.94	0.94	1.01	0.65	
16	KW	82	74	50	88	137	68	80	99	67	110	138	25.18
	DRIS	0.24	-0.22	-1.79	-0.03	1.36	-0.7	-0.09	0.54	-1.29	0.75	1.23	0.75
	PRA-M	z	z	p	z	n	z	z	z	pz	nz	nz	
	Fator	1.02	1.12	1.53	1.03	0.72	1.22	1.07	0.92	1.34	0.86	0.73	
17	KW	66	65	45	94	118	82	88	99	76	85	142	23.64
	DRIS	-0.42	-0.55	-2.7	0.31	0.96	0.25	0.42	0.64	-0.34	0.03	1.41	0.73
	PRA-M	z	z	p	z	nz	z	z	z	z	z	n	
	Fator	1.18	1.21	1.60	0.96	0.81	1.02	0.97	0.91	1.13	1.04	0.70	
18	KW	76	71	49	124	194	77	84	94	66	132	129	32.91
	DRIS	-0.31	-0.64	-2.24	0.99	2.44	-0.44	-0.13	0.08	-1.78	1.17	0.87	1.01
	PRA-M	z	z	p	z	n	z	z	z	pz	nz	z	
	Fator	1.18	1.28	1.83	0.70	0.36	1.20	1.09	0.99	1.65	0.64	0.69	
19	KW	77	66	56	95	127	80	81	105	78	92	152	23.55
	DRIS	-0.17	-0.89	-1.31	0.15	1.02	-0.19	-0.19	0.62	-0.48	0.1	1.33	0.59
	PRA-M	z	pz	p	z	nz	z	z	nz	z	z	n	
	Fator	1.10	1.27	1.39	0.98	0.78	1.09	1.08	0.89	1.14	1.00	0.68	
20	KW	99	74	64	94	124	79	96	98	80	111	149	18.18
	DRIS	0.35	-0.8	-0.91	-0.06	0.81	-0.59	0.12	0.13	-0.58	0.45	1.08	0.54
	PRA-M	z	pz	p	z	nz	pz	z	z	pz	z	n	
	Fator	0.94	1.21	1.28	1.01	0.80	1.16	0.98	0.97	1.15	0.89	0.71	
21	KW	77	69	86	104	137	82	80	101	90	137	129	20.36
	DRIS	-0.62	-1.09	-0.12	0.17	1.05	-0.45	-0.6	0.19	-0.16	0.96	0.68	0.55
	PRA-M	pz	p	z	z	n	z	pz	z	z	nz	nz	
	Fator	1.17	1.29	1.05	0.94	0.74	1.12	1.15	0.95	1.04	0.75	0.80	
22	KW	63	68	45	120	175	68	79	97	76	104	122	29.55
	DRIS	-0.73	-0.47	-2.84	1.07	2.27	-0.64	-0.1	0.4	-0.46	0.61	0.89	0.95
	PRA-M	z	z	p	nz	n	z	z	z	z	z	z	
	Fator	1.25	1.18	1.60	0.79	0.59	1.21	1.08	0.94	1.15	0.89	0.80	

Classe de KW e DRIS:	Deficiente	Abaixo do Normal	Normal	Acima do Normal	Excessivo
Classe de PRA-M:	Positiva (p)	Positiva a Nula (pz)	Nula (z)	Nula a Negativa (nz)	Negativa (n)
Classe de Im: pelo KW	Fortemente desbalanceado	Desbalanceado	Balanceado		
pelo DRIS	Desequilibrado	Moderadamente desequilibrado	Equilibrado		

Fator: Valor estimado, pelo balanço e equilíbrio nutricional, para multiplicar a dose de referência obtida com base na análise de solo.

Figura 8: Exemplo de relatório de saída do sistema NUTRI-UFV TECA, para plantios maiores de que cinco anos, utilizando como normas as informações disponíveis na Tabela 13 (A coluna identificação é apenas um código sequencial das amostras diagnosticadas).

Para obter uma avaliação geral do estado nutricional dos plantios de teca de Sto. Antônio do Leverger, as amostras da tabela 16, foram separadas de acordo com o grau de equilíbrio do nutriente, que são mostradas na Tabela 17.

Tabela 17: Número de amostras observadas avaliando, cada nutriente, conjuntamente em relação ao se grau de balanço e de equilíbrio.

Nutriente	Equilibrado e Balanceado	Moderadamente Desequilibrado	Desbalanceado e Desequilibrado
N	4	12	0
P	0	16	0
K	4	6	6
Ca	11	5	0
Mg	3	10	3
S	2	14	0
Cu	4	12	0
Fe	16	0	0
Zn	6	9	1
Mn	6	10	0
B	0	10	6

Uma situação ideal seria que todos os pontos avaliados estivessem na classe equilibrado e balanceado. A classe moderadamente desequilibrada são os nutrientes que apresentam um leve desvio da situação ideal e a classe desbalanceada e desequilibrada são os nutrientes mais limitantes. Dessa forma, os nutrientes que apresentam teores mais adequados são o Fe e Ca, pois apresentam maior número de pontos na classe equilibrado e balanceado. Em seguida temos os teores de $Mn > Zn > N$ e $Cu > Mg > S > K > P > B$. Ressaltando que os nutrientes mais limitantes para estes plantios são o P, K e B. Essa avaliação também pode ser feita graficamente e são mostradas na Figura 9.

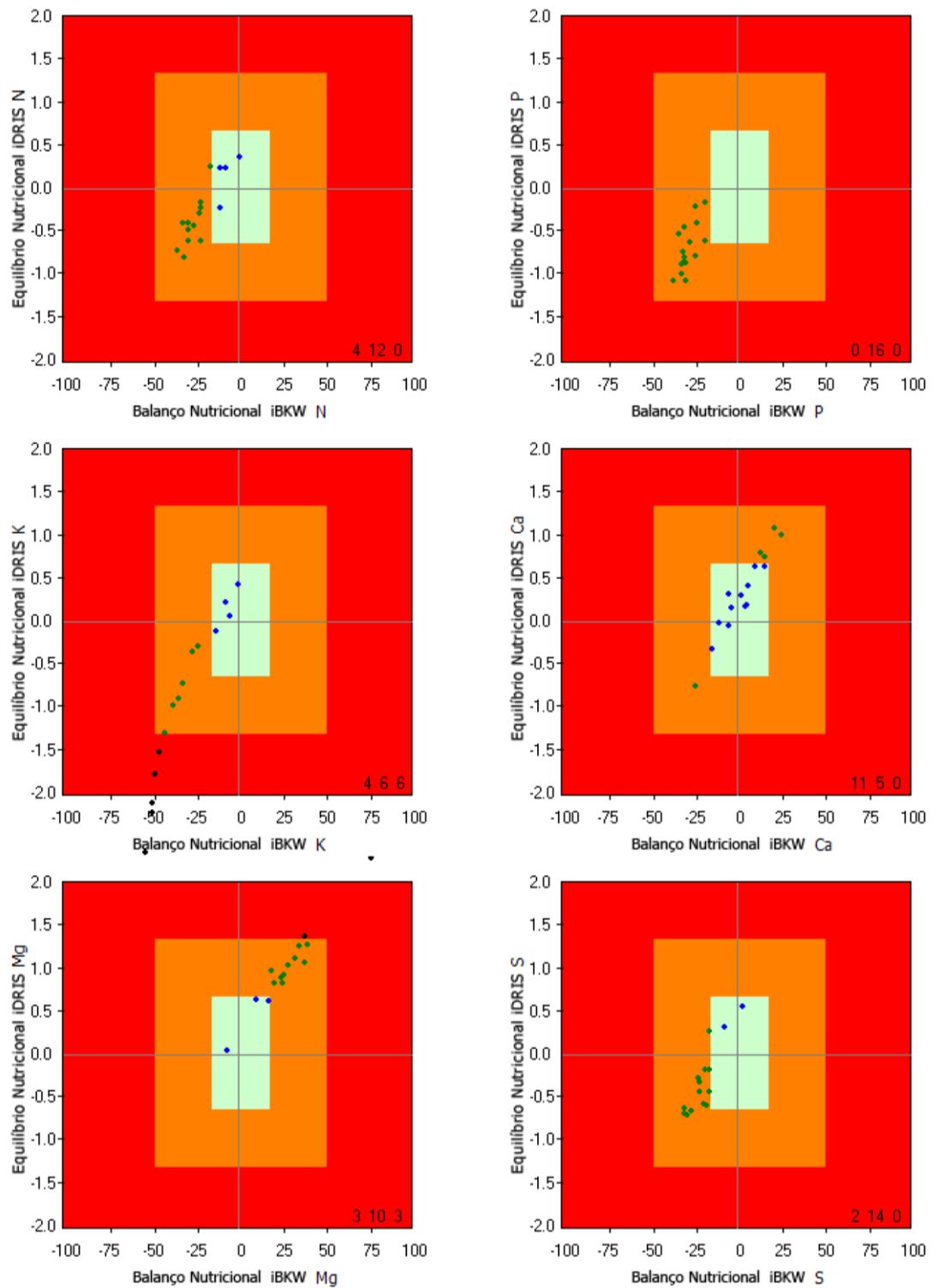


Figura 9: Relacionamento gráfico do balanço e equilíbrio nutricional para os macronutrientes nos plantios de teca em Santo Antônio do Leverger.

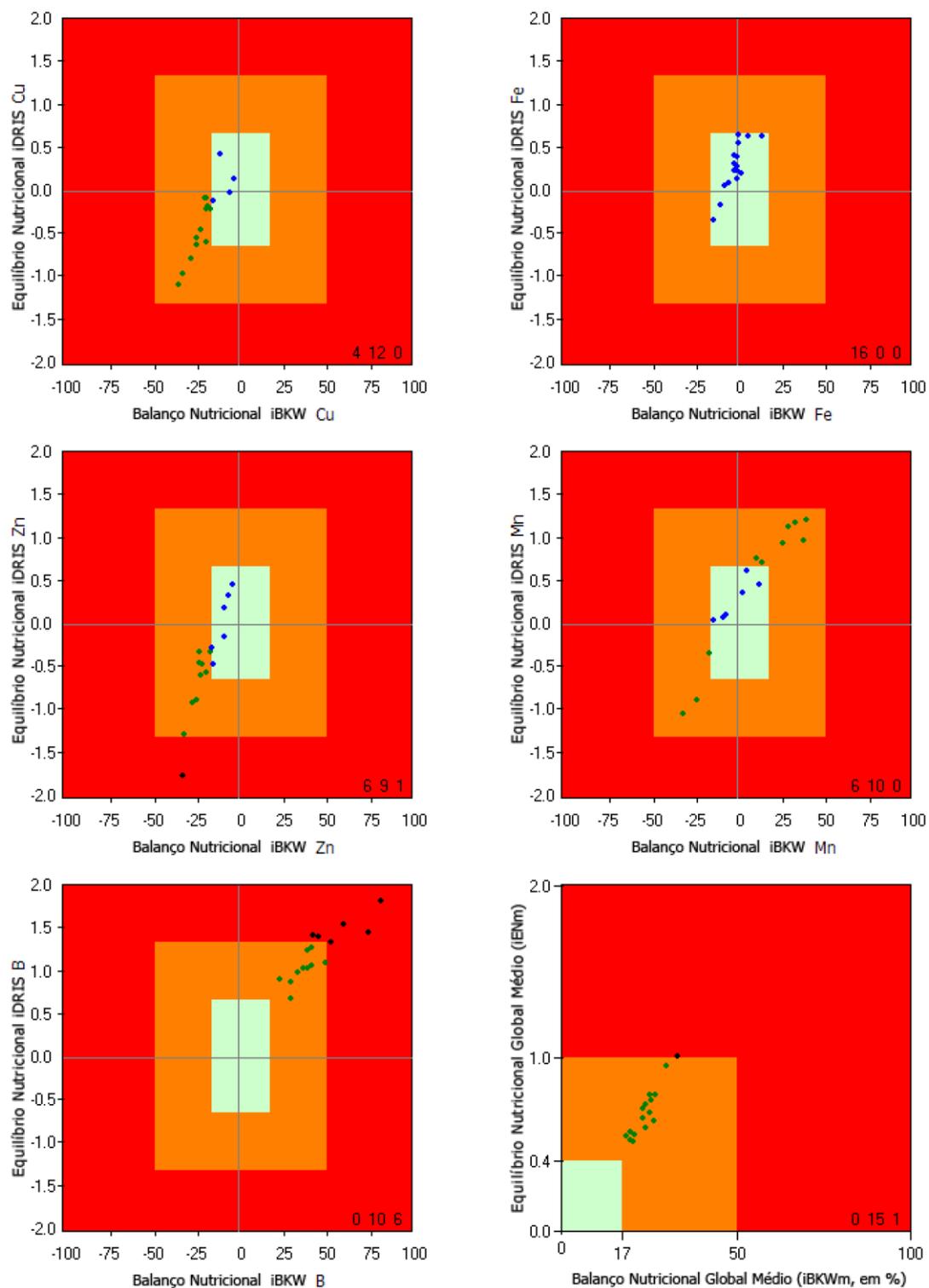


Figura 10: Relacionamento gráfico do balanço e equilíbrio nutricional para os micronutrientes nos plantios de teca em Santo Antônio do Leverger.

5 – CONCLUSÃO

As partições de biomassa para os componentes tronco galhos e folhas não diferem entre as classes diamétricas.

Existe variação na eficiência nutricional em função da idade, dessa forma, deve-se utilizar valores de CUB específicos para cada idade para gerar estimativa mais confiáveis de demanda nutricional.

Os modelos para os valores de CUB em função da idade são úteis para aprimorar o sistema FERTI-UFV TECA para essa cultura no Estado do Mato Grosso.

As normas geradas neste trabalho foram úteis para o aprimoramento do sistema NUTRI-UFV TECA para a diagnose do estado nutricional de plantios de teca no Estado do Mato Grosso, sendo que o uso de normas específicas, por classe de idade, são mais informativas do que as normas gerais.

4 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, A.P. Eficiência vegetal de absorção e utilização de fósforo, com especial referência ao feijoeiro. In: Novais, R.F., Alvarez V., V.H., Schaeffer, C.E.G.R. (eds.) Tópicos em Ciência do Solo, vol.1, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.163-212. 2000
- BARROS, N.F., NEVES, J.C.L., NOVAIS, R.F. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: Gonçalves, J.L.M. e Benedetti, W. (Ed.) Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba. IPEF, p.269-286, 2000.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; TEIXEIRA, J.L. & FERNANDES FILHO, E.I. NUTRICALC 2.0 – Sistemas para cálculo del balance nutricional y recomendación de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. Bosque, 16:129-131, 1995.
- BEAUFILS, E. R. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Pietermaritzburg, University of Natal, South Africa, 132p, 1973. (Soil Sci. Bulletin, 1).
- BEHLING, M. Nutrição, partição de biomassa e crescimento de povoamentos de teca em Tangará da Serra – MT. Viçosa: UFV, 2009. 176p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2009.
- BRAGA, J.M.; DEFFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e plantas. Ceres, 21:73-85, 1974.
- BREMNER, J.M. Nitrogen total. In: SPARKS, D.L., ed. Methods of soil analysis. Madison: America Society of Agronomy, 1996. p.1085-1121.

- CANTARUTTI, R.B.; BARROS, N.F.; MARTINEZ, H.E.P. & NOVAIS, R.F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.645-737.
- CARVALHO, F.T. Sistema de interpretação de análise de solo para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do milho. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2000.93p. (Tese de Mestrado).
- FREIRE, F.J. Sistemas para cálculo do balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para cana-de-açúcar. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 87p. (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, 2001
- KENWORTHY, A. L. Interpreting the balance of nutrient-elements in leaves of fruit trees. In: REUTHER, W. Plant analysis and fertilizers problems. Washington: American Institute of Biological Science, p.28-43, 1961.
- LOURENÇO H. M; PONTES, M. S.; NEVES, J. C. L; BORGES, J. S. D'AVILA, F. S.; PACHECO, R. M. Conteúdo e partição de macronutrientes em árvores de povoamentos de teca (*Tectona grandis*) no Mato Grosso estimados por equações alométricas. In: FertBio-Guarapari – ES, Brasil, 2010.
- MELLO, M.S. Sistema de interpretação de análise de solo e de recomendação de calagem e fertilizantes para a cultura de tomate. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2000. 91p. (Tese de Mestrado).
- NEVES, J. C. L. Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000. 191p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000.
- NEVES, J. C. L; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; LEITE, R. A.; ALVAREZ, V., V. H.; SILVA, I. R. Monitoramento Nutricional e Recomendação de Adubação. In: Encontro Brasileiro de Silvicultura, 2008, Curitiba. Encontro Brasileiro de Silvicultura, v. 1, p. 51-60, 2008.
- OLIVEIRA, E.F.; CARVALHO, R.A; LACERDA, J.T.; CHOAIKY, S.A. & BARREIRO NETO, M. Abacaxi: sistema de cultivo para o tabuleiro paraibano. João Pessoa: EMEPA, 2002. 38p.
- OLIVEIRA, F.H.T. Sistema para recomendação de calagem e adubação para a cultura da bananeira. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 78p. (Tese de Doutorado).
- OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.,V.H. & CANTARUTTI, R.B. Desenvolvimento de um sistema para recomendação de adubação para a cultura da bananeira. R. Bras. Ci. Solo, 29: 131-143, 2005.

- OLIVEIRA, J.R.V. Sistemas para cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e adubação de povoamento de teca-NUTRITECA. Viçosa: UFV, Universidade Federal de Viçosa, 2003. 76p. (Tese de Mestrado).
- PONTES, M. S.; LOURENÇO H. M.; NEVES, J. C. L. Teores de Nutrientes no Lenho e Respectiva Eficiência Nutricional em Povoamentos de Teca de Alta Produtividade em Tangará da Serra no Estado do Mato Grosso, Estimados por Equações Alométricas. In: FertBio-Guarapari – ES, Brasil, 2010.
- POSSAMAI, J.M. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para cultivo do algodoeiro. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2003. 91p. (Tese de Mestrado).
- PREZOTTI, L.C. Sistema para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do café arábica. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 93p. (Tese de Doutorado).
- RAFFAELI, V. Sistema de interpretação de análise de solo e de recomendação de nutrientes para arroz irrigado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 76p. (Tese de Mestrado).
- ROSA, G.N.G.P. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para o cultivo do coqueiro. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 76p. (Tese de Mestrado).
- SANTOS, F.C. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 64p. (Tese de Mestrado).
- SANTOS, H.Q. Sistema para cálculo do balanço de nutrientes e recomendação de calagem e adubação de pastagens para bovinos de corte. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2003. 142p. (Tese de Doutorado).
- SERIGATTO, E. M. Fatores do solo, estado nutricional e crescimento de plantios de teca (*Tectona grandis* L. f.) no norte de Mato Grosso. Manaus: INPA, 2003. 108p. Tese (Dissertação de Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, Amazonas, 2003.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.; BOHNEN, H. Análise de solos, plantas e outros materiais. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).
- WADT, P. G. S. Os métodos da chance matemática e do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucalipto. Viçosa-MG, Universidade Federal de Viçosa, 1996. 123p. (Tese de Doutorado)