

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Doses, fontes e formas de aplicação de boro em floresta de eucalipto**

**Telúira de Andrade e Paula**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba  
2009

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Teluíra de Andrade e Paula  
Engenheiro Florestal

## **Doses, fontes e formas de aplicação de boro em floresta de eucalipto**

Orientador:  
Prof. Dr. **DURVAL DOURADO NETO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba  
2009

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Paula, Telúira de Andrade e

Doses, fontes e formas de aplicação de boro em floresta de eucalipto / Telúira de Andrade e  
Paula. - - Piracicaba, 2009.

66 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009.  
Bibliografia.

1. Adubação 2. Boro 3. Deficiências minerais de plantas 4. Distúrbios nutricionais de plantas 5.  
Eucalipto 6. Produtividade 7. Reflorestamento I. Título

CDD 634.9734  
P324d

**"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"**

Ao meu filho Kaiú que acaba de  
nascer,

Dedico.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço:

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (Departamento de Produção Vegetal e Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia) pela oportunidade de realizar o Mestrado;

À CAPES, pela disponibilização da Bolsa de Estudos; e

Aos meus pais pela oportunidade da vida;

À Siderúrgica Alterosa, pela cessão dos dados;

Ao Engenheiro André Parreiras de Faria pela confiança e oportunidade;

À equipe da Siderúrgica Alterosa, em especial aos amigos André, Zé Luis, Fernando, Márcio, Netinho, Guilherme, Bruno, João Eudes, Rafael e Diego pela colaboração, amizade e pelo exemplo de trabalho em equipe;

Aos amigos Ronaldo L. V. de A. Silveira e Edson Namita Higashi (in memoriam). Sem vocês muitas coisas não teriam sido possíveis;

Ao querido Professor Ronaldo (“Pai Ronaldo”) pelos ensinamentos de professor e conselhos de pai e a toda sua família, Luiza, Ronaldinho, Liciania, Marta, Raimundo e Gabriela pela amizade;

À equipe da RR (Ronaldão, Ronaldinho, Ciça, Aline, Daniel, Claudemir e Matoso) pela amizade e convivência;

Ao professor Durval pelo apoio, compreensão e orientação e à sua família pela dedicação e amizade;

Às Carolinas (Pri e Carol Vet.) pelo apoio em todos os momentos;

Ao colega de Pós e amigo Wirifran pelas muitas risadas e pela troca de experiência;

Ao meu companheiro Valdemir Espíndola (Val) por me amar como sou, pela paciência infinita, pela compreensão, por estar sempre ao meu lado e do meu lado nos bons momentos e nas decisões difíceis, por cuidar de mim e agora, do nosso filho também e por me fazer feliz. Aliás, sem vocês a vida não teria o mesmo sabor;

Às minhas queridas cachorras Aipim e Amora, por aquecerem meus pés enquanto escrevia e refrescaram minha mente com suas brincadeiras (“fukfukfuk”);

Ao Sr. Licínio e D. Odete pelo pela simplicidade, exemplo de família e por me acolherem carinhosamente;

À família da Fran e do Marino pela amizade e apoio em todas as horas;

À minha prima Janaína (Jan) pela nossa eterna infância;

À minha família;

À colega e amiga Carolina Rodrigues Fontana, pela correção do texto aos 45' do segundo tempo.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>9</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>13</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>17</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>21</b>
2.1 Importância econômica.....	21
2.2 O cerrado .....	22
2.3 Boro no solo .....	25
2.4 Fatores que afetem a disponibilidade do elemento no solo.....	26
2.5 Funções do boro na planta.....	27
2.6 Sintomas de deficiência de boro na planta .....	29
2.7 Diagnose foliar .....	31
2.8 Fontes de boro .....	32
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
3.1 Local, época e implantação da floresta.....	33
3.2 Caracterização climática.....	35
3.3 Materiais genéticos.....	37
3.4 Avaliações .....	40
3.5 Análise dos resultados .....	40
3.5.1 Efeito das doses .....	40
3.5.2 Efeito das fontes .....	41
3.5.3 Efeito das formas de aplicação.....	42
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>43</b>
4.1 Efeito das doses de boro .....	43
4.2 Efeito das fontes de boro .....	50
4.3 Efeito das formas de aplicação do boro.....	55
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>61</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>63</b>



## RESUMO

### **Doses, fontes e formas de aplicação de boro em floresta de eucalipto**

Com o objetivo de determinar a dose, a fonte mais adequada e a forma de aplicação de boro em florestas de eucalipto com maior e menor crescimento inicial, foi instalado o experimento na área da Siderúrgica Alterosa, em maio de 2006, no município de Morada Nova de Minas, Estado de Minas Gerais. Foram testados dez tratamentos em dois materiais genéticos e dois níveis de adubação, totalizando 40 tratamentos. Em função dos resultados obtidos, concluiu-se (a) em relação à dose: que os sintomas de deficiência de boro são minimizados com doses superiores a 8 kg.ha<sup>-1</sup>, entretanto, em relação ao incremento volumétrico, somente foi obtida resposta até a dose de 7 kg.ha<sup>-1</sup>; (b) em relação à fonte: dentro da dose testada, o ácido bórico mostrou boa eficiência independente do clone ou nível de adubação; e (c) em relação à aplicação: a forma combinada via solo e pulverização foliar foi a única capaz de prevenir o secamento do ponteiro das árvores durante o período de deficiência hídrica, sendo que a aplicação em filete sem pulverização apresentou resultados inferiores à aplicação a lanço.

Palavras-chave: Adubação; Deficiência nutricional; Produtividade



## ABSTRACT

### **Doses, sources and application forms of boron in eucalyptus forest**

With the purpose of determining the dose, the more recommended source and the application form of boron in eucalyptus forests with higher and lower initial growth, a field experiment was carried out at 'Siderúrgica Alterosa', starting in May 2006, in 'Morada Nova de Minas', State of Minas Gerais, Brazil. Ten treatments were tested in two genetic materials and two levels of fertilization, totalizing 40 treatments. According to the results, we concluded that (a) in relation to dose; the boron deficiency symptoms are minimized with doses superior to 8 kg.ha<sup>-1</sup>, however, in relation to volumetric increment, there was response only until the dose of 7 kg.ha<sup>-1</sup>; (b) in relation to source; for each dose, the boric acid showed good performance regardless of clone or level of fertilization; and (c) in relation to application; the combined form by soil and foliar spraying was the only way to prevent the drying of the pointer of the trees during the water deficit, and the located application without spraying presented worst result when compared to application in total area.

Keywords: Fertilization; Nutritional deficiency; Productivity



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução do segmento de carvão (SBS, 2007).....	21
Figura 2 - Evolução das áreas de reflorestamento com eucalipto destinadas á produção de carvão em relação aos outros segmentos do setor florestal (SBS, 2007) .....	22
Figura 3 - Distribuição da vegetação natural do estado de Minas Gerais (GEOMINAS, 1996).....	23
Figura 4 - Zoneamento climático do estado de Minas Gerais - Precipitação anual (GEOMINAS, 1996) .....	24
Figura 5 - Zoneamento climático do estado de Minas Gerais - Deficiências hídricas. (GEOMINAS, 1996) .....	24
Figura 6 - Mapa de solos do estado de Minas Gerais (IBGE, 2006).....	25
Figura 7 - Sintomas de deficiência de boro em eucalipto: (A) nervuras salientes dando aspecto de "costela" ao <i>Eucalyptus grandis</i> ; (B) progressão da clorose marginal conforme posição no ramo; (C) sintomas foliares em <i>Eucalyptus</i> sp. - folhas retorcidas e morte da gema apical; (D) perda da dominância apical, folhas novas necrosadas e cloróticas; (E) bifurcação do tronco em <i>Eucalyptus urophylla</i> e (F) quebra de ponteiro em clone de <i>Eucalyptus</i> sp. ....	30
Figura 8 - Balanço hídrico climatológico segundo Thornthwaite e Mather (1955) (ETp: evapotranspiração potencial, C: chuva, ETr: evapotranspiração real, EH: excedente hídrico, AR: água retirada, RA: reposição de água e DH: deficiência hídrica). Fazenda Pontal, Morada Nova de Minas-MG .....	36
Figura 9 - Zoneamento climático do estado de Minas Gerais (GEOMINAS, 1996). Balanço hídrico do município de Itamarandiba-MG .....	37
Figura 10 - Deficiência e excedente hídrico para o município de Itamarandiba-MG (GEOMINAS, 1996) .....	38
Figura 11 - Mapa de solos da região do Vale do Jequitinhonha e do município de Morada Nova-MG (IBGE, 2006).....	38
Figura 12 - Precipitação total anual no estado de Minas Gerais. Zoneamento agroclimático do estado de Minas Gerais destacando a região do Vale do Jequitinhonha e o município de Morada Nova-MG (GEOMINAS, 1996).....	39
Figura 13 - Zoneamento climático da região do Vale do Jequitinhonha e do município de Morada Nova - deficiências hídricas (GEOMINAS, 1996) .....	39

- Figura 14 - Efeito das doses de boro sobre o incremento em DAP, em função dos clones (<sup>1</sup> Diferença entre doses de boro, para o mesmo clone, <sup>2</sup> Diferença entre clones, para a mesma dose de boro. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade) ..... 45
- Figura 15 - Efeito dos níveis de adubação sobre o incremento em DAP, em função dos clones (<sup>1</sup> Diferença entre os níveis de adubação, para o mesmo clone, <sup>2</sup> Diferença entre clones, para o mesmo nível de adubação. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade)..... 46
- Figura 16 - Efeito das doses de boro sobre o incremento em altura, em função dos clones (<sup>1</sup> Diferença entre doses de boro, para o mesmo clone, <sup>2</sup> Diferença entre clones, para a mesma dose de boro. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade) ..... 47
- Figura 17 - Efeito da interação entre as doses de boro, os clones e os níveis de adubação sobre incremento em volume (<sup>1</sup> Diferença entre doses de boro, para o mesmo clone e nível de adubação, <sup>2</sup> Diferença entre níveis de adubação, para a mesma dose de boro e clone, <sup>3</sup> Diferença entre clones, para a mesma dose de boro e nível de adubação. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade) ..... 48
- Figura 18 - Correlação entre as doses de boro e o incremento em volume, em função dos clones e os níveis de adubação (\* Correlação significativa a 5% de probabilidade, <sup>n.s.</sup> Correlação não significativa) ..... 49
- Figura 19 - Efeito da interação entre as doses de boro, os clones e os níveis de adubação sobre a intensidade de seca de ponteiro (<sup>1</sup> Diferença entre doses de boro, para o mesmo clone e nível de adubação, <sup>2</sup> Diferença entre níveis de adubação, para a mesma dose de boro e clone, <sup>3</sup> Diferença entre clones, para a mesma dose de boro e nível de adubação. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade) ..... 50

- Figura 20 - Efeito da interação entre as fontes de boro, os clones e os níveis de adubação sobre o incremento em altura (<sup>1</sup> Diferença entre fontes de boro, para o mesmo clone e nível de adubação, <sup>2</sup> Diferença entre níveis de adubação, para a mesma fonte de boro e clone, <sup>3</sup> Diferença entre clones, para a mesma fonte de boro e nível de adubação. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade).....53
- Figura 21 - Efeito da interação entre as fontes de boro e os clones sobre o incremento em volume (<sup>1</sup> Diferença entre fontes de boro para o mesmo clone, <sup>2</sup> Diferença entre clones para a mesma fonte de boro. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade).....54
- Figura 22 - Efeito da interação entre as fontes de boro, os clones e os níveis de adubação sobre a intensidade de seca de ponteiro (<sup>1</sup> Diferença entre fontes de boro, para o mesmo clone e nível de adubação, <sup>2</sup> Diferença entre níveis de adubação, para a mesma fonte de boro e clone, <sup>3</sup> Diferença entre clones, para a mesma fonte de boro e nível de adubação. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade) .....55
- Figura 23 - Efeito da interação entre as formas de aplicação do boro, os clones e os níveis de adubação sobre o incremento em DAP (<sup>1</sup> Diferença entre formas de aplicação do boro, para o mesmo clone e nível de adubação, <sup>2</sup> Diferença entre níveis de adubação, para a mesma forma de aplicação do boro e clone, <sup>3</sup> Diferença entre clones, para a mesma forma de aplicação do boro e nível de adubação. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade) .....57
- Figura 24 - Efeito dos clones sobre o incremento em altura (\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade) .....58
- Figura 25 - Efeito dos clones sobre o incremento em volume (\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade) .....58

Figura 26 - Efeito da interação entre as formas de aplicação do boro, os clones e os níveis de adubação sobre a intensidade de seca de ponteiro (<sup>1</sup> Diferença entre formas de aplicação do boro, para o mesmo clone e nível de adubação, <sup>2</sup> Diferença entre níveis de adubação, para a mesma forma de aplicação do boro e clone, <sup>3</sup> Diferença entre clones, para a mesma forma de aplicação do boro e nível de adubação. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade) ..... 59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teores totais e disponíveis de boro nos diferentes solos.....	26
Tabela 2 - Concentrações foliares de boro em plantios de eucalipto em diferentes regiões e suas interpretações.....	31
Tabela 3 - Resultado da análise da fertilidade do solo entre 0 e 10 cm de profundidade .....	33
Tabela 4 - Resultado da análise da fertilidade do solo entre 10 e 30 cm de profundidade .....	34
Tabela 5 - Descrição das combinação de doses, fontes e formas de aplicação do boro.....	35
Tabela 6 - Balanço hídrico climatológico segundo Thornthwaite e Mather (1955) (T: temperatura do ar, °C; ETp: evapotranspiração potencial, mm.mês <sup>-1</sup> ; C: chuva, mm.mês <sup>-1</sup> ; Arm: armazenamento de água no solo, mm; ETr: evapotranspiração real, mm.mês <sup>-1</sup> ; DH: deficiência hídrica, mm.mês <sup>-1</sup> e EH: excedente hídrico, mm.mês <sup>-1</sup> ). Fazenda Pontal, Morada Nova de Minas-MG.....	36
Tabela 7 - Descrição das combinações de doses, fontes e formas de aplicação do boro .....	40
Tabela 8 - Esquema da análise de variância.....	41
Tabela 9 - Descrição das combinações de doses, fontes e formas de aplicação do boro .....	41
Tabela 10 - Esquema da análise de variância.....	41
Tabela 11 - Descrição das combinações de doses, fontes e formas de aplicação do boro .....	42
Tabela 12 - Esquema da análise de variância.....	42
Tabela 13 - Dados médios de idade, altura, DAP, volume e IMA da floresta .....	43
Tabela 14 - Resumo da análise de variância.....	43
Tabela 15 - Intensidade média de sintoma de deficiência de boro e incrementos em DAP, altura e volume em função das doses de boro e do nível de adubação, para os clones A e B.....	44
Tabela 16 - Resumo da análise de variância.....	51
Tabela 17 - Intensidade média de sintoma de deficiência de boro e incrementos em DAP, altura e volume em função das fontes de boro e dos níveis de adubação, para os clones A e B.....	52
Tabela 18 - Resumo da análise de variância.....	56
Tabela 19 - Intensidade média de sintoma de deficiência de boro e incrementos em DAP, altura e volume em função das fontes de boro e dos níveis de adubação, para os clones A e B.....	56



## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de aço bruto da América Latina, superando a produção do México e a soma das produções da Argentina, Venezuela, Chile, Colômbia, Peru, Trinidad-Tobago, América Central, Paraguai, Equador e Uruguai (ILAFSA, 2007). Em janeiro de 2007 contribuiu com 2,5% da produção mundial, o que representa 2,7 milhões de toneladas de aço bruto. Do total da produção brasileira o estado de Minas Gerais é o que participa com o maior percentual, respondendo por 69,7% da produção, seguido pelos estados de São Paulo, Espírito Santo e Rio de Janeiro (IBS, 2007).

O aço bruto é o produto da fundição do minério de ferro com carbono de origem mineral ou vegetal formando uma liga dura, após o resfriamento repentino. O setor de siderurgia integra as indústrias de base e no Brasil está ligado ao setor florestal, responsável pelo fornecimento do carvão.

No estado de Minas Gerais os reflorestamentos de eucalipto estão situados em sua maioria nos campos cerrados, em áreas marginais do ponto de vista histórico, cultural e econômico, caracterizadas por solos profundos, de baixa fertilidade e ácidos, clima quente, com deficiência hídrica acentuada nos meses de abril a setembro e chuvas concentradas de dezembro a fevereiro.

Desde 1940, a silvicultura tem evoluído muito. Foram introduzidas novas espécies de alta produtividade e rápido crescimento, adotadas técnicas de manejo, de correção da fertilidade do solo e de melhoramento genético, incluindo o uso de clones de alta produtividade, tecnologia inicialmente não recomendada para a região dos gerais pelas condições locais adversas. A silvicultura tornou-se potencial, econômica, rentável e racional. Entretanto muitas perguntas ainda estão por serem respondidas e tecnologias por serem testadas.

Do ponto de vista da correção da fertilidade do solo dos reflorestamentos dos gerais, o clima talvez seja o fator mais restritivo determinando, até o momento, que a questão “Quando adubar?” seja respondida em função das chuvas e não em função do porte ou idade da floresta como ocorre nas regiões de deficiência hídrica menos acentuada.

Um dos principais problemas nutricionais dos reflorestamentos de eucalipto do interior de Minas Gerais é o fornecimento do boro. Tem-se observado em condições de campo, sintomas severos de deficiência de boro, mesmo em plantios com o fornecimento de 4 a 6 kg por hectare do elemento. Observou-se, em áreas vizinhas de plantio de eucalipto de mesma idade, que plantas cultivadas com níveis mais baixos de adubação e menor desenvolvimento não apresentam

sintomas. Acredita-se na hipótese de que em sistemas de alta produtividade, o fornecimento do boro via solo não seja suficiente para satisfazer a demanda das plantas em função do intenso crescimento vegetativo que apresentam, sendo necessária uma complementação via foliar.

O objetivo deste trabalho é determinar a dose, a forma de aplicação e a fonte mais adequada de boro em florestas com maior e menor crescimento inicial, a fim de prevenir os sintomas de seca de ponteiro.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Importância econômica

Atualmente, 61% do carvão utilizado na fabricação do aço, ferro gusa e outro produtos derivados têm origem em florestas plantadas, este percentual já foi inferior a 20% e 55% nas décadas de 80 e 90, respectivamente (SBS, 2007). Entre aos anos de 2000 e 2004, o segmento de carvão produziu cerca de 29 milhões de m<sup>3</sup> por ano, deste volume, 65% foram consumidos no estado de Minas Gerais (Figura 1).

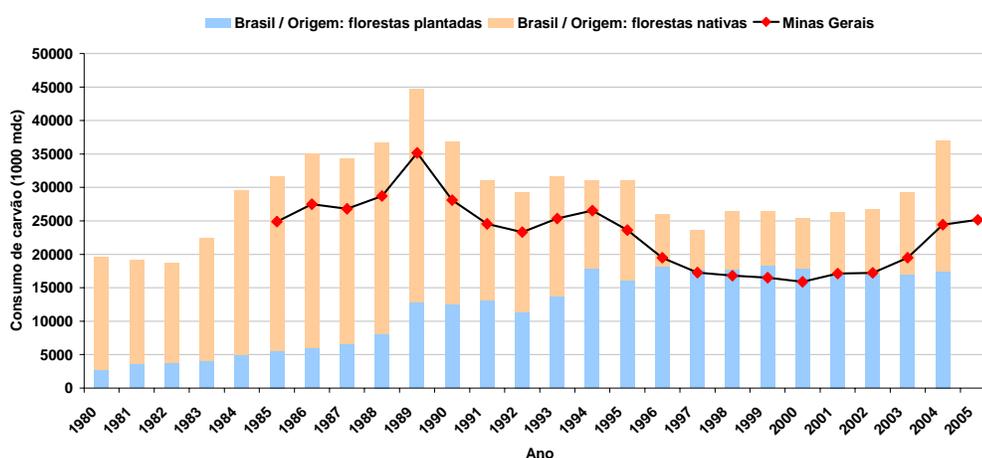


Figura 1 - Evolução do segmento de carvão (SBS, 2007)

Na década de 90 o segmento de carvão representou entre 20% e 60% dos reflorestamentos (Figura 2). Em 2006 foram plantados 627 mil hectares de florestas no Brasil, dos quais 23% estão em Minas Gerais (145 mil hectares) (SBS, 2007).

No estado de Minas Gerais os reflorestamentos de eucalipto estão situados em sua maioria nos campos cerrados, região caracterizada por clima Aw - quente e úmido, com uma longa estação seca (AZEVEDO; CASER, 1980) com deficiência hídrica acentuada nos meses de abril a setembro e chuvas concentradas de dezembro a fevereiro, solos profundos, porém de baixa fertilidade e álicos.

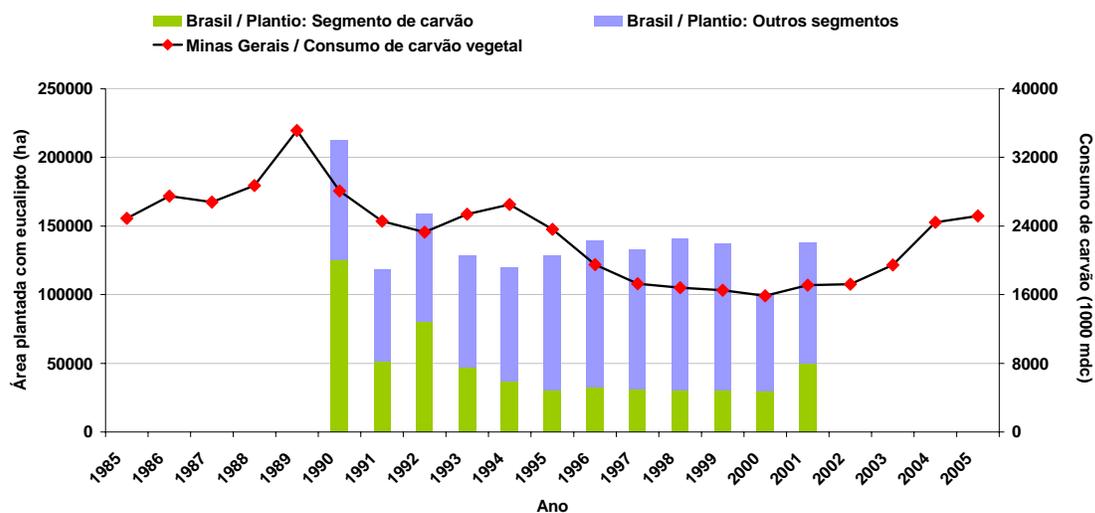


Figura 2 - Evolução das áreas de reflorestamento com eucalipto destinadas á produção de carvão em relação aos outros segmentos do setor florestal (SBS, 2007)

Vasconcellos (1940) tão bem descreveu essa paisagem destinada à silvicultura e que por valores históricos, culturais e econômicos até hoje permanece deslocada a áreas marginais, conforme parcialmente reproduzido no texto a seguir: “*A parte da agricultura que se vê mais imediatamente compellida a abandonar as terras cara é a silvicultura. Pelo seu carácter extensivo e pelo tempo que leva para obter productos, não póde ahi supportar os juros accumulados e dar taxas remuneradoras. Será nas de baixos preços, pela sua má composição, má situação topographica ou onde ella terá outros impecilhos taes como pedras em excesso que ella terá o seu lograr. Os nossos cerrados primam pela boa topographia, no geral, mas a composição dos solos deixa muito a desejar. A presença de areia em grande quantidade e em outros a má qualidade do material cimentante, a secura e o material tannifero derrubado pelas plantas os predispõem à humificação acida, onde uma flora sub-erophyta encontra o seu habitat. Pela grande frugalidade desta, a natureza prepara a substituição dos exemplares que venham a morrer, não deixando desguarnecer-se o solo, o que evita a completa esterilidade*”.

## 2.2 O cerrado

O Brasil apresenta 20% das suas áreas sob vegetação de cerrado, concentradas em grande parte na região Centro-Oeste. Em Minas Gerais, representam a maior parte da cobertura vegetal natural do estado (Figura 3).

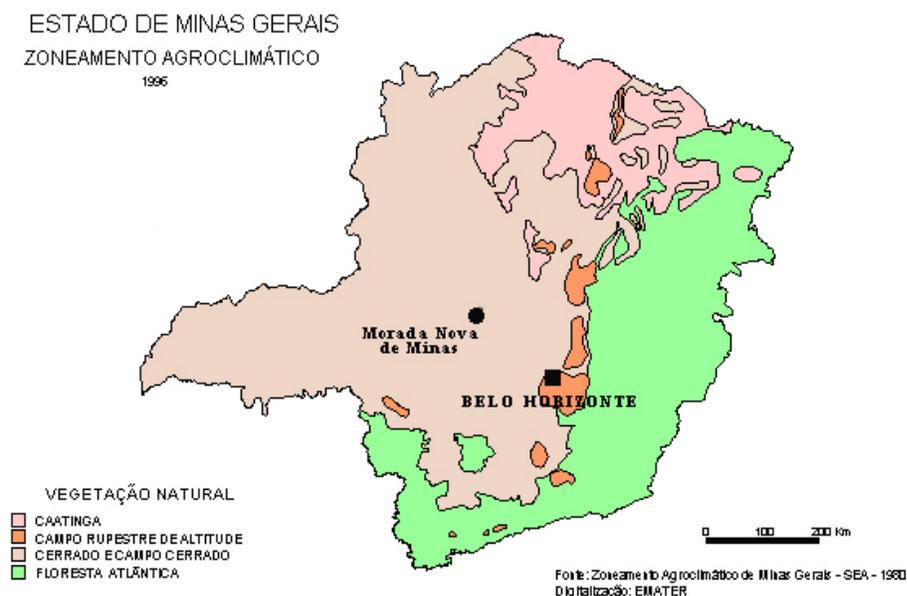


Figura 3 - Distribuição da vegetação natural do estado de Minas Gerais (GEOMINAS, 1996)

Na sub-região do cerrado mineiro o clima sofre influência do tropico semi-árido, que é mais quente e seco. As temperaturas médias anuais variam de 20°C a 26°C (EITEN, 1972), com pluviosidade anual de 750-800 mm, podendo chegar até 2.000 mm em algumas regiões. Há variação não só na precipitação, como também na distribuição das chuvas ao longo do ano. A deficiência hídrica pelo método de Thornthwaite pode variar de 4 a 790 mm (REIS, 1971) e os veranicos são comuns, mesmo durante o período das chuvas, nos meses de dezembro a janeiro (WOLF, 1975).

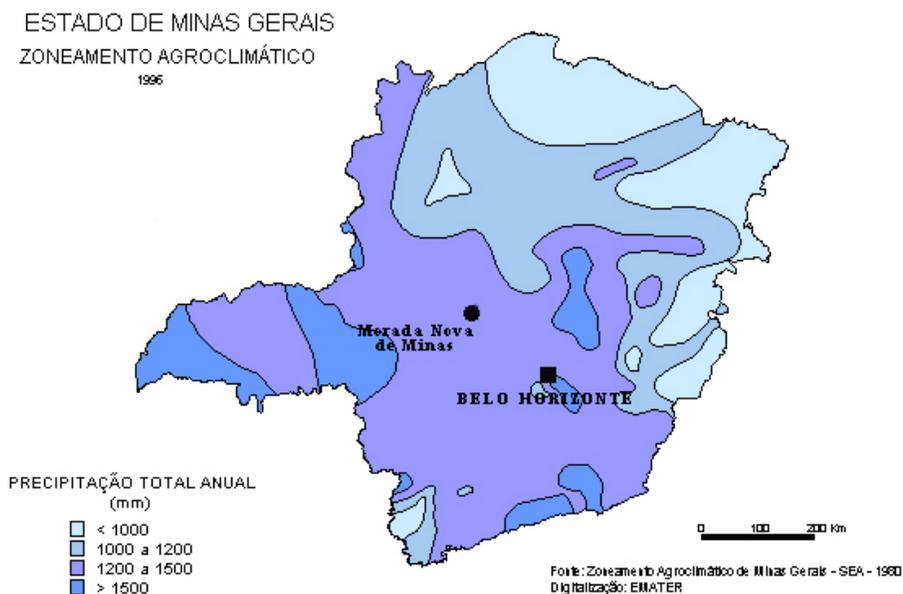


Figura 4 - Zoneamento climático do estado de Minas Gerais - Precipitação anual (GEOMINAS, 1996)

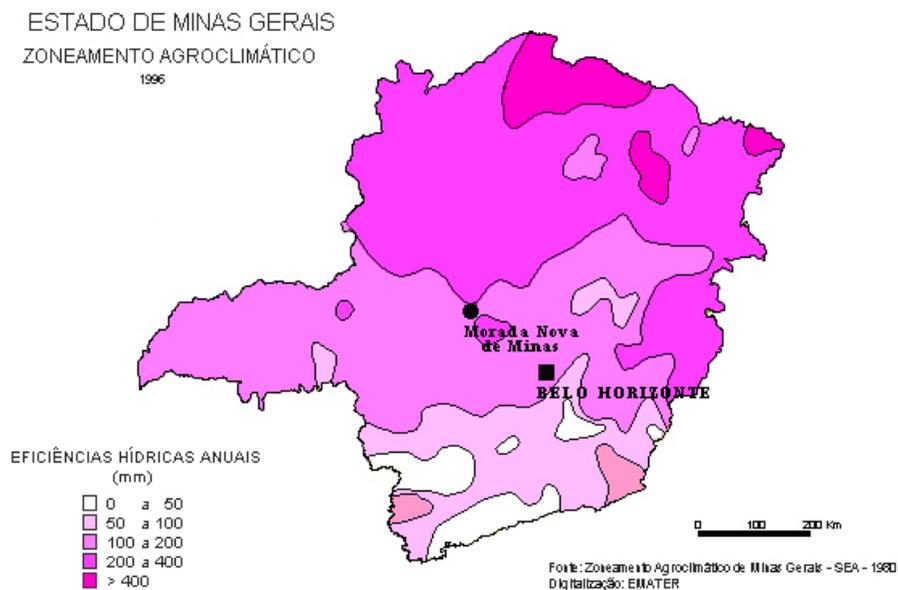


Figura 5 - Zoneamento climático do estado de Minas Gerais - Deficiências hídricas. (GEOMINAS, 1996)

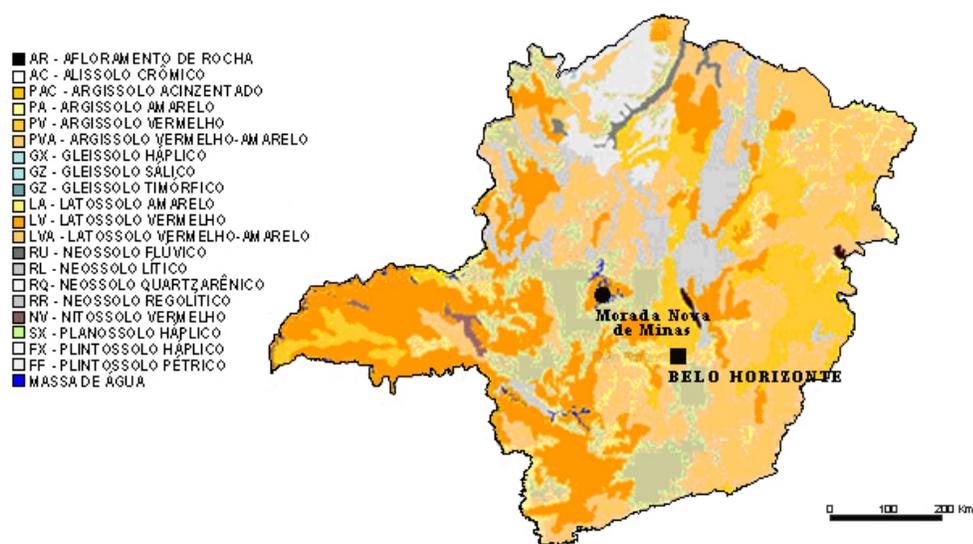


Figura 6 - Mapa de solos do estado de Minas Gerais (IBGE, 2006)

### 2.3 Boro no solo

A turmalina é o principal mineral do solo que contém boro, respondendo por quase 95% do conteúdo total do elemento em solos de regiões úmidas, porém é muito resistente ao intemperismo (MALAVOLTA, 1980; DANTAS, 1991).

No solo, o boro ocorre como ácido bórico ou borato, e pode ser adsorvido fortemente a fração orgânica e inorgânica (BARROS; NOVAIS, 1996). A matéria orgânica é considerada a principal fonte de boro em solos tropicais, uma vez que o boro assimilado pela planta, é quase totalmente originado de sua mineralização sendo o restante produto da intemperização dos minerais do solo (MALAVOLTA, 1980; GUPTA et al., 1985, GUPTA, 1993). Portanto, existe uma relação direta entre o teor de matéria orgânica no solo e a dose de boro a ser aplicada.

Abreu et al. (2004), estudando a movimentação do boro em diferentes solos, observaram que a recuperação deste elemento pelo método da água quente obedece a seguinte ordem: arenoso > orgânico > argiloso.

O fato do boro disponível no solo encontrar-se principalmente associado à matéria orgânica, implica em maiores concentrações do elemento nos horizontes superficiais, indicando que o teor de boro diminui com o aumento da profundidade (VANDERLEI et al., 1988). Portanto, há uma correlação possível entre o teor de boro disponível e a quantidade de matéria orgânica do solo (VANDERLEI et al., 1988; MALAVOLTA, 1980; BALONI, 1997). Na maioria dos solos

brasileiros os teores de boro totais e disponíveis variam de 30 a 60 e 0,06 a 0,5 mg.dm<sup>-3</sup>, respectivamente (MALAVOLTA, 1980). A Tabela 1 mostra os teores totais e disponíveis de boro nos principais grupos de solos do estado de São Paulo e Ceará. É possível observar grande variação no teor de boro solúvel entre os diferentes solos.

Os baixos teores de boro solúveis no solo, aliados a condições de deficiência hídrica prolongada, são fatores que predispõem as floresta de eucalipto a deficiência de boro.

Tabela 1 - Teores totais e disponíveis de boro nos diferentes solos

Solo	Estado	Teores de B (mg.kg <sup>-1</sup> )		
		Profundidade (cm)	Total	Solúvel
Latossolo Vermelho	SP <sup>1</sup>	0-30	40,5	0,10
Areia Quartzosa	SP	0-30	43,8	0,08
Latossolo Vermelho distrófico A - moderado textura argilosa ou muito argilosa	SP	0-25	31,3	0,16
Latossolo Vermelho distroférico textura argilosa ou muito argilosa	SP	0-8	37,5	0,12
Latossolo Vermelho distroférico textura media	SP	0-23	43,8	0,06
Argissolo Vermelho	SP	0-30	54,0	0,32
Argissolo Vermelho	SP	0-30	49,5	0,29
AQd	CE <sup>2</sup>	0-20	8,9-14,3	0,21-0,53
Ae	CE	0-20	9,1-18,5	0,38-1,24
NC	CE	0-20	8,9-12,0	0,38-0,56
Ce	CE	0-20	14,2-19,6	0,58-0,85
PVd	CE	0-20	8,5-52,2	0,20-0,93
LVe	CE	0-20	11,0-42,9	0,32-0,78

<sup>1</sup> Malavolta (1980); <sup>2</sup> Silva e Ferreyra (1998).

#### 2.4 Fatores que afetem a disponibilidade do elemento no solo

Os fatores que afetam a disponibilidade do elemento no solo são: pH, textura, umidade, temperatura, matéria orgânica, quantidade e tipos de argila.

O pH é um dos principais fatores que afetam a disponibilidade de boro nos solos. O aumento do pH diminui o teor de boro na solução do solo, devido a maior adsorção deste nutriente na superfície dos colóides, à medida que cresce a alcalinidade do meio (FERREIRA, 1998). A adsorção é máxima quando o pH atinge valores próximos a 9 (GOLDBERG, 1997). Em solos do Paraná, Pavan e Correa (1988) verificaram que a capacidade de adsorção de B pelos solos foi pouco sensível em pH inferior a 6,5 e aumentou marcadamente entre 6,5 e 8,0.

A matéria orgânica é a principal fonte de boro disponível nos solos tropicais, embora o nutriente presente na matéria orgânica não esteja prontamente disponível para as plantas, ele vai sendo liberado através do processo de mineralização (MALAVOLTA, 2006). Em condições de deficiência hídrica, ocorre interrupção da mineralização afetando a disponibilidade do boro as plantas.

Quanto à textura do solo, em geral, o teor de boro disponível diminui dos solos argilosos para os mais arenosos. Estudos tem demonstrado que a capacidade de retenção de boro é proporcional ao teor de argila dos solos (FERREIRA, 1998).

Quanto à fração argila, os diferentes tipos de minerais da fração argila dos solos exercem papel fundamental no controle do teor de boro disponível. A adsorção de boro se deve principalmente aos óxidos de ferro e alumínio, uma vez que esses íons influenciam mais que qualquer outro tipo de argila silicatada. A adsorção de boro pelos óxidos de ferro e alumínio depende basicamente do pH, com máxima adsorção próxima de pH 7,0 para óxido de alumínio e 8,0 a 9,0 para óxidos de ferro (FERREIRA, 1998).

Quanto ao teor de água do solo, períodos prolongados de seca reduzem o teor de boro disponível do solo. A deficiência de água faz com que a mineralização da matéria orgânica seja diminuída devido à atividade de microorganismos, ficando a liberação do boro nela contida, reduzida à zero. Além disso, a absorção de boro pelas plantas ocorre por fluxo de massa, sendo a presença de água primordial no processo.

Altas temperaturas no solo podem aumentar a fixação de boro (GOLDBERG et al., 2005).

## **2.5 Funções do boro na planta**

O boro é provavelmente absorvido na forma de ácido bórico não dissociado ( $H_3BO_3$ ), porém ainda há controvérsia se a absorção é passiva ou ativa (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

O boro não satisfaz o critério indireto da essencialidade, sendo que não se encontra nenhum composto vital no qual ele participe e nem se identificou qualquer reação crucial do metabolismo que é interrompida na sua ausência (MALAVOLTA, 1980). Ainda se conhece muito pouco sobre a função exata do boro no metabolismo das plantas (MATOH et al., 1992). Afirma-se que suas funções estão relacionadas ao transporte de açúcares das folhas para os demais órgãos, formação de parede celular, gemas apicais, axilares e radiculares, síntese de lignina e celulose, balanço hormonal, síntese de ácidos nucléicos e proteínas, metabolismo dos fenóis e absorção radicular (POLLARD; PARR; LOUGHMAN, 1997; GUPTA, 1979; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

O papel do boro, no transporte de carboidratos (açúcares) das folhas para os órgãos, pode ser explicado de duas maneiras: (a) pela formação de um complexo carboidrato-boro, responsável por um produto de maior solubilidade nas membranas; e (b) pela desorganização da estrutura e do funcionamento dos vasos condutores, que é comum na carência de boro. Esse papel é facilmente notado em condições de deficiência severa onde ocorre um engrossamento das folhas em razão do acúmulo de carboidratos (PRICE; CLARK; FUNKHOUSER, 1972; HEWITT; SMITH, 1975; JACKSON; CHAPMAN, 1975; POLLARD; PARR; LOUGHMAN, 1997; MALAVOLTA, 1980).

Em condições de deficiência de boro, a divisão celular não se completa e as paredes longitudinais das células têm sua formação comprometida, resultando em uma expansão irregular e incompleta dos tecidos foliares (DELL; HUNG, 1997). A degeneração dos tecidos meristemáticos é facilmente notada nos pontos de crescimento, como morte das gemas apicais, raízes, felogênio e câmbio vascular. Isso mostra que é necessário um fornecimento contínuo de boro para a manutenção da atividade meristemática (HEWITT; SMITH, 1975; COHEN; LEPPER, 1977; GUPTA, 1979; MALAVOLTA, 1980).

A deficiência de boro afeta a atividade do felogênio, dificultando a formação de periderme de cicatrização, um dos mecanismos responsáveis pela defesa das plantas lenhosas à infecção e injúrias (MULLICK, 1997).

A madeira de árvores crescendo em solo com baixos níveis de boro, pode apresentar pouca lignificação, fazendo com que os ramos não suportem o peso das folhas (DELL; MALAJCZUK, 1994). Relacionado a isso, Lewis (1980) sugere que o boro, juntamente com as auxinas, exerça papel fundamental na síntese de lignina e na diferenciação do xilema. Entretanto, são raras as

pesquisas sobre os papéis do boro na diferenciação e maturação dos tecidos vasculares. Os resultados encontrados na literatura são bastante conflitantes.

Outro papel atribuído ao boro é a formação de parede celular (HEWITT; SMITH, 1995; MALAVOLTA, 1980), sendo que o ácido bórico pode servir como unidade de ligação entre polissacarídeos da parede celular. Na sua falta, ocorrem modificações morfológicas nas plantas, tais como parede celular muito fina e pouco lignificada, diminuindo assim a rigidez dos tecidos (HEWITT; SMITH, 1995; LEWIS, 1980; DUGGER, 1983; MARCHNER, 1986; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

## **2.6 Sintomas de deficiência de boro na planta**

O boro de modo geral é transportado somente no xilema, sendo praticamente imóvel no floema (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Essa mobilidade restrita do elemento quanto à redistribuição, faz com que os sintomas de deficiência apareçam nos órgãos mais novos e nas regiões de crescimento (MALAVOLTA, 1980; COUTINHO; BENTO; VALE, 1995; BROWN; SHELPS, 1997; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Os primeiros sintomas de deficiência de boro em eucalipto foram verificados por Vail, Parry e Calton (1961) e Savory (1962). Esses autores relataram que o principal sintoma é a seca de ponteiro (“dieback”), sendo que as manifestações ocorrem, principalmente, durante as estações secas. Portanto, a deficiência de boro tem sido encontrada em plantações florestais desde a década de 50, e os sintomas em eucalipto caracterizam-se por folhas novas cloróticas, pequenas e mal formadas, com aspecto de “falta de pedaço”; encarquilhadas e coriáceas; presença de nervuras salientes com posterior necrose, dando aspecto de “costelamento”; morte da gema apical e seca de ponteiro, seguida de brotação das gemas axilares, com posterior bifurcação do tronco; caules e ramos retorcidos devido à falta de lignificação; rachadura da casca com exsudação de goma e necrose dos tecidos, morte descendente dos ramos e achatamento do caule devido à morte do câmbio (TOKESHI; GUIMARAES; TOMAZELLO FILHO, 1976; ROCHA FILHO; HAAG; OLIVEIRA, 1978; DELL; MALAJACZUK, 1994; DELL et al., 1995; SILVEIRA et al., 1996) (Figura 7).

Anatomicamente, o caule, na carência de boro, apresenta baixo número ou ausência de elemento de vasos, aumento do número de fibras, deformação nas estruturas e configuração dos vasos, sendo que os raios medulares distribuem-se em fileiras duplas. As células dos raios

medulares encontram-se hipertrofiadas e as meristemáticas do câmbio disformes ou necrosadas, sendo o mesmo observado no floema (CARVALHO et al., 1980).

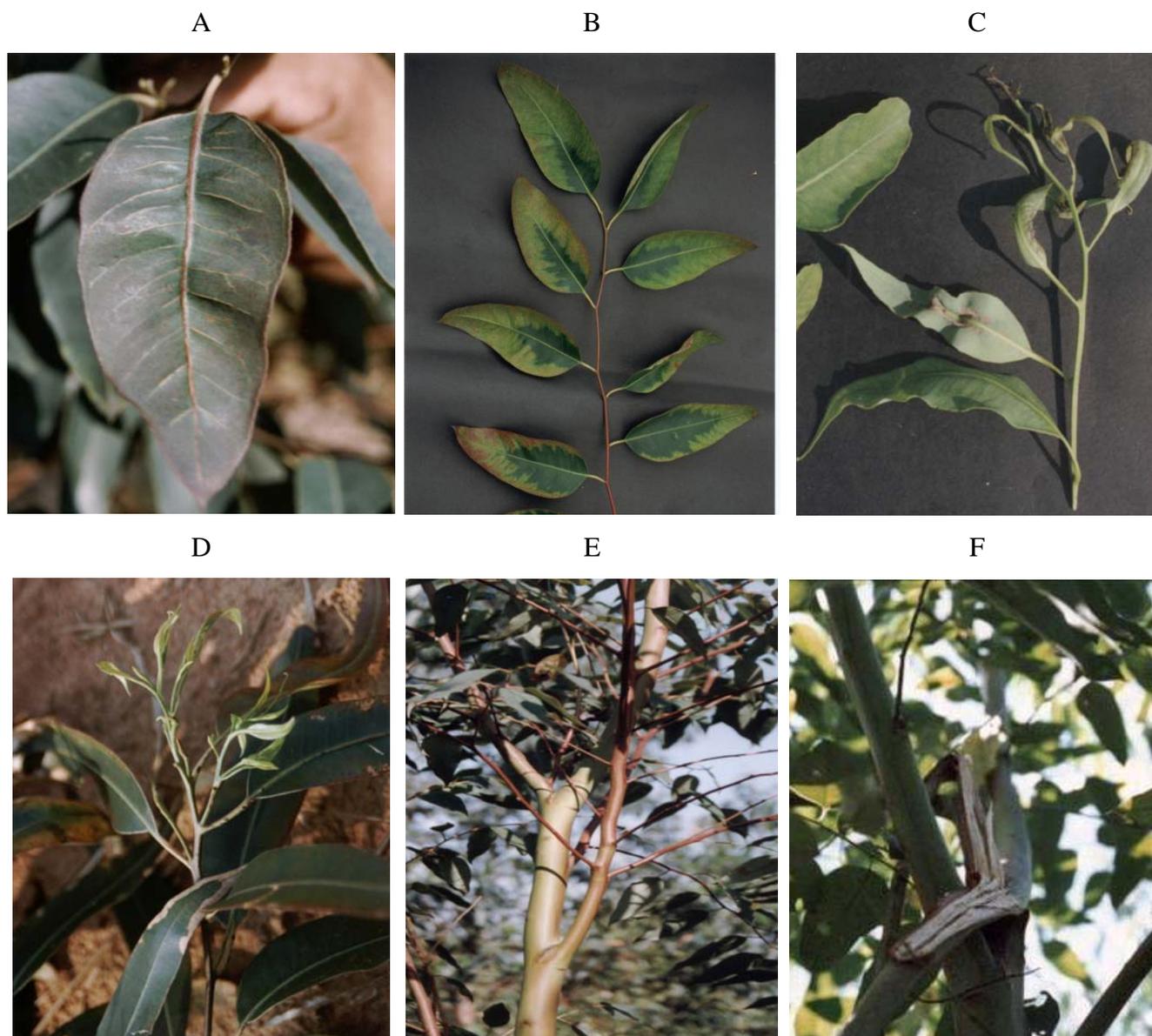


Figura 7 - Sintomas de deficiência de boro em eucalipto: (A) nervuras salientes dando aspecto de "costela" ao *Eucalyptus grandis*; (B) progressão da clorose marginal conforme posição no ramo; (C) sintomas foliares em *Eucalyptus* sp. - folhas retorcidas e morte da gema apical; (D) perda da dominância apical, folhas novas necrosadas e cloróticas; (E) bifurcação do tronco em *Eucalyptus urophylla* e (F) quebra de ponteiro em clone de *Eucalyptus* sp.

No campo, a deficiência severa leva a morte das árvores, enquanto que a deficiência leve pode proporcionar danos nos galhos e troncos, perda de qualidade da madeira e redução da produtividade.

## 2.7 Diagnose foliar

A Tabela 2 mostra a interpretação do estado nutricional em relação ao boro para diferentes regiões. Nota-se que a faixa de variação da concentração de boro nas folhas variou conforme a região amostrada. Comparando os teores obtidos com os propostos como adequado pela literatura, observa-se deficiência generalizada nas regiões de Itatinga e Vale do Paraíba, SP. Nessas duas regiões a deficiência de boro pode ser consequência de doses abaixo da exigida, associadas à deficiência hídrica durante os meses de abril a setembro. Os solos dessas regiões são predominantemente arenosos álicos, com baixo teor de boro, variando de 0,06 a 0,15 mg.dm<sup>-3</sup>. Já para a região do Sul da Bahia, as carências de boro são pouco frequentes quando comparadas com as florestas localizadas em São Paulo e Minas Gerais. Apesar dos Argissolos apresentarem baixo nível de boro (0,2 mg.dm<sup>-3</sup>), as concentrações encontradas nas folhas situam-se dentro da faixa considerada adequada (25 a 40 mg.kg<sup>-1</sup> de B), na maioria das áreas amostradas. Talvez, a melhor distribuição das chuvas associadas às altas temperaturas possibilitem mineralização mais intensa da matéria orgânica e conseqüentemente maior quantidade de boro disponível as plantas.

Tabela 2 - Concentrações foliares de boro em plantios de eucalipto em diferentes regiões e suas interpretações

Região	Idade (meses)	Faixa de variação (mg.kg <sup>-1</sup> )		Deficiente (% da área amostrada)	Adequada	Alto
		mínima	máxima			
<sup>1</sup> Bofete e Itatinga, SP	12-24	12	110	30	55	15
<sup>2</sup> Luiz Antonio, SP	24	16	65	52	45	3
<sup>3</sup> Sul da Bahia	12	10	80	11	70	19
<sup>4</sup> Sul de São Paulo	18	11	40	77	15	8

<sup>1</sup>Fonte: Silveira; Silveira e Higashi (2002); <sup>2</sup>Fonte: Silveira; Higashi e Paula (2003); <sup>3</sup>Fonte: Silveira; Araújo e Souza (2001); <sup>4</sup>Fonte: Sgarbi e Silveira (2001).

## 2.8 Fontes de boro

A ulexita é um borato natural de sódio e cálcio na forma mineral, a partir do qual é extraído o boro para fabricação do ácido bórico. A solubilidade do  $\text{H}_3\text{BO}_4$  é de  $18 \text{ g.mL}^{-1}$  de água quente, enquanto o  $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  é insolúvel em água (MERCK, 2009).

Abreu et al. (2004), estudando a movimentação do boro em solo arenoso, observaram que os tratamentos com ulexita apresentaram teores de boro significativamente menores que os tratamentos com ácido bórico para o mesmo período de incubação, o que, segundo os autores, está relacionado com a dissolução mais lenta desses fertilizantes e com os atributos químicos do solo. Da mesma forma, as perdas por lixiviação do boro do ácido bórico foram mais rápidas do que as do boro proveniente da ulexita.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo teve por objetivo avaliar o efeito de (a) doses, (b) fontes e (c) formas de aplicação de adubos boratados na prevenção da seca de ponteiro da floresta de eucalipto conduzida sob diferentes níveis de adubação, denominadas neste trabalho de potencial e reduzida.

Para tanto, foram testadas dez combinações de doses, fontes e formas de aplicação de boro, dois materiais genéticos e dois níveis de fertilização, totalizando 40 tratamentos. Os tratamentos foram alocados em faixas, sendo instaladas 3 parcelas de avaliação em cada faixa, totalizando 120 parcelas experimentais.

#### 3.1 Local, época e implantação da floresta

O experimento foi instalado em condições de campo, na Fazenda Pontal, localizada no município de Morada Nova, Estado de Minas Gerais.

De acordo com o levantamento pedológico, o talhão está em uma área de Latossolo Vermelho Amarelo, freqüente em toda a região. São solos com elevado nível de intemperização, baixa fertilidade e boa drenagem. Morfologicamente, caracteriza-se por um perfil muito profundo, com mais de 200 cm, textura argilosa, estrutura fortemente desenvolvida, com consistência macia. Apresentam acidez elevada, saturação por bases e capacidade de troca de cátions mediana.

Os resultados das análises da fertilidade do solo em duas profundidades são apresentados nas Tabelas 3 e 4. A coleta foi realizada antes da implantação. A recomendação de adubação foi realizada com base no resultado da análise da fertilidade do solo, seguindo os critérios utilizados pela empresa para os plantios comerciais.

Tabela 3 - Resultado da análise da fertilidade do solo entre 0 e 10 cm de profundidade

M.O.	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	m	SO <sub>4</sub>	B	Cu	Fe	Mn	Zn
g.dm <sup>-3</sup>		Mg.dm <sup>-3</sup>	-----mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> -----							-----	-%-		-----mg.dm <sup>-3</sup> -----				
33	4,2	8	1,5	12	7	5	52	21	73	28	20	4	0,35	0,8	60	2,3	0,3
39	4,2	7	2,5	11	9	6	58	23	81	28	21	4	0,30	0,8	56	3,6	0,3

Tabela 4 - Resultado da análise da fertilidade do solo entre 10 e 30 cm de profundidade

M.O.	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	m	SO <sub>4</sub>	B	Cu	Fe	Mn	Zn
g.dm <sup>-3</sup>		mg.dm <sup>-3</sup>	-----mmol.c.dm <sup>-3</sup> -----						--%--		-----mg.dm <sup>-3</sup> -----						
27	3,9	7	1,0	4	2	8	58	7	65	11	53	2	0,21	0,7	29	1,7	0,3
25	4,0	3	1,3	7	4	9	58	12	70	18	42	3	0,19	0,6	29	2,1	0,3

Antes da implantação foi realizada calagem em área total, sobre o solo, sem incorporação com 2.000 kg.ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, contendo 46% de CaO, 6,5% de MgO e PRNT 85% e aplicação de 45 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato simples com 0,2% de boro e 0,1% de zinco no sulco de plantio. O plantio foi realizado em maio de 2006 utilizando espaçamento de 3 m por 2,8 m, totalizando 1190 árvores por hectare. Após o plantio foram aplicados mais 45 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de 6-30-6, em covetas laterais. Em outubro de 2006, no início do período chuvoso, foi realizada a primeira cobertura com 20 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, 20 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 0,5 kg.ha<sup>-1</sup> de boro, na forma de 20-0-20 com 0,5% de boro. A aplicação foi em semicírculo, sobre o solo, na projeção da copa das plantas. Toda a área recebeu o mesmo manejo da implantação até a primeira cobertura.

Na segunda cobertura foram administradas as 10 combinações de fontes, doses e formas de aplicação do boro, conforme descrito na Tabela 5. Para a adubação potencial foram usados 36 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrogênio e 75 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, na forma de 17-00-34, na segunda cobertura. Os tratamentos foram distribuídos em faixas de 8 plantas e aplicados em fevereiro de 2007, durante o período chuvoso. A adubação reduzida não recebeu a segunda cobertura.

Em cada faixa foram alocadas sistematicamente 3 parcelas experimentais, totalizando 120 parcelas (2 clones x 10 tratamentos x 2 condição de adubação de cobertura x 3 repetições), as quais foram constituídas de 80 plantas (8 linhas x 10 plantas), com bordaduras duplas nas laterais, sendo avaliadas somente as 40 plantas centrais (4 linhas x 10 plantas). A primeira parcela foi marcada a 60 metros da borda do talhão e as demais parcelas a 30 metros da parcela anterior.

Tabela 5 - Descrição das combinação de doses, fontes e formas de aplicação do boro

Tratamento	Dose de boro (kg.ha <sup>-1</sup> )	Dose do produto (kg.ha <sup>-1</sup> )	Produto	Forma de aplicação
1	0	-	-	-
2	2	20	Ulexita	Filete contínuo na projeção da copa
3	4	40	Ulexita	Filete contínuo na projeção da copa
4	6	60	Ulexita	Filete contínuo na projeção da copa
5	8	80	Ulexita	Filete contínuo na projeção da copa
6	10	100	Ulexita	Filete contínuo na projeção da copa
7	4	40	Ulexita	Área total a lanço
8	8	80	Ulexita	Área total a lanço
9	4	23,5	Ácido bórico	Filete contínuo na projeção da copa
10	4	40	Ulexita	Filete contínuo na projeção da copa e aplicação foliar com ácido bórico em final de junho na dose de 200 L.ha <sup>-1</sup> (10 g.L <sup>-1</sup> de ácido bórico)

### 3.2 Caracterização climática

Foram utilizados os valores médios de chuva (mm) (dados da fazenda Pontal, localizada no município de Morada Nova de Minas-MG - latitude: 18°36'14" Sul e longitude: 45° 21' 25" Oeste - [http://pt.wikipedia.org/wiki/Morada\\_Nova\\_de\\_Minas](http://pt.wikipedia.org/wiki/Morada_Nova_de_Minas) - referentes ao período de maio de 2005 a junho de 2009) e de temperatura (°C) (dados do município de Pompeu-MG - latitude: 19°13'12" Sul, longitude: 45° Oeste e altitude: 690 m - INMET - referentes ao período de 1973 a 1990) para realização do balanço hídrico climatológico utilizando o procedimento proposto por Thornthwaite e Mather (1955) (Tabela 6 e Figura 8). Assumiu-se capacidade de água disponível de 90 mm (capacidade de água disponível por unidade de profundidade efetiva do sistema radicular de 0,9 mm.cm<sup>-1</sup> e profundidade efetiva do sistema radicular de 100 cm).

Tabela 6 - Balanço hídrico climatológico segundo Thornthwaite e Mather (1955) (T: temperatura do ar, °C; ETp: evapotranspiração potencial, mm.mês<sup>-1</sup>; C: chuva, mm.mês<sup>-1</sup>; Arm: armazenamento de água no solo, mm; ETr: evapotranspiração real, mm.mês<sup>-1</sup>; DH: deficiência hídrica, mm.mês<sup>-1</sup> e EH: excedente hídrico, mm.mês<sup>-1</sup>). Fazenda Pontal, Morada Nova de Minas-MG

Mês	T	ETp	C	Arm	ETr	DH	EH
jan	23,7	114,2	261	100,0	114,2	0,0	146,8
fev	24,1	104,3	132	100,0	104,3	0,0	27,7
mar	23,9	108,6	130	100,0	108,6	0,0	21,4
abr	22,8	89,0	56	63,3	89,0	0,0	0,0
mai	20,6	68,4	7	6,7	57,9	10,5	0,0
jun	18,8	51,4	10	2,4	13,9	37,4	0,0
jul	18,6	52,1	2	1,3	3,0	49,1	0,0
ago	20,8	71,6	4	0,9	4,4	67,2	0,0
set	22,2	85,3	38	0,8	38,1	47,2	0,0
out	23,5	106,5	33	0,7	33,1	73,5	0,0
nov	23,4	105,9	196	100,0	105,9	0,0	0,7
dez	23,2	109,1	311	100,0	109,1	0,0	201,9
Ano	22,1	1066,4	1180,0	-	781,5	284,9	398,5

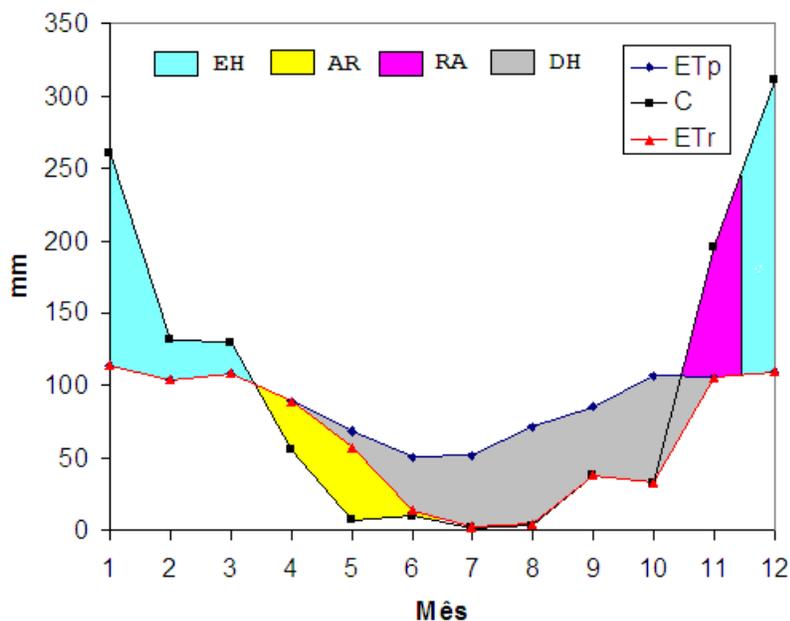


Figura 8 - Balanço hídrico climatológico segundo Thornthwaite e Mather (1955) (ETp: evapotranspiração potencial, C: chuva, ETr: evapotranspiração real, EH: excedente hídrico, AR: água retirada, RA: reposição de água e DH: deficiência hídrica). Fazenda Pontal, Morada Nova de Minas-MG

### 3.3 Materiais genéticos

Foram usados dois clones híbridos de *Eucalyptus urophylla* selecionados na região do Vale do Jequitinhonha, microrregião de Capelinha, próximo ao município de Itamarandiba. A região está a 1097 metros de altitude e é caracterizada por clima seco, com deficiência hídrica acumulada de 175 mm nos meses de abril a outubro (Figuras 9 e 10). A precipitação anual é de 1083 mm, com temperaturas médias de 20°C.

A seleção genética dos clones foi direcionada principalmente para materiais com elevado rendimento de carvão e resistência à deficiência hídrica. Devido a essas características, esses clones mostram boa adaptação nas áreas do cerrado de Minas Gerais e são amplamente utilizados nos plantios destinados à produção de carvão para siderurgia.

As regiões de seleção dos clones e implantação do experimento apresentam características edafoclimáticas semelhantes, conforme apresentado nas Figuras 11, 12 e 13.

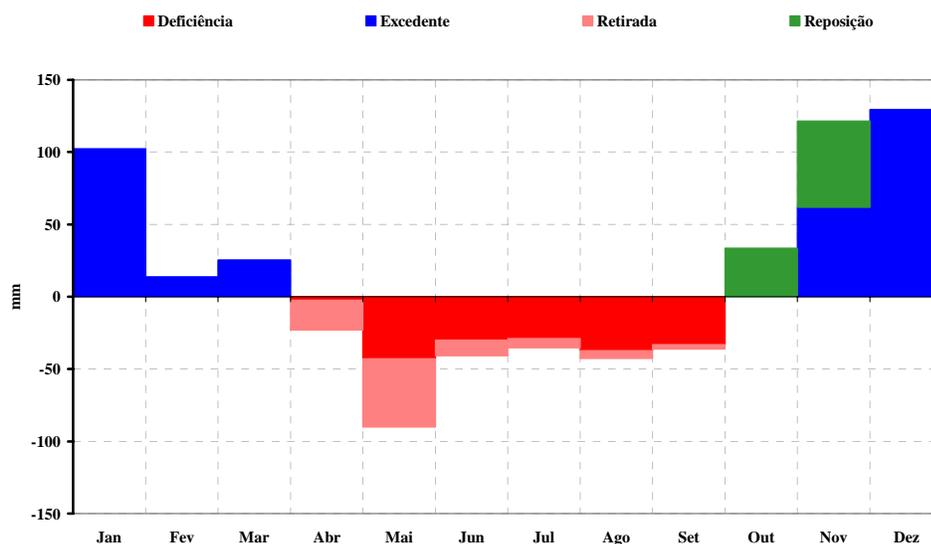


Figura 9 - Zoneamento climático do estado de Minas Gerais (GEOMINAS, 1996). Balanço hídrico do município de Itamarandiba-MG

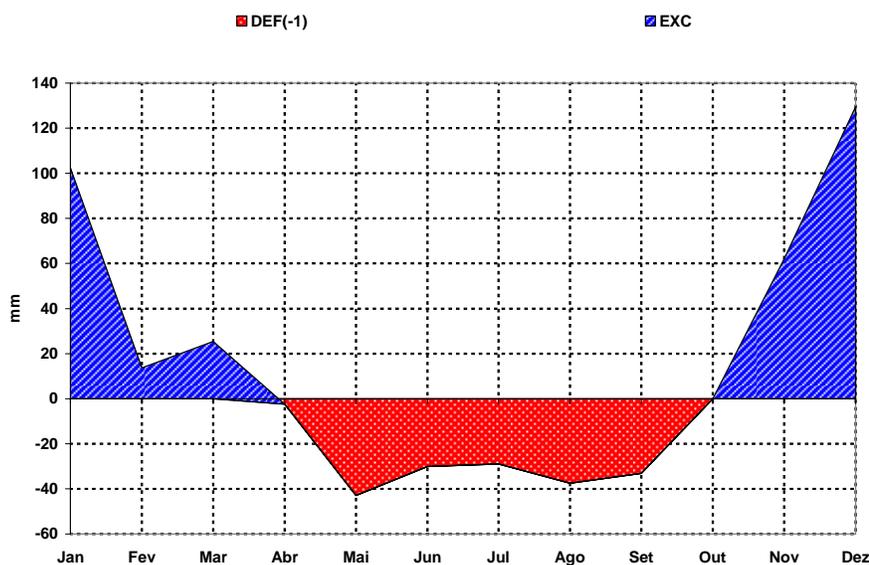


Figura 10 - Deficiência e excedente hídrico para o município de Itamarandiba-MG (GEOMINAS, 1996)

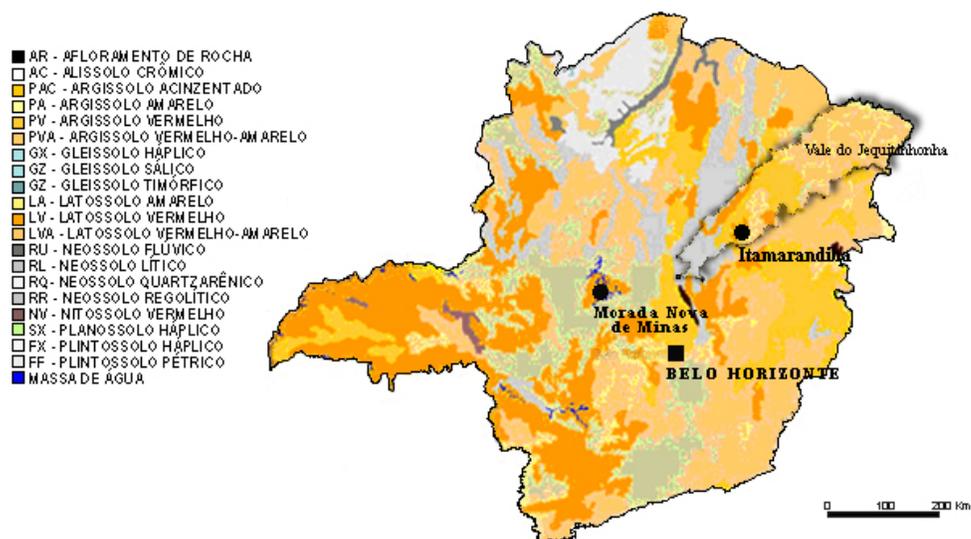


Figura 11 - Mapa de solos da região do Vale do Jequitinhonha e do município de Morada Nova-MG (IBGE, 2006)

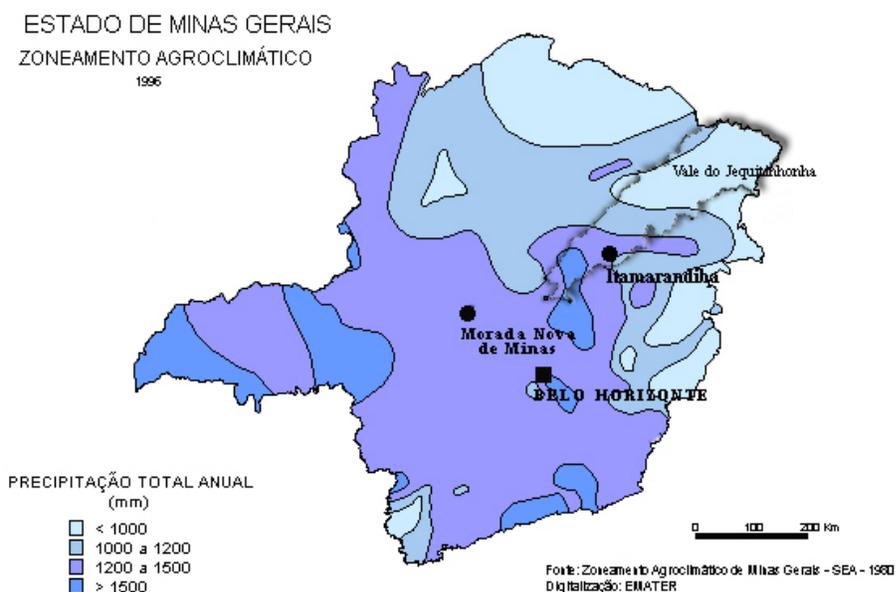


Figura 12 - Precipitação total anual no estado de Minas Gerais. Zoneamento agroclimático do estado de Minas Gerais destacando a região do Vale do Jequitinhonha e o município de Morada Nova-MG (GEOMINAS, 1996)

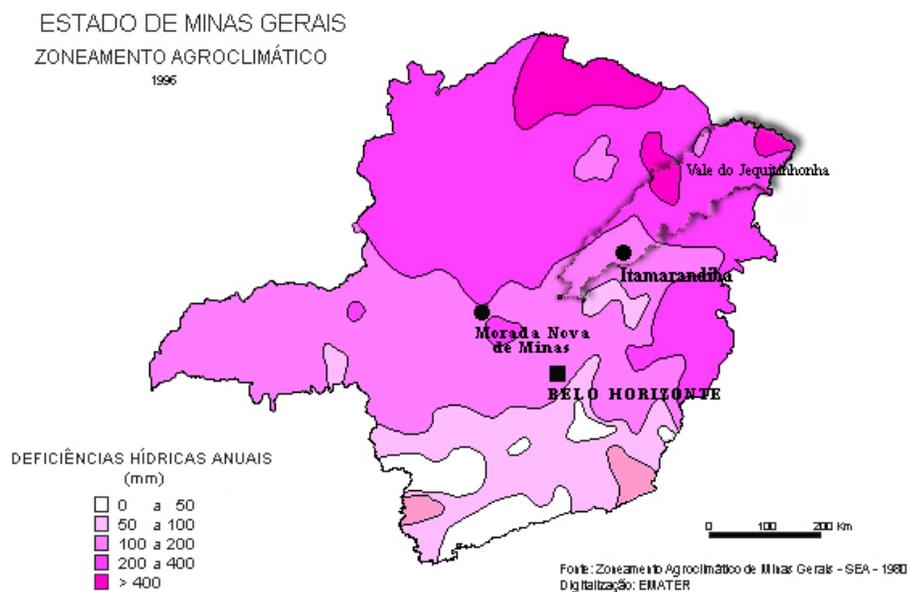


Figura 13 - Zoneamento climático da região do Vale do Jequitinhonha e do município de Morada Nova - deficiências hídricas (GEOMINAS, 1996)

### 3.4 Avaliações

As plantas foram inventariadas, sendo mensurado a altura e o diâmetro a altura do peito (DAP) na instalação do experimento e após 12 meses. Os dados do inventário foram processados para estimar o volume de madeira produzido ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ) de cada tratamento.

A severidade dos sintomas de seca de ponteiro foi avaliada por intermédio da atribuição de notas aos 10 meses após a instalação do experimento, ao final do período seco. As notas variaram de 0 a 4, utilizando os seguintes critérios: sem sintomas - nota 0; 0 a 10 cm de seca - nota 1; 10 a 30 cm de seca - nota 2; 30 a 50 cm de seca - nota 3; mais de 50 cm de seca - nota 4.

### 3.5 Análise dos resultados

Foram feitas análises de variância e teste de comparação de médias (utilizando o teste de Tukey a 5% de probabilidade) para: (a) doses de boro x incremento em DAP, altura, volume e severidade da seca de ponteiro; (b) fontes de boro x incremento em DAP, altura, volume e severidade da seca de ponteiro; e (c) formas de aplicação do boro x incremento em DAP, altura, volume e severidade da seca de ponteiro.

Foram realizadas análises de correlação e regressão entre doses de boro e o incremento em volume.

#### 3.5.1 Efeito das doses

O efeito das doses de boro foi verificado nos tratamentos 1, 2, 3, 4, 5 e 6, com a aplicação de doses crescentes de boro na forma de ulexita em filete contínuo (Tabela 7).

O resumo da análise de variância está apresentado na Tabela 8.

Tabela 7 - Descrição das combinações de doses, fontes e formas de aplicação do boro

Tratamentos	Dose de boro ( $kg \cdot ha^{-1}$ )	Dose do produto ( $kg \cdot ha^{-1}$ )	Produto	Forma de aplicação
1	0	-	-	-
2	2	20	Ulexita	Filete contínuo na projeção da copa
3	4	40	Ulexita	Filete contínuo na projeção da copa
4	6	60	Ulexita	Filete contínuo na projeção da copa
5	8	80	Ulexita	Filete contínuo na projeção da copa
6	10	100	Ulexita	Filete contínuo na projeção da copa

Tabela 8 - Esquema da análise de variância

Causas de variação	Graus de liberdade
Clones	1
Níveis de adubação	1
Doses de boro	5
Clone x Níveis de adubação	1
Doses de boro x Clones	5
Doses de boro x Níveis de adubação	5
Doses de boro x Níveis de adubação x Clones	5
Resíduo	2

### 3.5.2 Efeito das fontes

O efeito das fontes de boro foi verificado nos tratamentos 3 e 9, com a aplicação de 4 kg.ha<sup>-1</sup> de ácido bórico e ulexita, em filete contínuo (Tabela 9).

O resumo da análise de variância está apresentado na Tabela 10.

Tabela 9 - Descrição das combinações de doses, fontes e formas de aplicação do boro

Tratamento	Dose de boro (kg.ha <sup>-1</sup> )	Dose do produto (kg.ha <sup>-1</sup> )	Produto	Forma de aplicação
3	4	40,0	Ulexita	Filete contínuo na projeção da copa
9	4	23,5	Ácido bórico	Filete contínuo na projeção da copa

Tabela 10 - Esquema da análise de variância

Causa de variação	Graus de liberdade
Clones	1
Níveis de adubação	1
Forma de aplicação	1
Clone x Níveis de adubação	1
Forma de aplicação x Clones	1
Forma de aplicação x Níveis de adubação	1
Forma de aplicação x Níveis de adubação x Clones	1
Resíduo	2

### 3.5.3 Efeito das formas de aplicação

O efeito das formas de aplicação de boro foi verificado nos tratamentos 3, 7 e 10, com a aplicação de 4 kg.ha<sup>-1</sup> de boro na forma de ulexita, em filete contínuo, área total e pulverização foliar complementar (Tabela 11).

O resumo da análise de variância está apresentado na Tabela 12.

Tabela 11 - Descrição das combinações de doses, fontes e formas de aplicação do boro

Tratamento	Dose de boro (kg.ha <sup>-1</sup> )	Dose do produto (kg.ha <sup>-1</sup> )	Produto	Forma de aplicação
3	4	40	Ulexita	Filete contínuo na projeção da copa
7	4	40	Ulexita	Área total a lanço
10	4	40	Ulexita	Filete contínuo na projeção da copa e aplicação foliar com ácido bórico em final de junho na dose de 200 L.ha <sup>-1</sup> (10 g.L <sup>-1</sup> de ácido bórico)

Tabela 12 - Esquema da análise de variância

Causas de variação	Graus de liberdade
Clones	1
Níveis de adubação	1
Fontes de boro	1
Clone x Fontes de boro	1
Fontes de boro x Clones	1
Fontes de boro x Níveis de adubação	1
Fontes de boro x Níveis de adubação x Clones	1
Resíduo	2

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados médios gerais da floresta nas avaliações realizadas aos 0,8 e 1,8 anos de idade estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Dados médios de idade, altura, DAP, volume e IMA da floresta

Idade (anos)	Altura (m)	DAP (cm)	Volume (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	IMA (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )
0,8	3,2	2,6	0,8	1,1
1,8	9,5	7,6	54,6	19,2

##### 4.1 Efeito das doses de boro

O resumo da análise de variância é apresentado na Tabela 14. Houve efeito da interação entre as doses de boro, clones e níveis de adubação sobre a intensidade dos sintomas de seca de ponteiro e sobre o incremento das árvores em volume. Para o DAP, verificou-se efeito das interações doses de boro x clones e clones x níveis de adubação e para a altura verificou-se efeito da interação doses de boro x clones.

Tabela 14 - Resumo da análise de variância

Causa de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio <sup>(significância)</sup>			
		Sintomas	Incremento em		
			DAP	Altura	Volume
Doses de boro	5	3,774 <sup>(**)</sup>	0,059 <sup>(**)</sup>	0,174 <sup>(**)</sup>	53,780 <sup>(**)</sup>
Clone	1	4,450 <sup>(**)</sup>	0,294 <sup>(**)</sup>	1,590 <sup>(**)</sup>	1657,920 <sup>(**)</sup>
Adubação	1	0,211 <sup>(**)</sup>	0,067 <sup>(*)</sup>	0,007 <sup>(n.s.)</sup>	4,450 <sup>(n.s.)</sup>
Clone x Adubação	1	10,967 <sup>(**)</sup>	0,056 <sup>(*)</sup>	0,003 <sup>(n.s.)</sup>	4,651 <sup>(n.s.)</sup>
Doses de boro x Adubação	5	0,022 <sup>(n.s.)</sup>	0,011 <sup>(n.s.)</sup>	0,067 <sup>(n.s.)</sup>	3,064 <sup>(n.s.)</sup>
Doses de boro x Clone	5	0,758 <sup>(**)</sup>	0,054 <sup>(**)</sup>	0,143 <sup>(**)</sup>	18,622 <sup>(**)</sup>
Doses de boro x Clone x Adubação	5	0,283 <sup>(**)</sup>	0,001 <sup>(n.s.)</sup>	0,024 <sup>(n.s.)</sup>	9,901 <sup>(*)</sup>
Resíduo	2	0,010 <sup>(n.s.)</sup>	0,033 <sup>(n.s.)</sup>	0,003 <sup>(n.s.)</sup>	5,723 <sup>(n.s.)</sup>

<sup>(\*\*)</sup> Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey, <sup>(\*)</sup> Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, <sup>(n.s.)</sup> Não Significativo pelo teste de Tukey

As avaliações de severidade de seca de ponteiro e de incremento em DAP, altura e volume estão apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15 - Intensidade média de sintoma de deficiência de boro e incrementos em DAP, altura e volume em função das doses de boro e do nível de adubação, para os clones A e B

Clone	Nível de adubação	Doses de boro (kg.ha <sup>-1</sup> )	Severidade da seca de ponteiro	Incremento em		
				DAP (cm)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )
A	Potencial	0	2,1	4,6	5,6	35,0
A	Potencial	2	1,3	4,7	5,7	36,8
A	Potencial	4	1,1	4,7	5,6	37,0
A	Potencial	6	0,7	4,7	5,5	37,0
A	Potencial	8	0,3	4,5	5,4	36,6
A	Potencial	10	0,2	4,5	5,4	36,1
A	Reduzida	0	2,8	4,5	5,4	32,7
A	Reduzida	2	2,5	4,6	5,7	39,4
A	Reduzida	4	1,8	4,6	5,6	37,8
A	Reduzida	6	1,3	4,5	5,6	36,3
A	Reduzida	8	0,6	4,4	5,4	35,3
A	Reduzida	10	0,7	4,3	5,7	36,8
B	Potencial	0	1,9	4,5	5,4	39,5
B	Potencial	2	1,5	4,7	5,8	47,2
B	Potencial	4	1,3	4,8	6,0	49,2
B	Potencial	6	1,4	4,6	5,9	45,9
B	Potencial	8	0,6	4,7	6,0	48,7
B	Potencial	10	0,8	4,8	5,8	48,7
B	Reduzida	0	0,8	4,6	5,5	41,6
B	Reduzida	2	0,2	4,7	5,8	43,2
B	Reduzida	4	0,3	4,8	6,0	47,8
B	Reduzida	6	0,3	4,6	5,8	44,9
B	Reduzida	8	0,2	4,6	5,9	45,7
B	Reduzida	10	0,2	4,7	6,2	49,9

Houve diferença entre as doses de boro para o incremento em DAP. No clone A, as doses de 2 e 4 kg.ha<sup>-1</sup> de boro proporcionaram os maiores ganhos, diferindo das doses de 8 e 10 kg.ha<sup>-1</sup>.

No clone B, o maior ganho foi obtido com 4 kg.ha<sup>-1</sup> de boro, diferindo significativamente da testemunha. Entre os clones houve diferença nas doses de 4, 8 e 10 kg.ha<sup>-1</sup> de boro, sendo o clone B o mais responsivo às aplicações (Figura 14).

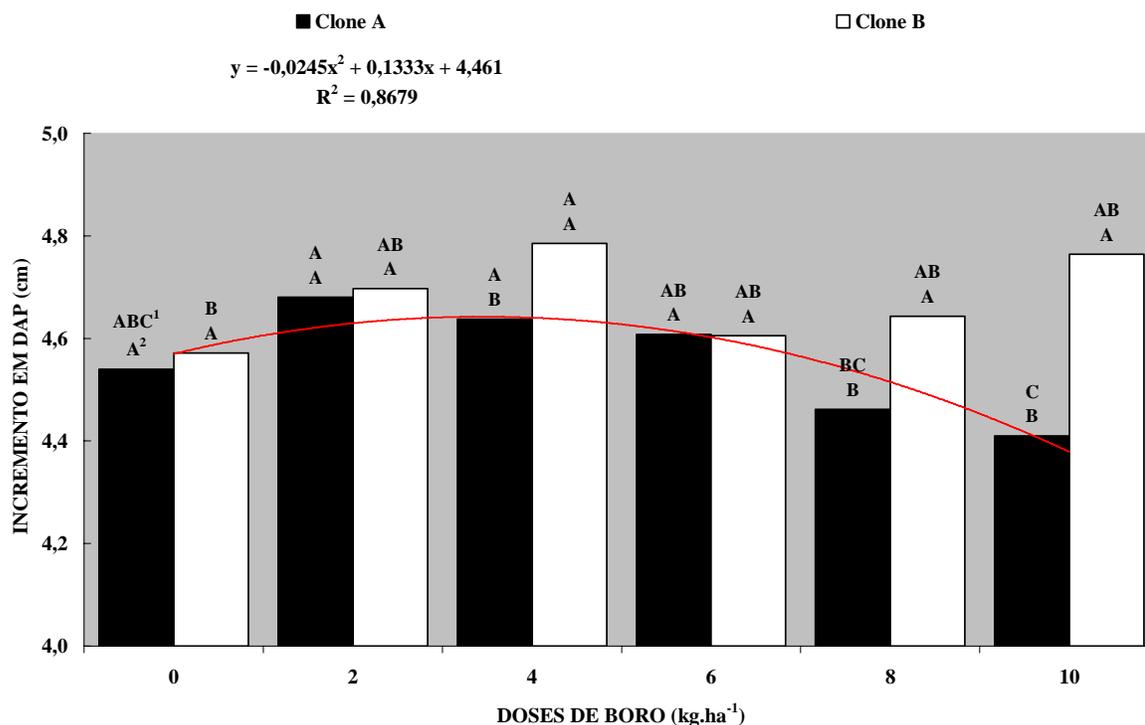


Figura 14 - Efeito das doses de boro sobre o incremento em DAP, em função dos clones (<sup>1</sup> Diferença entre doses de boro, para o mesmo clone, <sup>2</sup> Diferença entre clones, para a mesma dose de boro. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade)

Em relação ao efeito do nível de adubação sobre o incremento em DAP, o clone A mostrou-se mais responsivo, havendo diferença entre a adubação potencial e a reduzida. Para os clones, houve diferença somente na adubação reduzida, sendo o clone B o que apresentou o maior incremento em DAP (Figura 15).

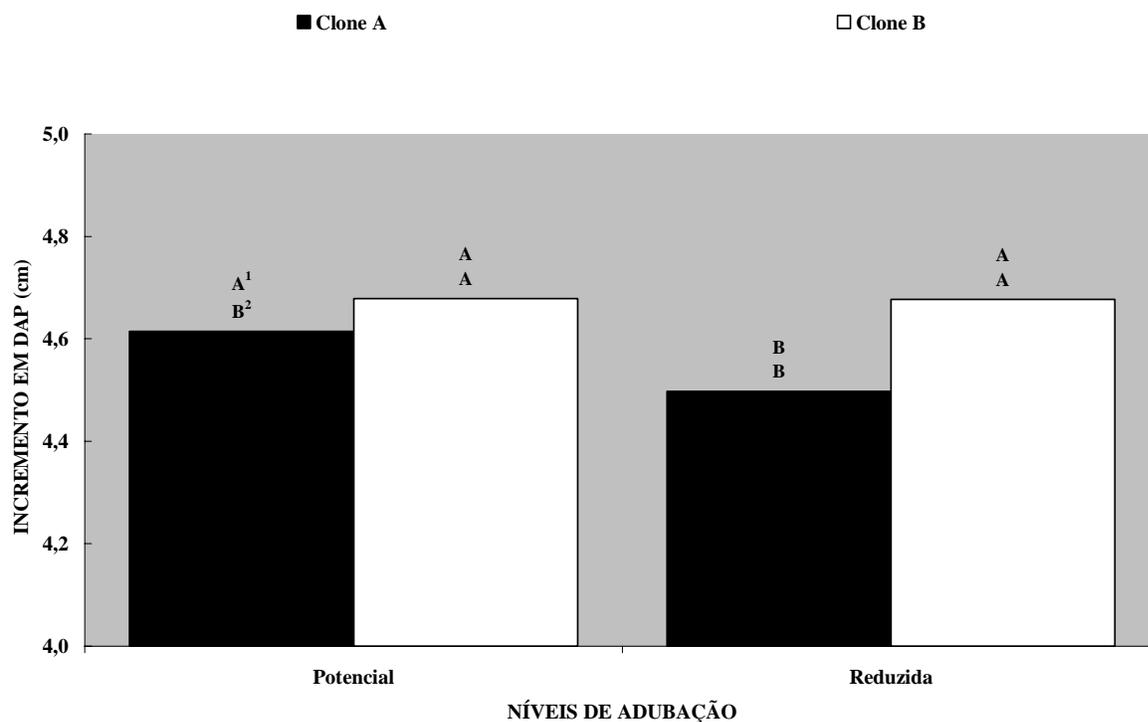


Figura 15 - Efeito dos níveis de adubação sobre o incremento em DAP, em função dos clones (<sup>1</sup> Diferença entre os níveis de adubação, para o mesmo clone, <sup>2</sup> Diferença entre clones, para o mesmo nível de adubação. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade)

Não houve diferença no incremento em altura do clone A, independentemente das doses de boro. Para o clone B, os maiores incrementos ocorreram nas doses de 4, 8 e 10 kg.ha<sup>-1</sup> de boro, diferindo das doses de 0 e 2 kg.ha<sup>-1</sup>. Houve diferença entre os clones nas doses 4, 8 e 10 kg.ha<sup>-1</sup> de boro, sendo o clone B o que apresentou maiores ganhos (Figura 16).

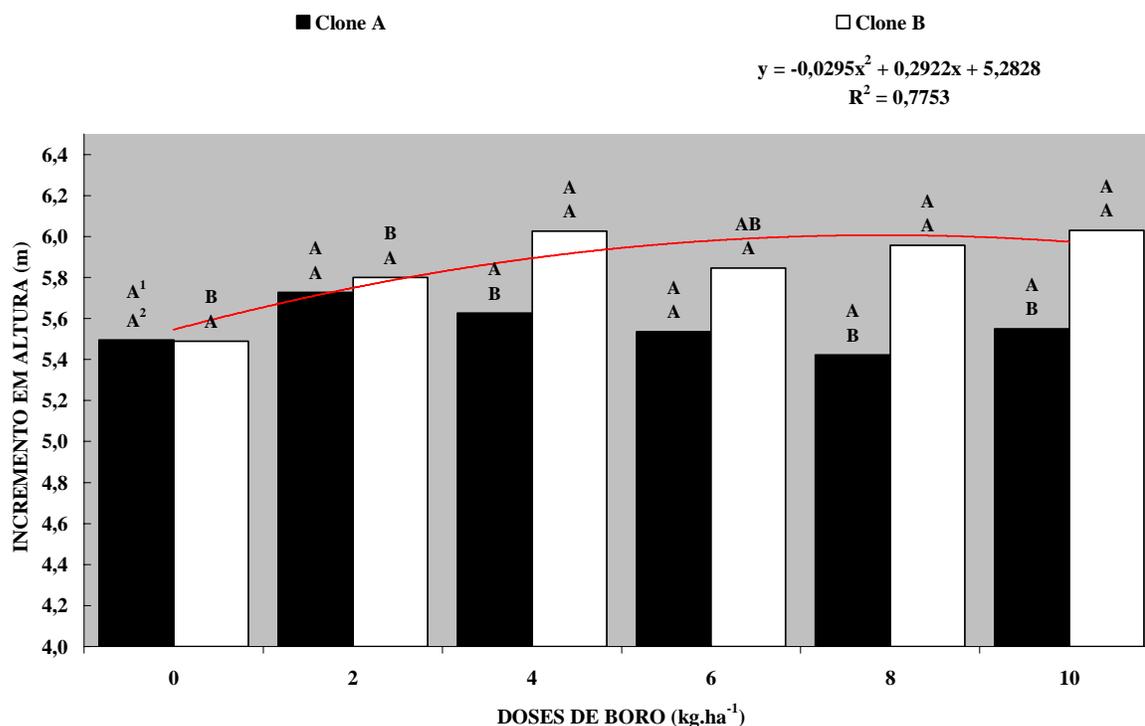


Figura 16 - Efeito das doses de boro sobre o incremento em altura, em função dos clones (<sup>1</sup> Diferença entre doses de boro, para o mesmo clone, <sup>2</sup> Diferença entre clones, para a mesma dose de boro. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade)

Para o incremento em volume, houve diferença entre as doses de boro no clone B, mostrando ganhos conforme o aumento das doses. Na adubação reduzida, o maior incremento foi obtido com 10 kg.ha<sup>-1</sup> de boro, diferindo estatisticamente das doses 0 e 2 kg.ha<sup>-1</sup>. Na adubação potencial as doses de 2 a 10 kg.ha<sup>-1</sup> de boro diferiram da dose 0 kg.ha<sup>-1</sup>. Não houve diferença entre os níveis de adubação, exceto para o clone B na dose de 2 kg.ha<sup>-1</sup>, que apresentou incremento em volume menor com adubação reduzida. Na adubação potencial houve diferença entre os clones, independente da dose de boro. Na adubação reduzida a diferença ocorre a partir da dose de 6 kg.ha<sup>-1</sup> de boro. O clone A apresenta incrementos inferiores ao clone B (Figura 17).

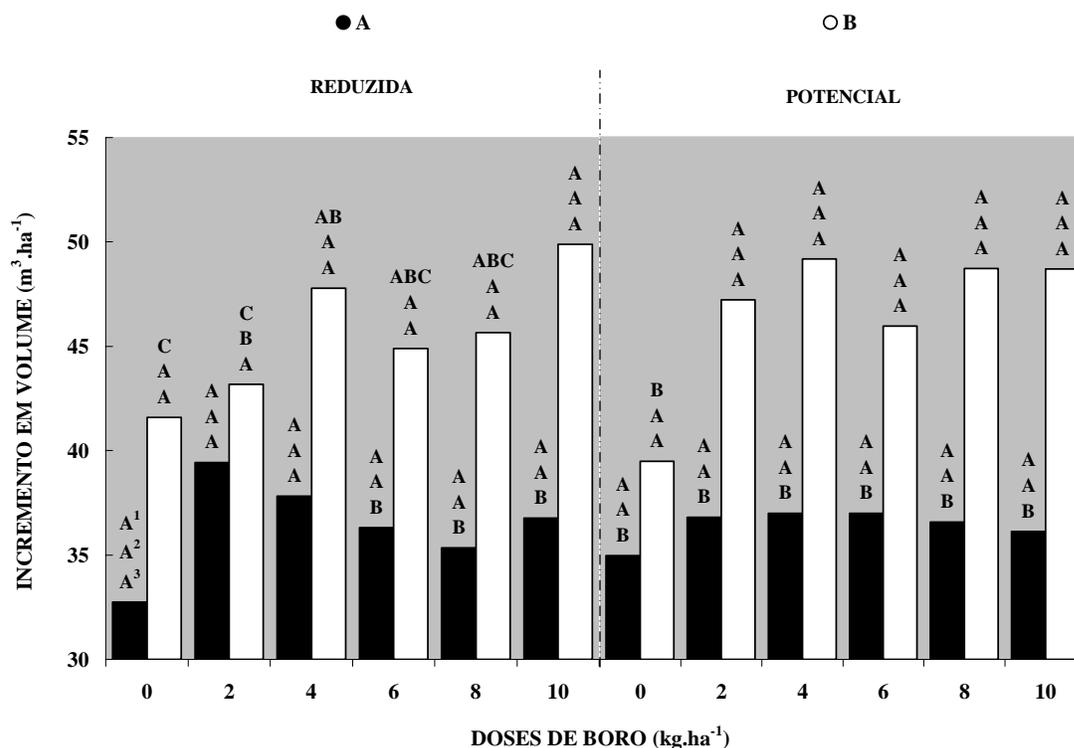


Figura 17 - Efeito da interação entre as doses de boro, os clones e os níveis de adubação sobre incremento em volume (<sup>1</sup> Diferença entre doses de boro, para o mesmo clone e nível de adubação, <sup>2</sup> Diferença entre níveis de adubação, para a mesma dose de boro e clone, <sup>3</sup> Diferença entre clones, para a mesma dose de boro e nível de adubação. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade)

A correlação entre as doses de boro e o incremento em volume foi significativa para o clone B, em ambos os níveis de adubação e para o clone A na adubação potencial. Para o clone B com adubação reduzida a resposta foi linear, com ganhos em volume conforme aumento das doses de boro. Na adubação potencial foram verificados ganhos em volume até a dose de 7 kg.ha<sup>-1</sup> de boro no clone B e 5,5 kg.ha<sup>-1</sup> no clone A. Em ambos os níveis de adubação o clone B apresentou incrementos em volume superiores ao clone A (Figura 18).

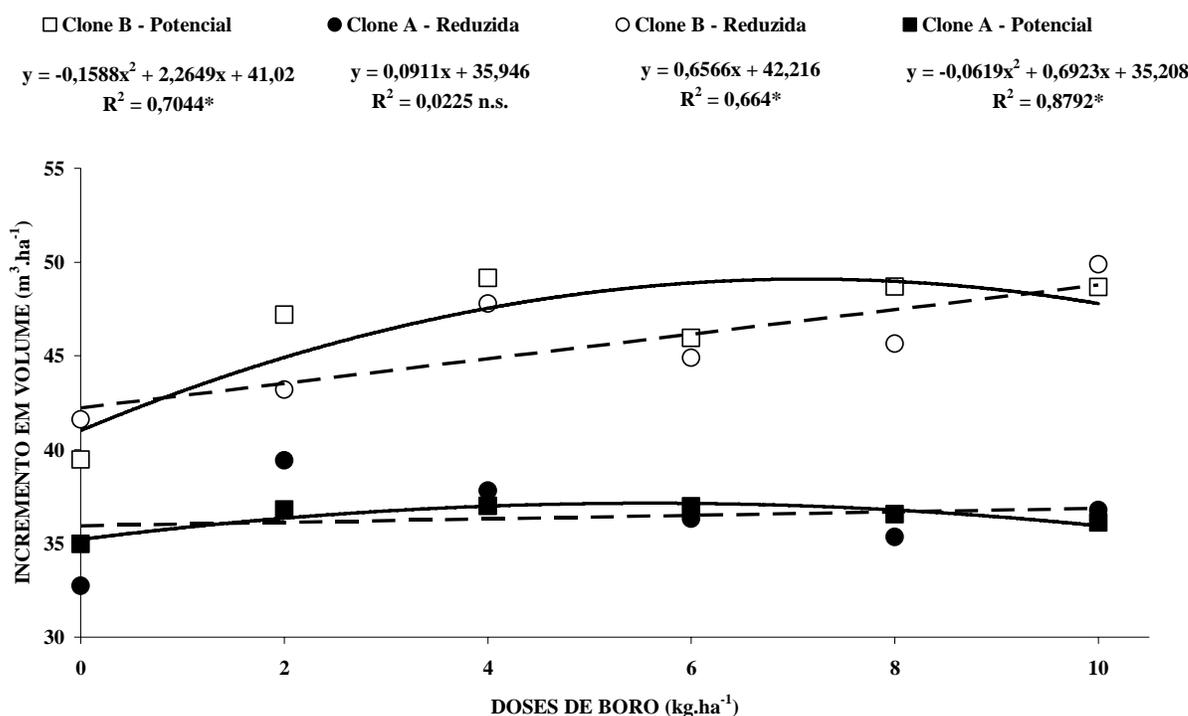


Figura 18 - Correlação entre as doses de boro e o incremento em volume, em função dos clones e os níveis de adubação (\* Correlação significativa a 5% de probabilidade, n.s. Correlação não significativa)

Em todos os clones nota-se redução da intensidade dos sintomas de seca de ponteiro com o aumento das doses de boro. Houve menor seca de ponteiro nas doses de 8 e 10 kg.ha<sup>-1</sup> de boro para o clone A, independente do nível de adubação e para o clone B com adubação potencial, diferindo estatisticamente das demais doses. Para o clone B na adubação reduzida, 2 kg.ha<sup>-1</sup> de boro foram suficientes para reduzir significativamente os sintomas de seca, não havendo diferença estatística entre as doses 2, 4, 6, 8 e 10 kg.ha<sup>-1</sup> de boro (Figura 19). Estes resultados mostram que o clone B é menos exigente em boro quando submetido a um ritmo de crescimento lento, entretanto em plantios de rápido crescimento a demanda de boro aumenta. Considerando-se as situações de exigência e responsividade à adubação, o clone A se enquadra como um material pouco exigente e pouco responsivo em condições de baixo nível de fertilização, sendo possível o seu desenvolvimento em plantios pouco tecnificados. Já o B é exigente e responsivo sendo necessária a intervenção com boro, independente do nível tecnológico da floresta (Figura 19).

Acredita-se que posteriormente os efeitos positivos das doses de boro sobre o incremento em volume e sobre a redução da seca de ponteiro possam se tornar significativos para doses acima

de 7 kg.ha<sup>-1</sup> na adubação potencial, mesmo em áreas onde os sintomas foram temporários e não é mais possível identificar seca, pois em florestas com idade mais avançada a deficiência de boro acarreta danos a estrutura da árvore que levam a quebra do ponteiro e conseqüentemente à uma perda considerável na produtividade.

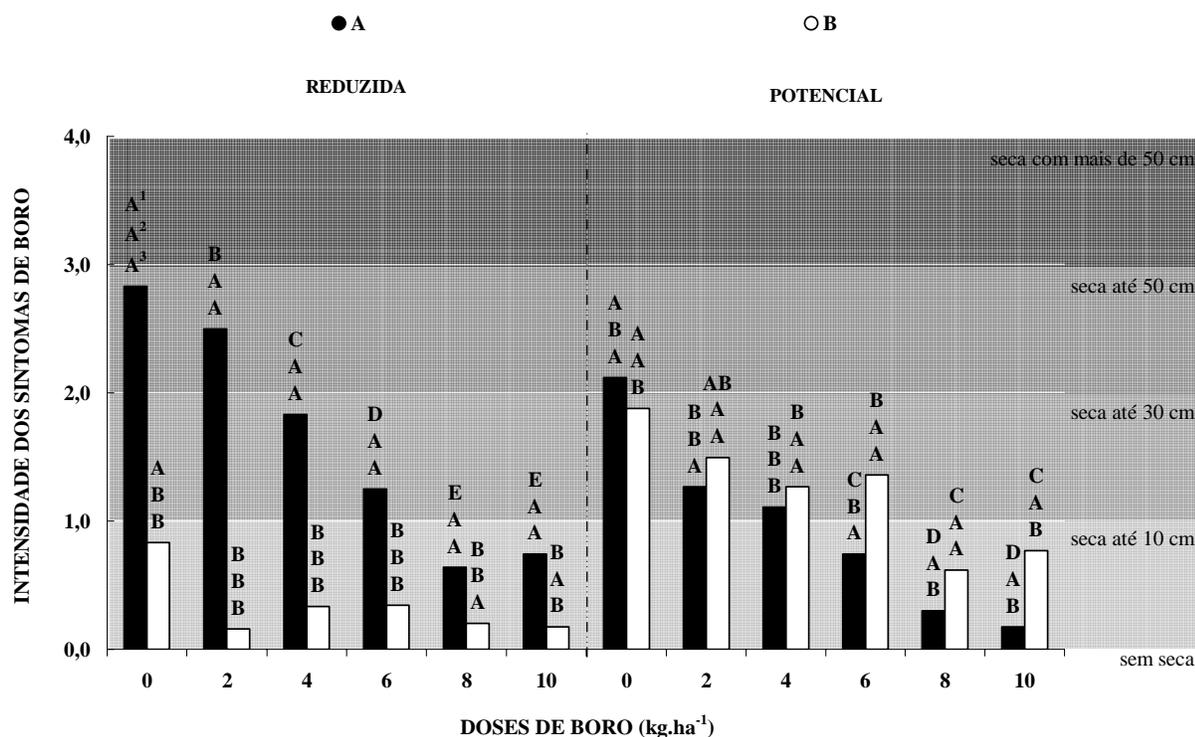


Figura 19 - Efeito da interação entre as doses de boro, os clones e os níveis de adubação sobre a intensidade de seca de ponteiro (<sup>1</sup> Diferença entre doses de boro, para o mesmo clone e nível de adubação, <sup>2</sup> Diferença entre níveis de adubação, para a mesma dose de boro e clone, <sup>3</sup> Diferença entre clones, para a mesma dose de boro e nível de adubação. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade)

#### 4.2 Efeito das fontes de boro

O resumo da análise de variância é apresentado na Tabela 16. Houve efeito da interação entre as fontes de boro, clones e níveis de adubação sobre a intensidade dos sintomas de seca de ponteiro e sobre o incremento das árvores em altura. Para o DAP, não se verificou efeito das fontes de boro, clones ou níveis de adubação e nem de suas interações. Para o incremento em volume, verificou-se efeito da interação das fontes de boro x clones.

As avaliações de severidade de seca de ponteiro e de incremento em DAP, altura e volume estão apresentadas na Tabela 17.

Houve diferença entre as fontes de boro para o incremento em altura. No clone A, as doses de 2 e 4 kg.ha<sup>-1</sup> de boro proporcionaram os maiores ganhos, diferindo das doses de 8 e 10 kg.ha<sup>-1</sup>. No clone B o maior ganho foi obtido com 4 kg.ha<sup>-1</sup> de boro, diferindo significativamente da testemunha. Entre os clones, houve diferença nas doses de 4, 8 e 10 kg.ha<sup>-1</sup> de boro, sendo o clone B o mais responsivo às aplicações (Figura 20).

Tabela 16 - Resumo da análise de variância

Causa de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio <sup>(significância)</sup>			
		Sintomas	Incremento em:		
			DAP	Altura	Volume
Fontes de boro	1	2,940 <sup>**</sup>	0,042 <sup>n.s.</sup>	0,050 <sup>n.s.</sup>	5,415 <sup>n.s.</sup>
Clone	1	0,807 <sup>**</sup>	0,027 <sup>n.s.</sup>	0,454 <sup>**</sup>	428,415 <sup>**</sup>
Adubação	1	0,135 <sup>**</sup>	0,042 <sup>n.s.</sup>	0,120 <sup>n.s.</sup>	3,375 <sup>n.s.</sup>
Clone x Adubação	1	0,735 <sup>**</sup>	0,015 <sup>n.s.</sup>	0,304 <sup>n.s.</sup>	12,615 <sup>n.s.</sup>
Fontes de boro x Adubação	1	0,375 <sup>**</sup>	0,007 <sup>n.s.</sup>	0,094 <sup>n.s.</sup>	6,202 <sup>n.s.</sup>
Fontes de boro x Clone	1	0,540 <sup>**</sup>	0,042 <sup>n.s.</sup>	0,070 <sup>n.s.</sup>	41,082 <sup>*</sup>
Fontes de boro x Clone x Adubação	1	1,402 <sup>**</sup>	0,000 <sup>n.s.</sup>	0,350 <sup>**</sup>	0,735 <sup>n.s.</sup>
Resíduo	2	0,003 <sup>n.s.</sup>	0,003 <sup>n.s.</sup>	0,025 <sup>n.s.</sup>	0,391 <sup>n.s.</sup>

<sup>(\*\*)</sup> Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey, <sup>(\*)</sup> Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, <sup>(n.s.)</sup> Não Significativo pelo teste de Tukey

Tabela 17 - Intensidade média de sintoma de deficiência de boro e incrementos em DAP, altura e volume em função das fontes de boro e dos níveis de adubação, para os clones A e B

Clone	Níveis de adubação	Fontes de boro	Severidade da seca de ponteiro	Incremento em:		
				Altura (m)	DAP (cm)	Volume (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )
A	Potencial	Ácido bórico	0,4	5,5	4,7	37,3
A	Potencial	Ulexita	1,1	5,6	4,7	37,0
A	Reduzida	Ácido bórico	0,6	6,2	4,6	40,9
A	Reduzida	Ulexita	1,8	5,6	4,6	37,8
B	Potencial	Ácido bórico	0,1	6,1	4,7	44,9
B	Potencial	Ulexita	1,3	6,0	4,8	49,2
B	Reduzida	Ácido bórico	0,7	5,9	4,6	44,9
B	Reduzida	Ulexita	0,3	6,0	4,8	47,8

Não houve diferença entre os clones ou entre as fontes para o incremento em altura. Para o clone A que recebeu ácido bórico, os ganhos foram maiores na adubação reduzida, diferindo estatisticamente da adubação potencial (Figura 20).

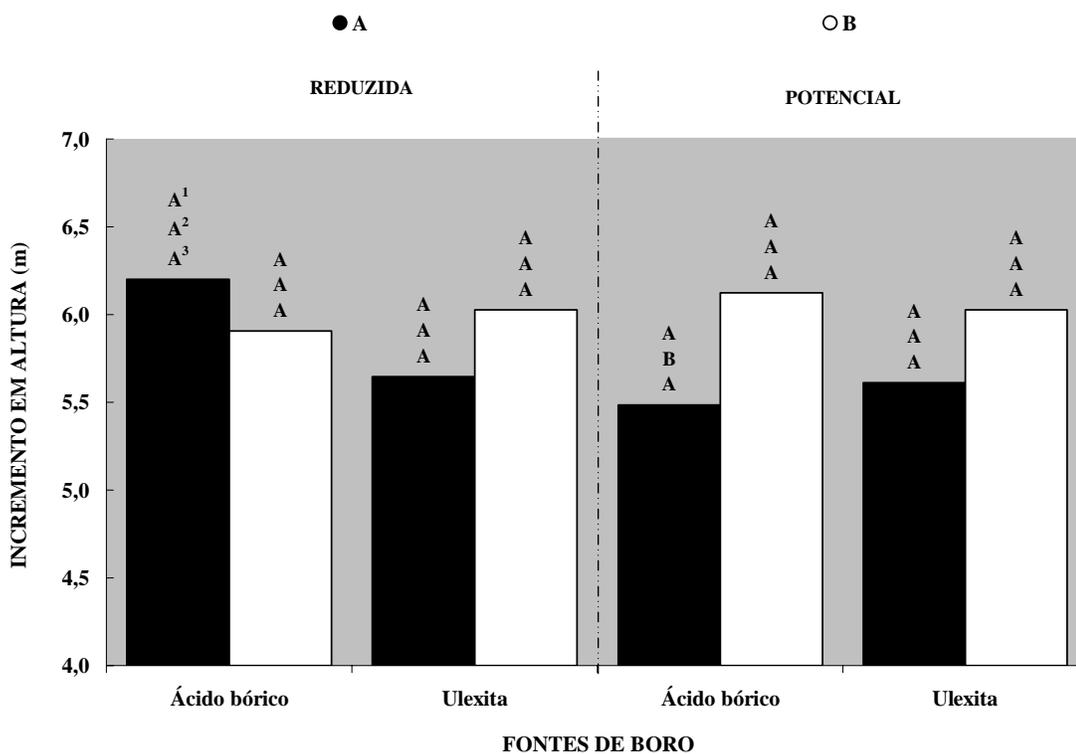


Figura 20 - Efeito da interação entre as fontes de boro, os clones e os níveis de adubação sobre o incremento em altura (<sup>1</sup> Diferença entre fontes de boro, para o mesmo clone e nível de adubação, <sup>2</sup> Diferença entre níveis de adubação, para a mesma fonte de boro e clone, <sup>3</sup> Diferença entre clones, para a mesma fonte de boro e nível de adubação. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade)

Para o clone A não houve diferença entre as fontes de boro, enquanto que no clone B o melhor desempenho ocorreu com a aplicação de ulexita. Independente das fontes de boro usadas, o clone B apresentou ganhos superiores ao clone A (Figura 21).

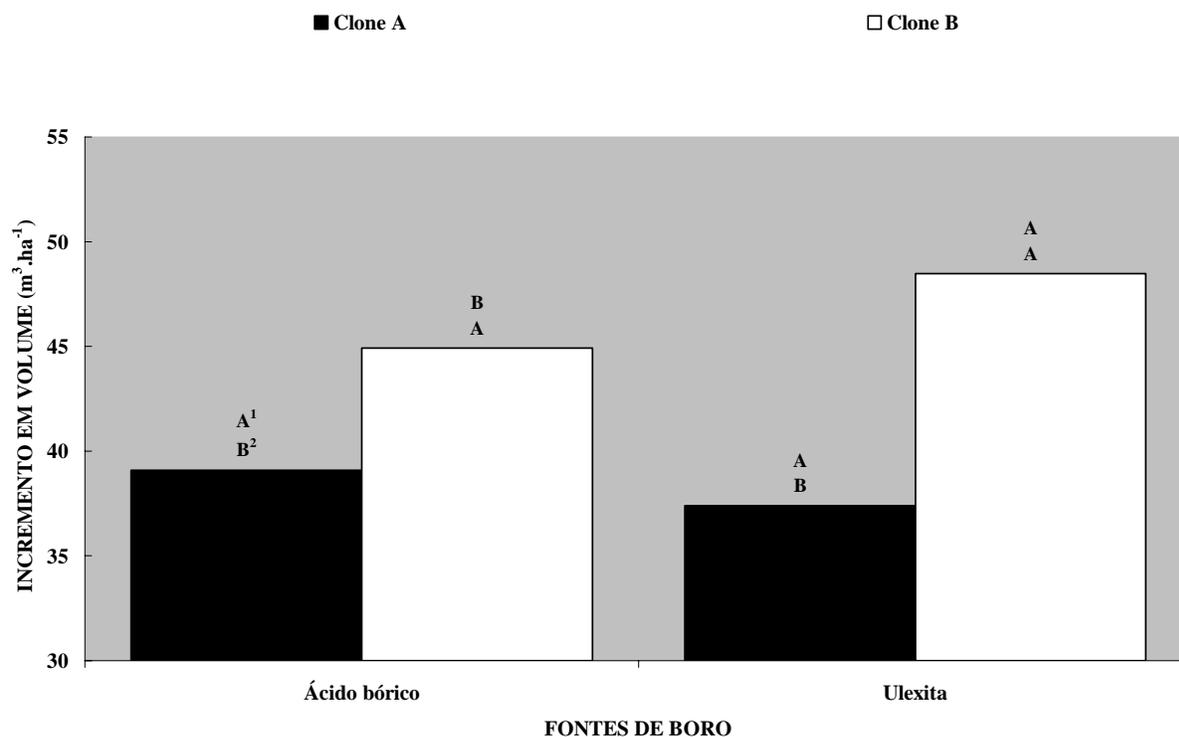


Figura 21 - Efeito da interação entre as fontes de boro e os clones sobre o incremento em volume (<sup>1</sup> Diferença entre fontes de boro para o mesmo clone, <sup>2</sup> Diferença entre clones para a mesma fonte de boro. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade)

Na adubação reduzida, a maior intensidade de sintomas ocorreu com o uso da ulexita no clone A, diferindo estatisticamente do clone B adubado com ulexita, do clone A adubado com ácido bórico e do clone A adubado com ulexita sob adubação potencial. Não houve diferença entre os clones adubados com ácido bórico, independente do nível de adubação; entretanto, quando receberam adubação com ulexita, observa-se inversão de resultados, sendo a ulexita mais eficiente na prevenção dos sintomas do clone B com adubação reduzida e menos eficiente para o clone B com adubação potencial. Exceto para o clone B com a adubação reduzida, o ácido bórico foi mais eficiente na prevenção do aparecimento dos sintomas de seca de ponteiro, provavelmente devido a maior solubilidade desta fonte, conforme verificado por Abreu (2004) (Figura 22). Com o uso de uma fonte mais solúvel, as exigências de boro no período chuvoso e de intenso crescimento vegetativo, são prontamente satisfeitas.

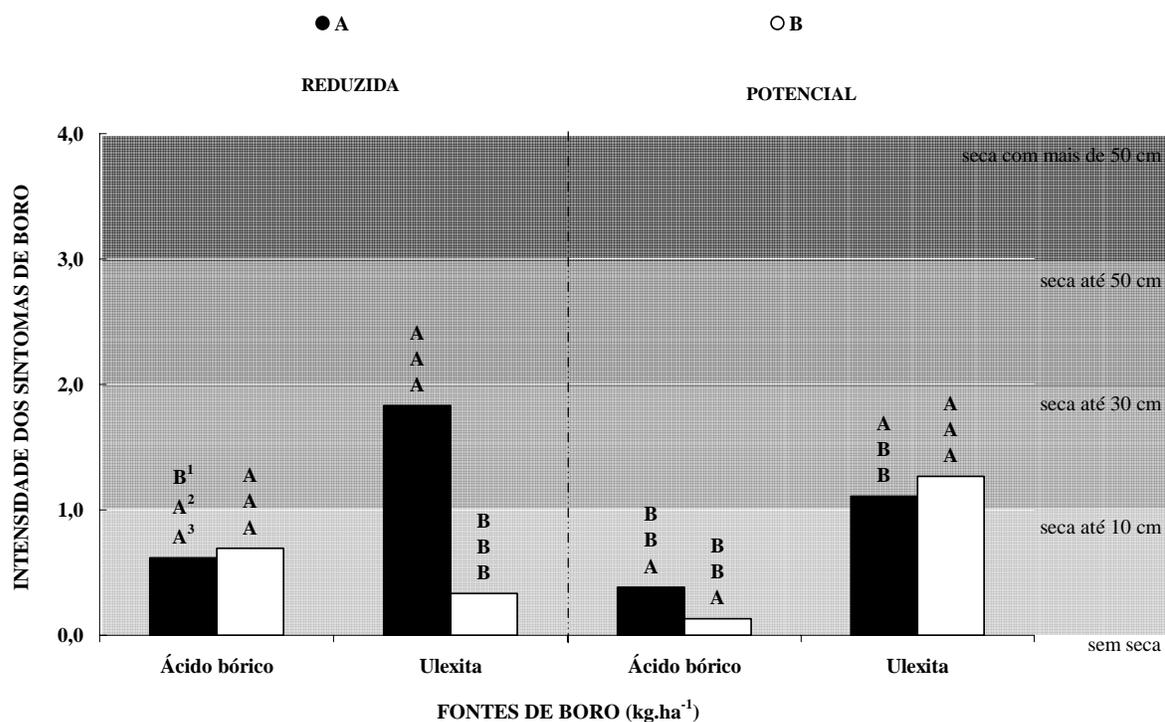


Figura 22 - Efeito da interação entre as fontes de boro, os clones e os níveis de adubação sobre a intensidade de seca de ponteiro (<sup>1</sup> Diferença entre fontes de boro, para o mesmo clone e nível de adubação, <sup>2</sup> Diferença entre níveis de adubação, para a mesma fonte de boro e clone, <sup>3</sup> Diferença entre clones, para a mesma fonte de boro e nível de adubação. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade)

#### 4.3 Efeito das formas de aplicação do boro

O resumo da análise de variância é apresentado na Tabela 18. Houve efeito da interação entre as formas de aplicação do boro, clones e níveis de adubação sobre a intensidade dos sintomas de seca de ponteiro e sobre o incremento das árvores em DAP. Para o incremento em altura e em volume, verificou-se efeito apenas dos materiais genéticos.

As avaliações de severidade de seca de ponteiro e de incremento em DAP, altura e volume estão apresentadas na Tabela 19.

Tabela 18 - Resumo da análise de variância

Causa de variação	Graus de liberdade	Sintomas	Quadrado médio (significância)		
			Incremento em		
			DAP	Altura	Volume
Formas de aplicação do boro	2	2,764 <sup>**</sup>	0,084 <sup>*</sup>	0,168 <sup>n.s.</sup>	6,955 <sup>n.s.</sup>
Clone	1	0,871 <sup>**</sup>	0,001 <sup>n.s.</sup>	0,490 <sup>*</sup>	753,503 <sup>*</sup>
Adubação	1	0,001 <sup>n.s.</sup>	0,111 <sup>*</sup>	0,250 <sup>n.s.</sup>	9,714 <sup>n.s.</sup>
Clone x Adubação	1	2,151 <sup>**</sup>	0,111 <sup>*</sup>	0,071 <sup>n.s.</sup>	5,523 <sup>n.s.</sup>
Formas de aplicação do boro x Adubação	2	0,029 <sup>**</sup>	0,010 <sup>n.s.</sup>	0,068 <sup>n.s.</sup>	10,362 <sup>n.s.</sup>
Formas de aplicação do boro x Clone	2	0,325 <sup>**</sup>	0,069 <sup>*</sup>	0,053 <sup>n.s.</sup>	15,708 <sup>n.s.</sup>
Formas de aplicação do B x Clone x Adubação	2	0,600 <sup>**</sup>	0,025 <sup>n.s.</sup>	0,030 <sup>n.s.</sup>	10,548 <sup>n.s.</sup>
Resíduo	2	0,002 <sup>n.s.</sup>	0,010 <sup>n.s.</sup>	0,026 <sup>n.s.</sup>	4,750 <sup>n.s.</sup>

(\*\*) Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey, (\*) Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, (n.s.) Não Significativo pelo teste de Tukey

Tabela 19 - Intensidade média de sintoma de deficiência de boro e incrementos em DAP, altura e volume em função das fontes de boro e dos níveis de adubação, para os clones A e B

Clone	Níveis de adubação	Formas de aplicação do boro	Severidade da seca de ponteiro	Incremento em		
				Altura (m)	DAP (cm)	Volume (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )
A	Potencial	Filete	1,1	5,6	4,7	37,0
A	Potencial	Lanço	0,3	5,4	4,7	36,5
A	Potencial	Filete + Pulverização	0,3	5,8	5,0	42,0
A	Reduzida	Filete	1,8	5,6	4,6	37,8
A	Reduzida	Lanço	1,0	5,9	4,5	38,9
A	Reduzida	Filete + Pulverização	0,3	6,1	4,7	39,5
B	Potencial	Filete	1,3	6,0	4,8	49,2
B	Potencial	Lanço	0,9	5,8	4,7	45,5
B	Potencial	Filete + Pulverização	0,0	6,0	4,6	45,9
B	Reduzida	Filete	0,3	6,0	4,8	47,8
B	Reduzida	Lanço	0,3	5,9	4,6	49,5
B	Reduzida	Filete + Pulverização	0,1	6,1	4,7	48,8

Para o DAP não houve diferença entre as formas de aplicação do boro. Para o clone A houve diferença entre os níveis de adubação, sob adubação boratada a lanço, sendo que a adubação potencial apresentou melhor resultado. Entre os clones, houve diferença para a pulverização foliar com adubação potencial, sendo o clone A superior ao clone B (Figura 23).

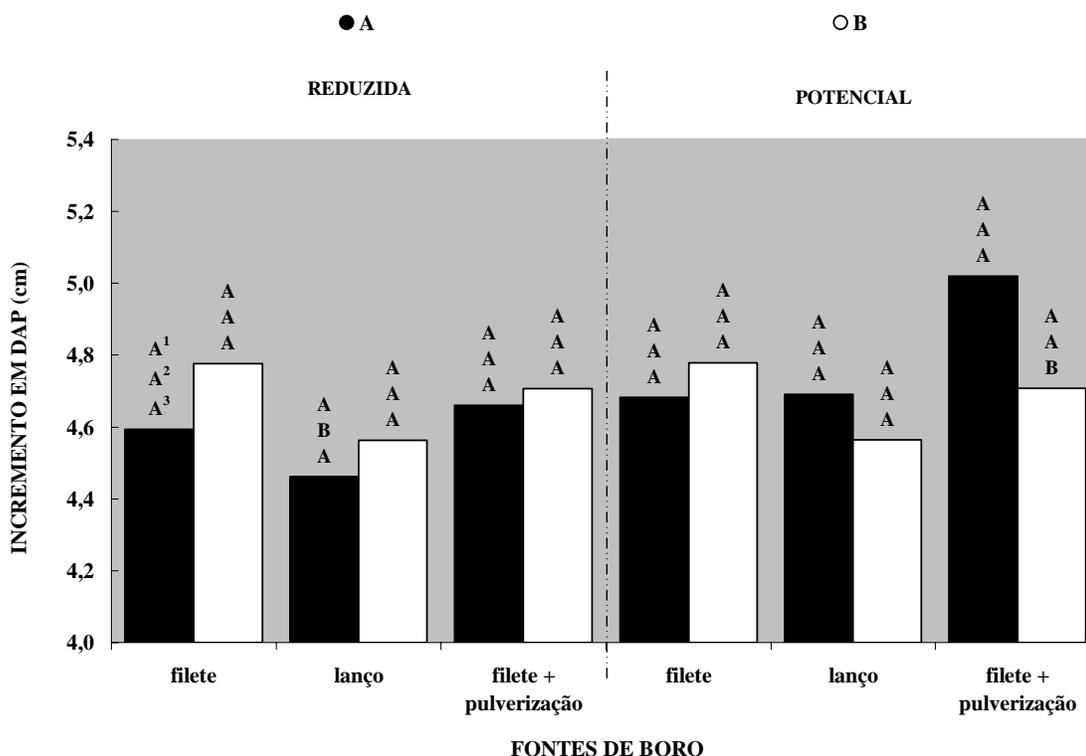


Figura 23 - Efeito da interação entre as formas de aplicação do boro, os clones e os níveis de adubação sobre o incremento em DAP (<sup>1</sup> Diferença entre formas de aplicação do boro, para o mesmo clone e nível de adubação, <sup>2</sup> Diferença entre níveis de adubação, para a mesma forma de aplicação do boro e clone, <sup>3</sup> Diferença entre clones, para a mesma forma de aplicação do boro e nível de adubação. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade)

O clone B apresentou médias superiores em incremento em altura e volume, diferindo estatisticamente do clone A (Figuras 24 e 25).

Na adubação reduzida, a combinação da aplicação em filete contínuo com pulverização foliar reduziu significativamente a intensidade da seca de ponteiro, diferindo estatisticamente das outras formas de aplicação. Na adubação potencial, houve redução na intensidade dos sintomas de deficiência de boro com a aplicação de boro a lanço, ou em filete contínuo combinado com pulverização foliar para o clone A. Para o clone B, o melhor resultado foi obtido com filete contínuo e aplicação foliar (Figura 26).

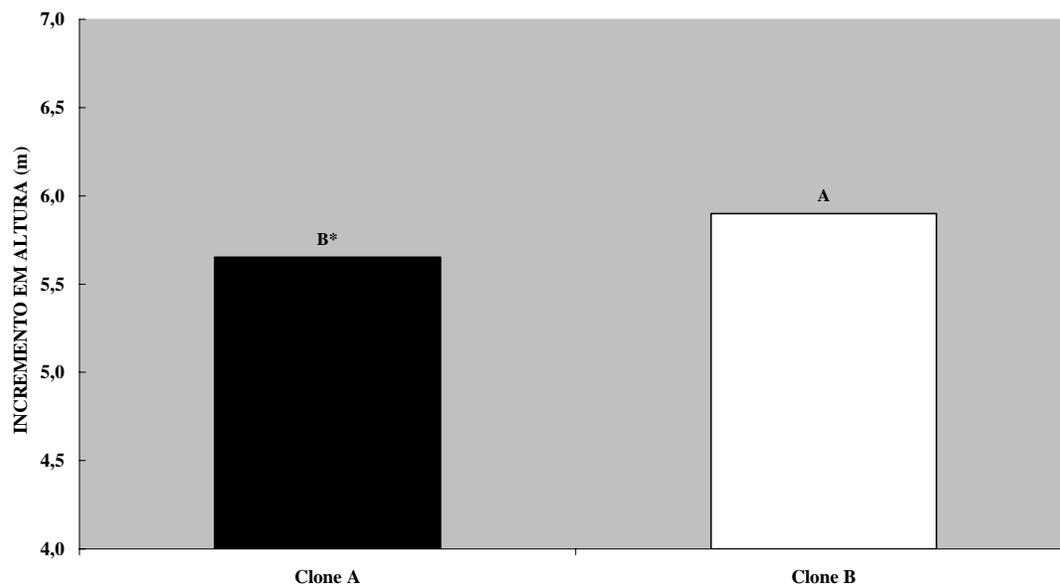


Figura 24 - Efeito dos clones sobre o incremento em altura (\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade)

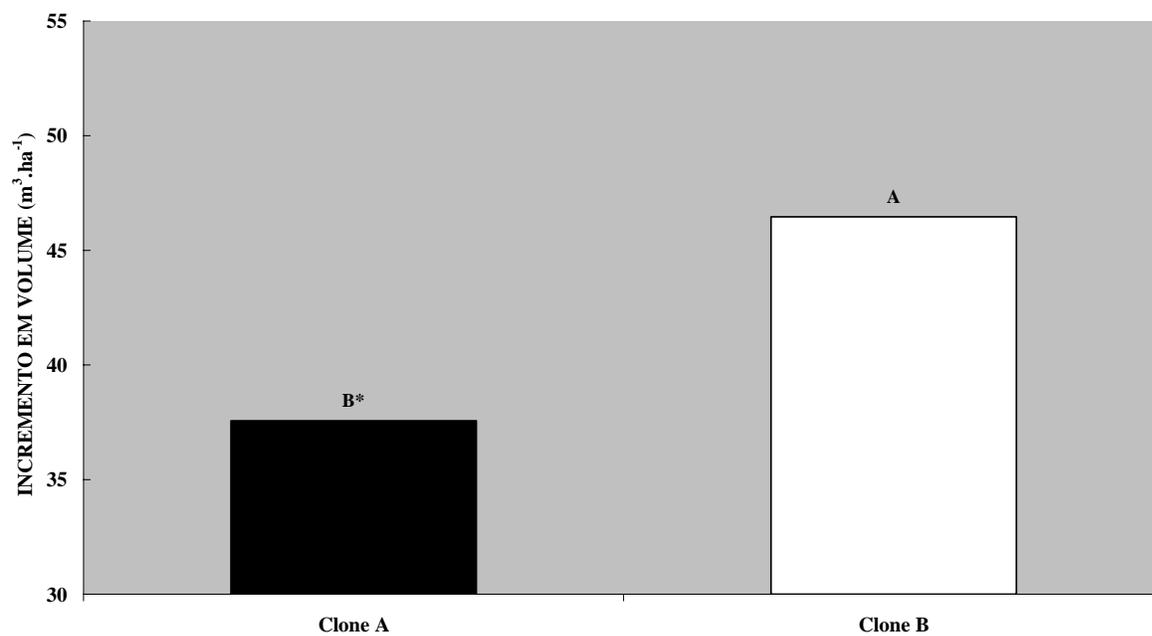


Figura 25 - Efeito dos clones sobre o incremento em volume (\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade)

Na adubação reduzida, o clone A apresenta seca de ponteiro mais intensa, independente do tipo de aplicação de boro; enquanto que na adubação potencial, a seca de ponteiro no clone B supera a do clone A nas aplicações a lanço e em filete contínuo (Figura 26).

Nas aplicações em filete e a lanço do clone A, os sintomas de deficiência de boro foram mais severos com adubação reduzida, quando comparado com a adubação potencial e para a combinação filete contínuo com pulverização, não houve diferença. Entretanto, no clone B, os sintomas mais severos ocorreram na adubação potencial, exceto para o tratamento filete com pulverização (Figura 26).

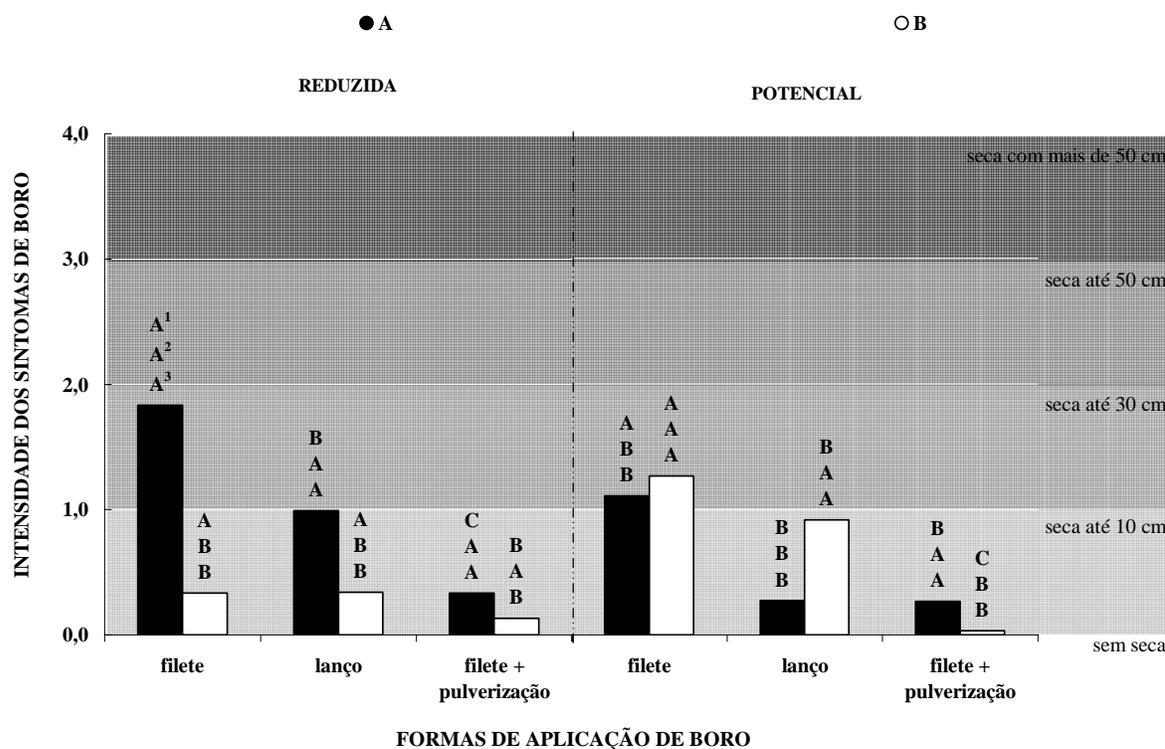


Figura 26 - Efeito da interação entre as formas de aplicação do boro, os clones e os níveis de adubação sobre a intensidade de seca de ponteiro (<sup>1</sup> Diferença entre formas de aplicação do boro, para o mesmo clone e nível de adubação, <sup>2</sup> Diferença entre níveis de adubação, para a mesma forma de aplicação do boro e clone, <sup>3</sup> Diferença entre clones, para a mesma forma de aplicação do boro e nível de adubação. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade)

Estes resultados mostram que em plantios onde a aplicação do boro combinada via solo e foliar não é possível, deve-se optar pela aplicação do boro à lanço, que se mostrou mais eficiente no controle dos sintomas de seca que a aplicação em filete contínuo. Provavelmente esta resposta

se deve à distribuição das raízes absorventes que em florestas com cerca de 10 metros de altura ou mais, já deve explorar toda a superfície.

Acredita-se também que a combinação da aplicação à lanço com a pulverização deve propiciar bons resultados.

## 5 CONCLUSÃO

Em função dos resultados obtidos, conclui-se (a) em relação à dose: que os sintomas de deficiência de boro são minimizados com doses superiores a  $8,0 \text{ kg.ha}^{-1}$ , entretanto, em relação ao incremento volumétrico de florestas de rápido crescimento, somente foi obtida resposta até a dose de  $5,5$  e  $7,0 \text{ kg.ha}^{-1}$ , variando em função do material genético; (b) em relação à fonte: dentro da dose testada de  $4 \text{ kg.ha}^{-1}$  de boro, o ácido bórico mostrou boa eficiência independente do clone ou nível de adubação, entretanto na condição específica do clone B com adubação reduzida a ulexita mostrou melhor resultado. Acredita-se que o efeito positivo do ácido bórico esteja relacionado a maior solubilidade do produto, quando comparado com a ulexita, suprimindo rapidamente a demanda das plantas no período de intenso crescimento vegetativo; e (c) em relação à aplicação: a forma combinada via solo e pulverização foliar foi a única capaz de prevenir o secamento do ponteiro das árvores durante o período de deficiência hídrica, sendo que a aplicação em filete sem pulverização apresentou resultados inferiores à aplicação a lanço. Dessa forma, acredita-se que a aplicação à lanço combinada com a pulverização propicie bons resultados, considerando-se as condições de solo, clima e o porte da floresta testada.



## REFERÊNCIAS

- ABREU, C.A.; VAN RAIJ, B.; ABREU, M.F.; GABE, U.; YASUDA, M. Reação e movimentação de boro no solo aplicado como ulexita, fritas e ácido bórico. In: FERTBIO 2004, 2004, Lages. Resumos da FERTBIO 2004. Lages: Universidade de Lages, 2004.
- AZEVEDO, L.G.; CASER, R.L. 1980. Regionalização do cerrado em função de seus geossistemas. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: USO E MANEJO, 5., 1979. **Anais...** Brasília, 1979.
- BALONI, E.A. Deficiência de boro em povoamentos florestais implantados. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, v.5, n.14, p.49-65, 1997.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTIWILL, P.M. (Ed.) **Nutrition of Eucalyptus**. Collingwood: CSIRO, 1996. p.335-355.
- BROWN, P.H.; SHELP, B.J. Boron mobility in plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.193, n.1/2, p.85-101, 1997.
- CARVALHO, C.M.; CORSO, G.M.; VEIGA, R.A.A.; COUTINHO, C.J.; BAENA, E.S. Aspectos sintomatológicos, morfológicos e anatômicos da deficiência de boro em plantações de *Eucalyptus*. In: SYMPOSIUM AND WORKSHOP ON GENETIC IMPROVEMENT IN PRODUCTIVITY OF FAST GROWING TREE SPECIES. 1980. Águas de São Pedro. **Proceedings....** Águas de São Pedro, 1980. 8p. (mimeografado).
- COHEN, M.S.; LEPPER JÚNIOR, R. Effect of boron on cell elongation and division in squash roots. **Plant Physiology**, Rockville, v.59, n.5, p.884-887, 1977.
- COUTINHO, J.; BENTO, J.; VALE, R. **Efeito da aplicação de boro em povoamentos de *Eucalyptus globulus* no Norte e no Centro de Portugal.**, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Soporcel S.A. e Bórax Consalid Ltd., 1995. 31p. (2. Relatório intercalar do projeto de investigação do CEDER).
- DANTAS, J.P. Boro: In: FERREIRA, M.E.F.; CRUZ, M.C.P.C. (Ed.). Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: Potafos, 1991. p.113-130.
- DELL, B.; HUNG, L. Physiological response of plants to plants to low boron. In: DELL, B.; BROWN, P.H.; BELL, R.W. (Ed.). **Boron in soils and plants reviews**. Dordrecht: Kluwer, 1997. p.103-120.
- DELL, B.; MALAJACZUK, N. Boron deficiency eucalypt in China. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.24, n.12, p.2416, 1994.
- DUGGER, W.M. Boron in plant metabolism. In: LÄUCHILI, A.; BIELESKI, R.L. (Ed.). **Inorganic plant nutrition**. Berlin: Springer-Verlag, 1983. p.625-650.
- EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, Bronx, v.38, p.201-341, 1972.

- FERREIRA, G.B. **Interferência da matéria orgânica e ferro na dosagem de boro com Azometina-H e comparação de extratores para boro disponível no solo.** 1998. 98p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.
- GEOMINAS. [http://www.geominas.mg.gov.br/kit\\_desktop/kit2](http://www.geominas.mg.gov.br/kit_desktop/kit2). 1996.
- GOLDBERG, S. Reactions of boron with soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.193, p.35-48, 1997.
- GOLDBERG, S.; CORWIN, D.L.; AHOUSE, P.J.; SUAREZ, D.L. Prediction of boron adsorption by field samples of diverse textures. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.69, p.1379-1388, 2005.
- GUPTA, U.C. Boron nutrition of crops. **Advances in Agronomy**, Newark, v.31, p.273-307, 1979.
- GUPTA, U.C. Factors affecting boron uptake by plants. In: GUPTA, U.C. (Ed.) **Boron and its role in crop production**. Boca Raton; Crc Press, 1993. cap. 5, 1993. p.87-104.
- GUPTA, U.C.; JAME, Y.M.; CAMBELL, C.A.; LEYSHON, A.J.; NICHOLAICHUK, W. Boron toxicity and deficiency: a review. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.65, p.381-409, 1985.
- HEWITT, E.J.; SMITH, T.A. Plant mineral nutrition. London: The English Universities, 1975. 298p.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRA DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. <http://mapas.ibge.gov.br>. 2006.
- IBS - INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. <http://www.ibs.org.br/estatisticas.asp>. 2007.
- ILafa - INSTITUTO LATINOAMERICANO DE FERRO E AÇO. [www.ilafa.org](http://www.ilafa.org). 2007.
- JACKSON, J.F.; CHAPMAN, S.R. Trace elements in soil plant-animal systems. In: NICHOLAS, D.J.D.; EGAN, A.R. (Ed.) New York: Academic Press. 1975. p.213-225.
- LEWIS, D.H. Boron, lignification and the origin of vascular plants - a unified hypothesis. **New Phytologist**, Oxford, v.84, p.209, 1980.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Fundações. In: MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. (Ed.). **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2ª ed. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.

- MARCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego:Academic Press, 1986. 674p.
- MATOH, T.; ISHIGAKI, K.; MIZUTANI, M.; MATSUNAGA, W.; TAKABE, K. Boron nutrition of cultured tobacco BY-2 cells. I. Requirement for and intracellular localization of boron and selection of cells that tolerate low levels of boron. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v.33, p.1135-1141, 1992.
- MERCK. [http://biq.iqm.unicamp.br/arquivos/bases/merck\\_acesso.htm](http://biq.iqm.unicamp.br/arquivos/bases/merck_acesso.htm). 2009.
- MULLICK, D.B. The non-specific nature of defense in bark on wood during wounding, insect and pathogen attack. In: LOEWEISS, F.A.; RONECKLES, V.C. (Ed.). **Recent advances in phytochemistry**. New York: Plenum Press, 1997. v.11, p.395-441.
- PAVAN, M.A.; CORREA, A.E. Reações de equilíbrio solo-boro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.3, p. 261-269, 1988.
- POLLARD, A.S.; PARR, A.J.; LOUGHMAN, B.C. Boron in relation to membrane function in higher plants. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v.28, n.105, p.831-41, 1997.
- PRICE, C.A.; CLARK, H.E.; FUNKHOUSER, E.A. Micronutrients in agriculture. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. (Ed.). **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, p.231-242, 1972.
- REIS, A.C.S. Climatologia dos cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 1., 1971. São Paulo. **Anais...** São Paulo: EDUSP, 1971. p.15-25.
- ROCHA FILHO, J.V.C.; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, G.D. Deficiência de macronutrientes, boro e ferro em *Eucalyptus urophylla*. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v.35, p.19-34, 1978.
- SAVORY, B.M. Boron deficiency in *Eucalyptus* in Northern Rhodesia. **Empire Forestry Review**, Oxford, v.41, n.2, p.118-126, 1962.
- SBS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. <http://www.sbs.org.br>. 2007.
- SGARBI, F.; SILVEIRA, R.L.V.A. **Monitoramento nutricional e da fertilidade do solo em plantios de eucalipto nas regiões do Vale do Paraíba e Sul do estado de São Paulo**. Local:Editora, 2001. 43p. (Relatório de Pesquisa da Votorantim Celulose e Papel).
- SILVA, F.R.; FERREYRA, H.F.F. Boro total e solúvel e suas relações com alguns atributos dos solos do estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, p.595-602, 1998.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; ARAÚJO, E.F.; SOUZA, A.J. **Avaliação nutricional de povoamentos de Eucalyptus pelo método do nível crítico e DRIS, na região Sul da Bahia.**, Teixeira de Freitas: Bahia Sul Celulose e Papel, 2001. 82p. (Relatório de Pesquisa da Bahia Sul Celulose e Papel).

SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; PAULA, T.A. **Monitoramento nutricional do clone C219 em Luís Antônio.**, Luís Antônio: Votorantim Celulose e Papel, 2003. 13p. (Relatório de Pesquisa da Votorantim Celulose e Papel).

SILVEIRA, R.L.V.A.; SILVEIRA, R.I.; HIGASHI, E.N. **Monitoramento nutricional nos povoamentos de *Eucalyptus* na região de Bofete e Itatinga pelos métodos do nível crítico e DRIS.**, Salto: Eucatex, 2002. 30p. (Relatório de pesquisa da Eucatex).

SILVEIRA, R.L.V.A.; TAKAHASHI, E.N.; SGARBI, F.; BRANCO, E.F. Sintomas de deficiência de macronutrientes e boro em híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996. Águas de Lindóia. **Anais.....** Águas de Lindóia: Sociedade Americana de Ciência do Solo, 1996. 1 CD-ROM.

THORNTON, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance.** Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, v.8, n.1)

TOKESHI, F.; GUIMARÃES, R.F.; TOMAZELLO FILHO, M. Deficiência de boro em *Eucalyptus* em São Paulo. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.2, n.2, p.122-126, 1976.

VAIL, J.W.; PARRY, M.S.; CALTON, W.E. Boron deficiency dieback in pines. **Plant and Soil**, The Hague, v.14, n.4, 1961.

VANDERLEI, J.C.; FAQUIN, V.; GUEDES, G.A.A.; CURI, N. Boro em materiais de três solos do município de Lavras, MG. Separata de **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.12, p.1421-1429, 1988.

VASCONCELLOS, P.W.C. Do valor e da exploração dos cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRONOMIA, 1., 1940. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, 1940.

WOLF, J.M. Water constraints to corn production in Central Brazil. Unpublished Ph.D. Thesis. Department of Agronomy. Cornell University, Ithaca, Nueva York, 1975.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)