

LEONARDO CORRÊA ALVES

**FAIXAS DE SUFICIÊNCIA E NÍVEIS ÓTIMOS DE ATRIBUTOS DA  
FERTILIDADE DO SOLO PARA A CULTURA DO CAFÉ EM MINAS  
GERAIS**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2012

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

T

A474f  
2012

Alves, Leonardo Corrêa, 1984-  
Faixas de suficiência e níveis ótimos de atributos da  
fertilidade do solo para a cultura do café em Minas Gerais /  
Leonardo Corrêa Alves. – Viçosa, MG, 2012.  
vii, 58f. : il. ; 29cm.

Orientador: Herminia Emilia Prieto Martinez  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f. 54-58

1. Fertilidade do solo. 2. *Coffea arabica*. 3. Modelos matemáticos. 4. Nutrientes. 5. Produtividade agrícola.  
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia.  
II. Título.

CDD 22. ed. 631.422

LEONARDO CORRÊA ALVES

**FAIXAS DE SUFICIÊNCIA E NÍVEIS ÓTIMOS DE ATRIBUTOS DA  
FERTILIDADE DO SOLO PARA A CULTURA DO CAFÉ EM MINAS  
GERAIS**

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

APROVADA: 14 de setembro de 2012.

---

Ricardo Henrique S. Santos

---

Paulo César de Lima

---

Júlio César Lima Neves  
(Coorientador)

---

Herminia Emilia P. Martinez  
(Orientadora)

## **DEDICATÓRIA**

A Deus, que tudo torna possível, sempre presente em minha vida e guiando meus caminhos.

Aos meus pais, Josias e Isabel, que, mesmo com sacrifício, investiram na minha educação.

Aos meus irmãos Josias Junior e Luciene, por fazerem parte da minha vida.

Àqueles que acreditaram, confiaram e principalmente me ajudaram a caminhar e chegar até aqui.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade oferecida para a realização do Curso.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

À Prof<sup>a</sup> Herminia Emilia Prieto Martinez, pela dedicada orientação, pelos ensinamentos transmitidos e principalmente pelo carinho e pela amizade.

Ao Prof. Júlio César Lima Neves, pela atenção, pelas brilhantes sugestões e pelo aconselhamento.

À Fundação de Amparo à pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (CBP&D-Café) pelo financiamento parcial da pesquisa.

Ao auxílio prestado pelas cooperativas (COOXUPÉ E COOPARAÍSO), pela EPAMIG, pela Fertilizantes Heringer, e pela EMATER-MG (Manhuaçu e Manhumirim) na coleta dos dados.

Ao Engenheiro agrônomo Jairo Antonio de Oliveira, responsável técnico do Laboratório de Solos da UFV à época da coleta das amostras, e aos pesquisadores Antonio de Pádua Alvarenga (EPAMIG, CTZM), Paulo Tácito Gontijo Guimarães (EPAMIG, CTSM) e Ronessa Bartolomeu de Souza (EMBRAPA - Hortaliças) pelo auxílio no planejamento e coleta das amostras.

Aos cafeicultores das regiões de Manhuaçu, Patrocínio, Guaxupé, São Sebastião do Paraíso e Viçosa pela permissão de acesso às propriedades.

Aos amigos Tarcisio Galdino, Monica Pontes, Ivan Francisco e em especial à Junia Maria Clemente pela amizade e apoio.

Enfim, a todos aqueles que, de alguma forma, auxiliaram na realização deste trabalho, o meu reconhecimento e gratidão.

## **BIOGRAFIA**

LEONARDO CORRÊA ALVES, filho de Josias Corrêa de Faria e Isabel Rodrigues Alves Faria , nasceu em Caratinga, Minas Gerais, em 9 de julho de 1984.

Em março de 2005, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, vindo a concluí-lo em julho de 2010. Durante a graduação de janeiro de 2008 a julho de 2010 foi estagiário do Departamento de Fitotecnia - Nutrição Mineral de Plantas sob orientação de Hermínia E. Prieto Martinez. Nesse período foi bolsista de iniciação científica por dois anos e meio do CNPq.

Em agosto de 2010, ingressou no curso de Mestrado em Fitotecnia do Departamento de Fitotecnia, setor de Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em setembro de 2012.

## SUMÁRIO

|   |     |
|---|-----|
| RESUMO .....  | vi  |
| ABSTRACT .....  | vii |
| 1 - INTRODUÇÃO .....  | 1   |
| 2 - REVISÃO DE LITERATURA.....  | 2   |
| 2.1 - RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO E CALAGEM NO BRASIL -<br>HISTÓRICO ..... | 2   |
| 2.2 - MATÉRIA ORGÂNICA.....   | 3   |
| 2.3 - ACIDEZ DO SOLO (pH) e ALUMÍNIO.....                               | 4   |
| 2.4 - FÓSFORO .....   | 6   |
| 2.5 - BASES .....   | 7   |
| 2.5.1 - SATURAÇÃO POR BASES.....  | 7   |
| 2.5.2 - POTÁSSIO .....  | 8   |
| 2.5.3 - CÁLCIO E MAGNÉSIO .....   | 9   |
| 2.6 - CHANCE MATEMÁTICA .....   | 11  |
| 3 - MATERIAL E MÉTODOS.....   | 13  |
| 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....   | 16  |
| 4.1 - MATÉRIA ORGÂNICA.....   | 16  |
| 4.2 - pH.....   | 22  |
| 4.3 - ALUMÍNIO .....  | 26  |
| 4.4 - FÓSFORO .....   | 30  |
| 4.5 - SATURAÇÃO POR BASES .....   | 35  |
| 4.6 - POTÁSSIO .....  | 39  |
| 4.7 - CÁLCIO .....  | 44  |
| 4.8 - MAGNÉSIO .....  | 48  |
| 5 - CONCLUSÕES.....   | 53  |
| 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                     | 54  |

## RESUMO

ALVES, Leonardo Corrêa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2012. **Faixas de suficiência e níveis ótimos de atributos da fertilidade do solo para a cultura do café em Minas Gerais.** Orientadora: Herminia Emilia Prieto Martinez. Coorientador: Júlio César Lima Neves.

A relação entre as características químicas e físico-químicas do solo e a produtividade das culturas é estabelecida mediante curvas de calibração, obtidas por experimentos de campo, em condições controladas. O uso de modelos matemáticos tais como Chance Matemática, pode ser uma alternativa aos processos tradicionais de calibração, desde que se tenha um número elevado de dados. Os objetivos deste trabalho foram obter faixas de suficiência e níveis ótimos de fertilidade do solo, com base na relação das características químicas e físico-químicas com a produtividade observada em regiões cafeeiras do estado de Minas Gerais. Amostraram-se os solos de cafezais de 5 regiões de Minas Gerais, totalizando 168 unidades amostrais. Na profundidade de 0-20 cm, foram avaliados matéria orgânica, pH, alumínio ( $Al^{3+}$ ), fósforo (P), saturação por bases, potássio (K), cálcio ( $Ca^{2+}$ ) e magnésio ( $Mg^{2+}$ ). Os valores encontrados para cada atributo foram tabulados e pareados à produtividade apresentada no respectivo talhão amostrado. Em seguida, para cada característica de fertilidade, foi determinada a amplitude (A) dos dados e calculado o número de classes possíveis (I) com base no tamanho da amostra (n), em que  $I = \sqrt{n}$ . O quociente entre amplitude e número de classes resulta no intervalo de classe ( $IC = A/I$ ). Finalmente, a Chance Matemática do fator na classe “i” ( $ChM_i$ ) foi calculado por:  $ChM_i = \{ [P(A_i/A) \cdot PROD_i] \cdot [P(A_i/N_i) \cdot PROD_i] \}^{0,5}$ . Para obtenção da Chance Matemática Relativa (ChMR) atribuiu-se, em cada caso, o valor 100% ao maior valor de ChM. De posse dos resultados de ChMR realizou-se o ajuste matemático entre o valor médio do fator de produção de cada classe “i” e sua respectiva ChMR, gerando uma equação e uma curva de tendência. Com base no maior valor estimado (considerado o nível ótimo) estimaram-se as faixas de suficiência. Considerando a camada de solo de 0 a 20 cm de profundidade as faixas de teores consideradas boas foram: 3,2 a 4,0 dag/kg para matéria orgânica, 5,0 a 5,4 para pH, 0,07 a 0,08  $cmol/dm^3$  para  $Al^{3+}$ , 34 a 50% para saturação por bases, 57 a 73  $mg/dm^3$  para K, 1,9 a 2,6  $cmol/dm^3$  para  $Ca^{2+}$  e 0,9 a 1,1  $cmol/dm^3$  para  $Mg^{2+}$ .

## ABSTRACT

ALVES, Leonardo Corrêa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, september 2012. **Sufficiency ranges and optimal levels of soil fertility attributes to the coffee culture in Minas Gerais.** Adviser: Herminia Emilia Prieto Martinez. Co-adviser: Júlio César Lima Neves.

The relationship between the chemical and physicochemical soil properties and crop productivity is established through calibration curves, obtained by field experiments under controlled conditions. The use of mathematical models, such as Mathematical Chance, can be an alternative to the traditional processes of calibration, since it has a high number of data. The objectives of this work was to obtain sufficiency ranges and optimal levels of soil fertility, based on the chemical and physicochemical soil properties with the productivity observed in coffee regions of Minas Gerais state. Soils were sampled from coffee plantations of five regions in Minas Gerais, totaling 168 sampling units. At a depth of 0-20 cm, were evaluated organic matter, pH, aluminum ( $\text{Al}^{3+}$ ), phosphorus (P), base saturation, potassium (K), calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) and magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Each soil property data was paired with the productivity obtained in the field crop sampled. Then, for each fertility feature was determined the data amplitude (A) and calculated the number of possible classes (I) according to the sample size (n), in which  $I = \sqrt{n}$ . The ratio between amplitude and number of classes results in class interval ( $\text{CI} = A / I$ ). Finally, the Mathematical Chance of the factor in the class "i" (ChMi) is notated by:  $\text{ChMi} = \{[\text{P}(\text{Ai}/A) \cdot \text{PRODi}] \cdot [\text{P}(\text{Ai}/\text{Ni}) \cdot \text{PRODi}]\}^{0.5}$ . To obtain the Relative Mathematics Chance (ChMR) was attributed, in each case, the value of 100% to the highest value of ChM. With the ChMR results held the mathematical fit among the average value of the factor of production for each class 'i' and their respective ChMR, generating an equation and a trend curve. Based on the greater value estimated (considered the optimum level) were estimated ranges of sufficiency. Considering the soil layer 0-20 cm depth, the ranges considered as good contents were: 3.2 to 4.0 dag/kg organic matter, 5.0 to 5.4 for pH, 0.07 to 0.08  $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$  for  $\text{Al}^{3+}$ , 34 to 50% base saturation, 57 to 73  $\text{mg}/\text{dm}^3$  for K, 1.9 to 2.6  $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$  for  $\text{Ca}^{2+}$  and 0.9 to 1.1  $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$  for  $\text{Mg}^{2+}$ .

## 1 - INTRODUÇÃO

O café é uma das bebidas mais consumidas e apreciadas no mundo, e possui importante papel no setor econômico. É uma atividade tradicional da economia brasileira e de grande inserção no mercado externo. Atualmente o Brasil ocupa a posição de maior produtor e exportador mundial de café, sendo responsável por aproximadamente 33% do mercado internacional (ABIC, 2011). Segundo a Conab (2012), a safra de café beneficiado em 2011, foi de 43,5 milhões de sacas de 60 quilos, com uma produtividade média de 21,15 sacas/ha.

Minas Gerais é o estado brasileiro que se destaca como principal produtor, com aproximadamente 50% (22,18 milhões de sacas) do café beneficiado, o que evidencia a grande importância social e econômica dessa atividade.

A produtividade das culturas é influenciada por diversos fatores, dentre os quais destacam-se os genético-culturais, edáficos, climáticos e o manejo da lavoura. Dentre os fatores edáficos, a fertilidade do solo exerce grande influência, na definição da produtividade, uma vez que o teor de nutrientes nos tecidos depende do suprimento externo (Martinez *et al.*, 2004).

A fertilidade define a capacidade do solo em fornecer nutrientes às plantas em quantidades e proporções adequadas para a obtenção de produtividades desejadas, podendo ser modificada, para se adequar às exigências da planta cultivada.

Após sucessivos cultivos, o rendimento das culturas diminui bem como os teores de matéria orgânica e macronutrientes. Os nutrientes podem ter sua disponibilidade reduzida por imobilização pelos organismos ou adsorção às partículas do solo, e também por perdas devidas a lixiviação ou erosão. No entanto, atividades como a calagem e a adubação podem melhorar as características químicas e físicas do solo, contribuindo para aumentos expressivos na produção (Luna Pequeno *et al.*, 2011).

As quantidades de fertilizantes a serem aplicados, em uma cultura, são determinadas de acordo com os teores presentes no solo e as exigências da cultura, o que evidencia a importância das análises químicas do solo, as quais prestam-se para identificar e quantificar, além da fertilidade, condições adversas ao desenvolvimento das culturas, como acidez, salinidade, toxidez de alumínio. Dessa forma, a análise do solo permite avaliar a fertilidade, prever a necessidade de corretivos e fertilizantes

e em conjunto com outros métodos, inferir as causas das desordens nutricionais (Martinez et al, 2007).

A relação entre as concentrações de nutrientes obtidas na análise do solo e a produtividade das culturas é estabelecida mediante curvas de calibração, obtidas por experimentos de campo, geralmente relacionados com doses crescentes de determinado nutriente. No entanto, a montagem e condução de redes de experimentos de calibração é demasiadamente custosa, especialmente quando se considera uma cultura de ciclo longo como o café.

O uso de modelos matemáticos, tais como Chance Matemática, pode ser uma alternativa aos processos tradicionais de calibração, visto que aqueles não necessitam de condução de experimentos controlados, desde que se tenha um número elevado de dados (Wadt, 1996).

Há na literatura, divergências quanto aos teores de nutrientes no solo considerados adequados para o cafeeiro, sendo que, para alguns nutrientes os trabalhos são escassos. Portanto, são necessários estudos adicionais para redefinir ou validar faixas ótimas e classes de fertilidade citados na literatura para o cafeeiro. A confirmação ou estabelecimento de novos valores, permite otimizar a nutrição das plantas e conseqüentemente a produtividade.

Os objetivos desse trabalho foram obter faixas de suficiência e níveis ótimos de fertilidade do solo, com base na relação das características químicas e físico-químicas com a produtividade observada em regiões cafeeiras do estado de Minas Gerais.

## **2 - REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 - RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO E CALAGEM NO BRASIL - HISTÓRICO**

Um aspecto de grande relevância envolvendo fertilidade do solo e produtividade das culturas no Brasil foi o grande esforço de órgãos ligados ao ensino, pesquisa e extensão de vários estados no Brasil, no sentido de elaborarem, por estado ou região, recomendações de corretivos e fertilizantes para as mais diferentes culturas com base na análise de solos e, em alguns casos, na análise foliar (Lopes et al., (2007).

Até o início da década de 60, não havia no Brasil trabalhos de correlação e calibração de métodos de análises de solos como base para a recomendação de corretivos e fertilizantes. A primeira tentativa nesse sentido, de âmbito nacional, foi feita pelo Professor Robert Cate, Diretor Regional do International Soil Testing Project no Brasil em 1965, em um trabalho modesto, mas que foi a base para despertar o interesse sobre o assunto em diversos estados ou regiões. Uma das premissas básicas estabelecidas pelo Dr. Cate foi que abaixo de dado teor (nível crítico) de um nutriente no solo (determinado por análise de amostra obtida num laboratório padronizado), a probabilidade de resposta à adubação com este elemento será muito maior do que quando o teor revelado pela análise estiver acima do nível crítico (Lopes *et al.* 2007).

Em âmbito estadual ou regional, foram publicados trabalhos muito mais elaborados e completos no Rio Grande do Sul (1969), Goiás (1970), Minas Gerais (1971), Espírito Santo (1977), Paraná (1978), São Paulo (1985), Distrito Federal (1987) e Rio de Janeiro (1988). Edições mais atualizadas dessas recomendações foram elaboradas nos estados de São Paulo (1996), Pernambuco (1998), Minas Gerais (1999), Espírito Santo (2001), Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2004). Para a região dos Cerrados, o livro “Cerrado: Correção do Solo e Adubação”, editado pelos pesquisadores do CPAC, Djalma M. G. de Souza e Edson Lobato, em 2002, atende à filosofia de trabalho adotada em outros estados e regiões abrangidas pelos Cerrados brasileiros.

## **2.2 - MATÉRIA ORGÂNICA**

Em fertilidade do solo, a matéria orgânica (MO) é considerada como sendo a fração representada especialmente pelas frações orgânicas estabilizadas na forma de substâncias húmicas. Estas, são consideradas as principais componentes da MO (contribuem com cerca de 85 a 95% do carbono orgânico total (COT)). Sendo assim, muitos autores referem-se à MO como húmus (já que este compartimento inclui substâncias húmicas e não-húmicas) (Silva & Mendonça, 2007).

Do ponto de vista químico, o húmus é constituído principalmente por carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, enxofre e fósforo. Essa composição não pode ser bem definida devido a diversidade de resíduos orgânicos que participam da formação do húmus (Raij, 1981).

Sabe-se que a MO exerce grande influência sobre as características químicas, físicas e biológicas dos solos. A MO atua diretamente sobre a fertilidade do solo por ser fonte de macronutrientes (particularmente N, S e P) e micronutrientes, como também indiretamente, na disponibilidade dos nutrientes, por meio da sua grande participação na capacidade de troca catiônica (CTC), principalmente em se tratando de solos tropicais. Do ponto de vista físico, a MO melhora a estrutura do solo, aumenta a capacidade de retenção e circulação de água e ar, permitindo maior penetração e distribuição das raízes, além de diminuir as perdas de solo por erosão. A MO é ainda fonte de energia para os microrganismos heterotróficos do solo (Raij, 1981; Malavolta, 1993, 2006; Silva & Mendonça, 2007).

Diversos trabalhos, citados por Prado & Nascimento (2003), evidenciam a importância da adubação química associada à adição de composto orgânico, no incremento de produtividade do cafeeiro. No entanto, são escassos os trabalhos correlacionando teores de MO com produtividade do cafeeiro.

De uma forma geral, sem especificação para determinada cultura, a Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG (Ribeiro et al., 1999) afirma que o nível crítico para MO no solo é de 4,00 dag/kg, e que, valores superiores a 7,00 dag/kg são classificados como “Muito bom”. Entre estes valores está a classe considerada como “Bom”.

Segundo Guimarães & Lopes (1986), um solo ideal para a cultura do cafeeiro deveria ter, em volume, ao redor de 50% de porosidade, 45% de substância mineral e 5% de MO.

Segundo Matiello (1991), em solos arenosos o teor adequado de MO é de 2 dag/kg, enquanto em solos argilosos, a riqueza em MO ocorre em teores superiores a 5 dag/kg.

Malavolta (1996) expõe as características químicas do solo consideradas adequadas ao cafeeiro, de modo que, para MO, 2 a 3 dag/kg é considerado um valor adequado para um solo de textura argilosa.

### **2.3 - ACIDEZ DO SOLO (pH) e ALUMÍNIO**

A acidez do solo refere-se a sua capacidade de liberar prótons, passando de um determinado estado a outro em relação a um estado de referência (Jackson, 1963). Geralmente estes estados são especificados em termos de pH.

De modo geral, os solos onde está implantada a cultura do café no Brasil são naturalmente ácidos, devido à própria pobreza em bases do material de origem, ou a remoção por meio da lixiviação de elementos básicos como K, Ca, Mg, Na, etc. Além disso, os solos podem ter sua acidez aumentada por cultivos e adubações, sobretudo as adubações nitrogenadas com sulfato de amônio, nitrato de amônio e uréia, que durante a sua transformação no solo (por microrganismos, no fenômeno chamado de nitrificação), geram  $H^+$  (Raij, 1981; Malavolta, 1993; Prado & Nascimento, 2003). O próprio processo de absorção de cátions ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  principalmente) da solução do solo, pelas raízes da planta, promove a acidificação do meio graças a liberação de íons  $H^+$ , num processo de “troca” (Malavolta, 1993).

Os efeitos do pH são descritos como diretos e indiretos. O efeito direto é aquele exercido sobre a permeabilidade da membrana das células, o que pode ocasionar extravazamento de elementos previamente absorvidos. O efeito indireto está relacionado com efeito do pH sobre a disponibilidade dos elementos. Na faixa de pH entre 6,0 e 7,0, a disponibilidade de todos os elementos ou é máxima (N, P, K, Ca, Mg, S) ou não é mínima (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn) (Malavolta, 2006).

De acordo com a CFSEMG (Ribeiro *et al.*, 1999), as classes agronômicas de interpretação da acidez ativa do solo (pH) são as seguintes: menor que 4,5, muito baixo; 4,5 – 5,4, baixo; 5,5 – 6,0, bom; 6,1 – 7,0, alto e maior que 7,0, muito alto. A classe agronômica “bom” é tida como adequada, enquanto as demais, como inadequadas.

Segundo Kupper (1983), o pH apresenta uma boa correlação com a saturação em bases e portanto pode indicar a disponibilidade de nutrientes, sendo que, em solos minerais, a maior disponibilidade de todos os nutrientes estaria na faixa de pH 6,0 a 6,5. Ainda segundo Kupper (1983), admite-se que o cafeeiro se desenvolva bem em solo com pH entre 5,0 e 6,5.

Em condições de acidez elevada do solo, surge em solução o Al, na forma de  $Al^{3+}$ , através da dissolução de minerais, principalmente minerais de argila e óxidos de alumínio. Portanto, o  $Al^{3+}$  é consequência da acidez dos solos (Raij, 1981).

O Al não é um elemento essencial para o crescimento das plantas, mas em baixas concentrações, é considerado em alguns casos, um elemento benéfico (Hewitt & Smitt, 1975; Marschner, 1995) ou estimulante (Bellote, 1990 - crescimento de eucalipto; Foy, 1984 - aumento de crescimento e outros efeitos desejáveis em arroz,

leguminosas tropicais, eucalipto, chá, pessegueiro, beterraba, milho e trigo) (citados por Malavolta, 2006).

De um modo geral, porém, o Al é considerado como tóxico para as plantas, sendo o seu excesso o principal responsável pela infertilidade dos solos ácidos (Malavolta, 2006; Souza et al., 2007).

Segundo Matiello (1991), o  $Al^{3+}$  acha-se disponível no solo em pH inferior a 5,6. Acima de 0,3 a 0,5 meq/100g ( $cmol_c/dm^3$ ), ele é tóxico e prejudicial ao cafeeiro. No entanto, o mesmo autor salienta que os teores de  $Al^{3+}$  devem ser considerados em função do pH, das bases (K, Ca e Mg), da CTC do solo e do estágio da cultura.

Mendonça et al., (2007), avaliaram, no campo, o desenvolvimento de algumas variedades de *Coffea arabica* previamente classificadas quanto à sensibilidade ao Al. Em geral, saturações de alumínio da ordem de 30% na camada superficial do solo (0-20 cm) não prejudicaram o desenvolvimento de raízes e parte aérea das variedades estudadas.

A CFSEMG (Ribeiro et al., 1999) salienta que faltam no Estado mais pesquisas de calibração que indiquem, com maior especificidade para solos de Minas Gerais, quais são os valores de  $m_t$  (máxima saturação por  $Al^{3+}$  tolerada) que devem ser considerados no método de cálculo da necessidade de calagem por meio correção da toxidez de  $Al^{3+}$  e da exigência de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ . Por este método, a CFSEMG (Ribeiro et al., 1999) considera para o cálculo da calagem, para café, um valor máximo de  $m_t$  igual 25%.

A correção dos teores de  $Al^{3+}$  em profundidade, geralmente 20 – 40 cm é feita por meio da gessagem. Um dos critérios para recomendação de aplicação de gesso agrícola utilizado pela CFSEMG (Ribeiro et al., 1999) é que o teor de  $Al^{3+}$  na camada subsuperficial seja superior a  $0,5\text{ cmol}_c/dm^3$  de  $Al^{3+}$  e/ou 30% de saturação por  $Al^{3+}$ . Já Raij et al., (1996) utiliza como critério para aplicação de gesso valor de saturação por  $Al^{3+}$  acima de 50%, na camada de solo de 20 – 40 cm de profundidade.

## 2.4 - FÓSFORO

Em termos quantitativos, o fósforo (P) é o macronutriente menos exigido pelo cafeeiro em produção (Malavolta, 1993).

Lopes et *al.*, (2004), afirma que, entre os vários nutrientes que as plantas necessitam para a produção, o P ocupa lugar de destaque, devido à sua deficiência generalizada na grande maioria dos solos brasileiros.

O cafeeiro apresenta uma elevada capacidade de extração de P do solo, não sendo por isso, muito frequentes boas respostas nos experimentos de campo ao emprego desse nutriente, a não ser em solos muito deficientes (Malavolta, 1986).

A deficiência de P em cafeeiro aparece primeiro em folhas mais velhas, as quais se mostram verdes e sem brilho. Estas folhas podem amarelar e apresentar grandes manchas pardas ou violáceas na ponta e no meio. Há queda prematura de folhas, redução do pegamento de flores, maturação antecipada dos frutos e menor desenvolvimento de raízes. Assim, a deficiência de fósforo manifesta-se não apenas nas folhas, mas em diversos órgãos da planta (Bataglia, 2004).

A Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG (Ribeiro et *al.*, 1999) classifica como muito bons, para uma lavoura em produção, os teores de P no solo superiores a 9,0 mg/dm<sup>3</sup>, 13,5 mg/dm<sup>3</sup>, 22,5 mg/dm<sup>3</sup> e 33,8 mg/dm<sup>3</sup> para solos de textura muito argilosa, argilosa, média e arenosa respectivamente.

Pavan et *al.*, (1986), estudaram diversos nutrientes e sua relação com a produção do cafeeiro. Considerando o P, a maior produção esteve associada ao teor de 10 mg/dm<sup>3</sup>. Já Matiello et *al.*, (2005), classifica como altos, valores de P disponível maiores que 50 mg/dm<sup>3</sup> no solo.

## **2.5 - BASES**

### **2.5.1 - SATURAÇÃO POR BASES**

Acredita-se que uma saturação por bases (V) ao redor de 40% deve ser o valor mínimo para dar condições às raízes das plantas de absorver facilmente os nutrientes. Uma V de 60% pode ser considerada ideal e deve ser a meta para manter uma alta produtividade (Kupper, 1983).

O valor de V igual a 60% vem sendo considerado como adequado para a cultura do cafeeiro (Ribeiro et *al.*, 1999). Entretanto, poucos trabalhos são encontrados na literatura nos quais se correlaciona esse valor com a produção e a nutrição do cafeeiro.

Para o cálculo da calagem para o cafeeiro no estado de São Paulo, Raij *et al.*, (1996) consideram que a V deve ser elevada a 50%.

Malavolta (2006) enfatiza que, nem sempre, alta produtividade está relacionada com V alta. Segundo o autor em uma plantação de cerca de 1.500 hectares do Sul de MG, que apresentou uma média de produtividade de 60 sacas/ha, a média de V foi de 34,9%, com um desvio padrão de 11,7. O Índice de Saturação por Bases do solo nesse caso se mostrou muito abaixo do que se considera, ou se considerava, melhor para o cafeeiro.

### **2.5.2 - POTÁSSIO**

O potássio (K) é o segundo nutriente exigido em maior quantidade, depois do N, para a cultura do cafeeiro. É o primeiro quando se analisa a exportação de macronutrientes pela planta ( $K > N > Ca > Mg = S > P$ ). Isto se deve principalmente a sua maior concentração nos frutos (Malavolta, 1993). Tal comportamento, além de sua constante associação com a produtividade e qualidade dos grãos, evidencia a importância deste nutriente para o cafeeiro.

Na planta, o K desempenha inúmeras funções, ainda que não seja metabolizado. Atua na ativação de complexos enzimáticos, muitos destes envolvidos com processos fotossintéticos e respiratórios. Participa da síntese de carboidratos, proteínas e adenosina trifosfato (ATP). Desempenha importante papel na osmorregulação, contribuindo significativamente em processos essenciais à planta, tais como extensão celular e movimento estomático. Participa, com bastante eficiência, do transporte de sacarose e outros solutos no floema, além de exercer importante função no balanço cátion-ânion no citoplasma das células (Marschner, 1995). A deficiência de K normalmente reduz o tamanho dos internódios, a dominância apical e o crescimento das plantas, retarda a frutificação e origina frutos com menor tamanho. Como o K é um nutriente móvel no floema, os sintomas de deficiência, normalmente, são caracterizados por clorose nas bordas das folhas seguida de necrose, inicialmente nas folhas mais velhas das plantas (Ernani *et al.*, 2007).

Nas condições tropicais, com predomínio de chuvas intensas, e de solos com baixa CTC, as grandes perdas de K são atribuídas à lixiviação e ao escoamento superficial das águas. Solos expostos ao cultivo podem até ter inicialmente uma

grande capacidade de suprimento de K, mas, em cultivos sucessivos, ao longo do tempo, este nutriente é exaurido pelas colheitas, lixiviação e erosão (Nogueira *et al.*, 2001).

De acordo com a CFSEMG (Ribeiro *et al.*, 1999), o teor de K no solo é classificado da seguinte forma: menor que 60 (baixo), de 60 a 120 (médio), de 120 a 200 (bom) e maior que 200 mg/dm<sup>3</sup> (muito bom), respectivamente.

Malavolta (1986) afirma que a faixa adequada de K disponível no solo para cafeeiro é de 117 a 156 mg/dm<sup>3</sup>.

Silva *et al.*, 2001, conduziram dois experimento (um sobre Latossolo Roxo (LR) no município de São Sebastião do Paraíso (MG) e o outro sobre Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) no município de Patrocínio (MG)) em cafezais da cultivar Catuaí Vermelho com 6 anos de idade, espaçamento 3,5 x 0,7m, com o objetivo de estimar as faixas críticas de K e S no solo, em função de doses de três fontes de K. As faixas críticas para o cafeeiro, correspondentes a 90-100% da produção máxima no solo, foram de 83,9 - 152,6 mg/dm<sup>3</sup> para o K.

Garcia *et al.*, (2003), por sua vez, realizaram um trabalho em novembro de 1997 na Fazenda Experimental do MAPA/PROCAFÉ, em Varginha, MG, em Latossolo Vermelho Escuro usando a cultivar Mundo Novo LCMP 376/4, de 6 anos de idade, em espaçamento de 3x1m, com o objetivo de determinar o índice ideal de K no solo para nutrição adequada do cafeeiro em produção. Teores próximos a 60 mg/dm<sup>3</sup> de K no solo, ou 1,0% de K na CTC, foram suficientes para atender a demanda do cafeeiro para produtividades de até 60 sacas/ha.

Oliveira & Pereira (1987) obtiveram a maior produtividade (32 sacas/ha) com aplicação de 200 kg/ha de K na forma de KCl com a cultivar Catuaí Amarelo em LV, com um teor de K de 40 mg/dm<sup>3</sup> na análise de solo inicial, no município de Caratinga, Minas Gerais, o que é considerado baixo de acordo com Ribeiro *et al.*, (1999).

### **2.5.3 - CÁLCIO E MAGNÉSIO**

As principais fontes de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no solo são os minerais das rochas sedimentares, eruptivas e metamórficas. As duas rochas mais importantes, para essa finalidade, são o calcário e a dolomita, de origem sedimentar, formadas

respectivamente pela calcita (carbonato de cálcio,  $\text{CaCO}_3$ ) e pela dolomita (carbonato duplo de cálcio e magnésio,  $\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$ ) (Malavolta, 2006).

Ca e Mg representam os 3º e 4º nutrientes mais exigidos pelo cafeeiro em produção (Garcia, 1983).

O Ca é absorvido pelas plantas como  $\text{Ca}^{2+}$  e atua como elemento estrutural nas paredes celulares, sendo essencial na regulação da permeabilidade da membrana e na resistência das paredes celulares (Martinez et al., 2007). O sintoma de deficiência inicia-se nas folhas mais novas com uma clorose que caminha das margens para o centro, que permanece verde (Malavolta, 1993). Com o tempo essas folhas vão se tornando esbranquiçadas, permanecendo somente com a nervura central verde, à medida que vai progredindo a deficiência, além de esbranquiçadas, aparecem áreas necróticas. Assim, haverá morte dos ramos e das extremidades das raízes, tornando o cafeeiro mais sensível ao déficit hídrico. Pode ainda haver desfolha e seca generalizada dos ramos (Andrade, 2001).

O Mg é absorvido pelas plantas na forma de  $\text{Mg}^{2+}$ . É o elemento central da clorofila, indispensável, portanto, na fotossíntese. É muito importante no metabolismo de carboidratos, estando presente em quase todas as enzimas de fosforilação. Além disso, o Mg é necessário para manter a integridade estrutural dos ribossomos (Martinez et al., 2007). Sua deficiência é marcada pelo amarelecimento ou clorose entre as nervuras secundárias em folhas mais velhas. Essa coloração amarela torna-se pardacenta posteriormente, podendo a deficiência progredir para folhas mais novas (Malavolta, 1993; Andrade, 2001).

Garcia, (1993), em 1977, avaliando em alguns experimentos, o uso de Ca e Mg para o café, concluiu que a disponibilidade de Ca e Mg no solo é essencial, tanto quanto sua relação. Um solo com baixo teor desses elementos pode promover uma maior produção do cafeeiro, quando comparado a outro que tenha teor alto, porém desequilibrado. Tal fato, torna indispensável conhecer os teores de Ca e Mg separados nas análises de solo, a fim de adicionar produtos que venham a estabelecer o equilíbrio desejado.

Malavolta (1981), em sua primeira tentativa de determinar algumas características químicas do solo que poderiam ser consideradas como adequadas para o cafeeiro, inferiu que, para Ca e Mg as faixas adequadas seriam, 3-4  $\text{cmol}/\text{dm}^3$  e 0,6-1,0  $\text{cmol}/\text{dm}^3$ , respectivamente.

A CFSEMG (Ribeiro et al., 1999) interpreta as classes de fertilidade do solo para  $\text{Ca}^{2+}$  ( $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ ) da seguinte forma: menor ou igual a 0,4 (Muito baixo); 0,41 – 1,20 (Baixo); 1,21 – 2,40 (Médio); 2,41 – 4,00 (Bom) e maior 4,00 (Muito bom). Para  $\text{Mg}^{2+}$  ( $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ ): menor ou igual a 0,15 (Muito baixo); 0,16 – 0,45 (Baixo); 0,46 – 0,90 (Médio); 0,91 – 1,50 (Bom) e maior 1,5 (Muito bom); e considera como nível crítico (NC) 2,4  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  e 0,9  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  para  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , respectivamente. É bom salientar que esta interpretação é genérica, não havendo especificidade para determinada cultura.

A CFSEMG (Ribeiro et al., 1999) considera para o cálculo da calagem para as diferentes culturas, pelo método da neutralização do  $\text{Al}^{3+}$  e da elevação dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , um teor mínimo (X) desses nutrientes (Ca + Mg). Para o cafeeiro, esse valor “X” corresponde a 3,5  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ . Portanto, considera-se a soma dos teores desses dois nutrientes.

Em um experimento com lavouras de café adensadas, no CEPEC – Heringer, em Martins Soares, Matiello et al., (2004), avaliaram o efeito do suprimento de K no desequilíbrio nutricional do solo, em lavouras cafeeiras, e concluíram que os teores de Ca e Mg no solo que corresponderam a maior produtividade (65,6 sc/ha) foram, respectivamente, 2,0 e 0,6  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ .

A interpretação do teor de  $\text{Ca}^{2+}$  em subsuperfície (20 – 40 cm) é a mesma para os estados de São Paulo e Minas Gerais (Raij et al., 1996 e Ribeiro et al., 1999). Ambos consideram o teor de  $\text{Ca}^{2+}$  inferior a 0,4  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  como condição desfavorável ao desenvolvimento radicular, tanto que esse é um dos critérios utilizados para aplicação de gesso agrícola.

## 2.6 - CHANCE MATEMÁTICA

O diagnóstico nutricional de uma planta e/ou lavoura depende de valores de referência, geralmente estabelecidos em experimentos de calibração, em ambientes controlados (Bhargava & Chadha, 1988), devendo ser aplicados na avaliação de espécies cultivadas sob as mesmas condições do ensaio, o que torna a identificação do estado nutricional muito restrita (Wadt et al., 1998b). Desse modo, uma alternativa prática e eficiente seria o uso de informações nutricionais associadas à respectiva produtividade de várias lavouras comerciais de uma determinada região e,

com estes dados obter-se valores de referência baseados em lavouras de alta produtividade (Beaufils, 1973).

Segundo Corrêa *et al.* (2007), em experimentos realizados em campo, existem muitas variáveis que não podem ser controladas e por isso ajustes de modelos matemáticos relativamente baixos são aceitáveis.

Um dos procedimentos que tem sido utilizado como alternativa aos experimentos de calibração é o uso de métodos, tal como a Chance Matemática (ChM) para obter padrões de diagnose do estado nutricional (Wadt *et al.*, 1998b).

De acordo com Wadt *et al.*, (1996), o Método da Chance Matemática consiste numa ferramenta de análise de dados cujo principal objetivo é determinar a faixa de valores de um dado fator, interno ou externo à planta, em que se espera obter a máxima produtividade. Essa faixa correspondente à máxima produtividade potencial denomina-se faixa ótima. A partir dessa faixa ótima é possível inferir sobre o nível ótimo do fator em estudo, que corresponde à mediana da faixa ótima.

Na determinação do nível ótimo pelo método convencional faz-se o uso de ensaios de calibração em que, tanto quanto possível, o fator em estudo é feito variável e os demais são mantidos constantes. Com o Método da Chance Matemática, as exigências de controle experimental podem ser ignoradas, desde que haja uma quantidade relativamente grande de informações sobre o fator a ser analisado. Esse método exige que se trabalhe com grande número de amostras, de forma que a frequência possa ser aproximada à probabilidade (Wadt *et al.*, 1998a).

Este método não evita todas as limitações decorrentes de um método de diagnose univariado. Contudo, permite a determinação de faixas de suficiência (correspondente às classes de teores com maior chance matemática) e níveis ótimos (mediana da faixa ótima) sem a necessidade de instalação e condução de uma rede de experimentos de adubação. Dependendo da quantidade de informações disponíveis no banco de dados, podem-se estabelecer valores padrão específicos para potenciais de produtividade (Wadt, 1996).

A vantagem do método da Chance Matemática segundo Wadt (1996) está na possibilidade de utilizar dados oriundos de condições de campo (lavouras comerciais) e não apenas de ensaios controlados. Portanto, os valores padrão podem ser constantemente reavaliados toda vez que é feita uma avaliação no campo e novas

informações são agregadas ao conjunto de dados usado para determinação da faixa ótima.

A desvantagem associada à esse método apresenta-se em situações em que surgem outras classes, além da classe que apresenta a maior ChM (que determina a faixa ótima), com elevado valor de ChM, e que não podem ser simplesmente ignoradas.

Uma possibilidade para se contornar essa limitação do método da ChM, seria trabalhar não com uma faixa ótima, e sim com faixas de suficiência. Estas, seriam provenientes de um ajuste matemático entre o valores médios das faixas contidas em cada classe “i” e sua respectiva ChM do qual resultaria uma curva de tendência. O nível ótimo seria representado pelo ponto de máximo da linha de tendência do ajuste matemático.

### **3 - MATERIAL E MÉTODOS**

As amostragens de solo foram realizadas em cafezais das regiões de Manhuaçu, Viçosa, Patrocínio, São Sebastião do Paraíso e Guaxupé entre 1996 e 1999, compreendendo três biênios, 96/97, 97/98 e 98/99. As coletas foram realizadas quando as plantas se encontravam nas fases fenológicas entre florescimento e chumbinho, com pelo menos um mês de intervalo após eventuais adubações ou pulverizações. Para a retirada das amostras contou-se com o auxílio das cooperativas (COOXUPÉ E COOPARAÍSO), da EPAMIG, da Heringer e da EMATER-MG (Manhuaçu e Manhumirim). Em Viçosa foram amostradas 41 lavouras, em Manhuaçu 36, em São Sebastião do Paraíso 17, Guaxupé 30 e Patrocínio 44 lavouras, totalizando 168 unidades amostrais (UA) nas cinco regiões referidas.

As análises físicas e químicas foram realizadas no laboratório de análises de rotina do Departamento de Solos da UFV.

Em decorrência de algumas discrepâncias de dados ou ausência de informações, foram descartadas algumas UA de modo que o seu total reduziu-se para 156.

Devido à bienalidade de produção da cultura do café, foram consideradas para efeito de avaliação, em cada UA, os dados da análise química do solo referente ao ano agrícola que apresentou maior produtividade, partindo-se da premissa de que plantas mais produtivas estão sob condições ótimas de produção, inclusive quanto a

nutrição balanceada e equilibrada.

Foram amostrados talhões homogêneos de 0,5 a 1,0 hectare (UA) considerando-se o padrão médio quanto à forma de cultivo e população de plantas por hectare. Foram considerados somente talhões cultivados em sistema de sequeiro, portanto sem o uso de sistema de irrigação. Para cada UA foi preenchido um questionário de informações sobre histórico e produtividade.

As UA foram estabelecidas em talhões de no mínimo 5 anos de idade, sem queda de ramos baixeiros (“saia”), homogêneos quanto a tipo de solo, cultivar (Catuaí), práticas de adubação, correção, controle de doenças, densidade de plantio (três a cinco mil plantas por hectare) e declividade do terreno, e com registro da produtividade nas últimas duas ou três safras.

Ao produtor foi solicitado colher separadamente a UA e anotar sua produtividade nas duas safras posteriores.

As amostras de solo foram retiradas sob a copa, no local onde geralmente se fazem as adubações. Foram coletadas amostras nas camadas 0-5, 5-20 e 20-50 cm. Cada amostra foi composta de 20 sub-amostras, coletadas em 20 pontos diferentes da UA. Após a homogeneização das sub-amostras, uma porção de aproximadamente 0,5 kg do material devidamente identificado, e acondicionado em saco plástico foi enviado ao laboratório para caracterização química e física.

Para a caracterização física e química das amostras de solo foram determinados na terra fina seca ao ar (TFSA): análise textural pelo método da pipeta, com dispersão em NaOH 0,5 mol/L; pH em H<sub>2</sub>O, relação solo:solução de 1:2,5; carbono orgânico pelo método Walkley e Black; Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Na<sup>+</sup> usando o extrator KCl 1 mol/L; P, K, Cu, Zn, Mn e Fe empregando o extrator Mehlich-1 (Defelipo & Ribeiro, 1981); B extraído por água quente; e H + Al pelo extrator acetato de cálcio 0,5 mol/L a pH 7,0.

Os resultados destas análises foram tabulados juntamente com o histórico de cada parcela (propriedade rural), bem como os dados de produtividade de café beneficiado.

Os teores na camada 0-20 cm foram obtidos por meio da média ponderada dos valores obtidos para as camadas 0-5 e 5-20 cm. Para este trabalho, foram considerados os seguintes caracteres químicos e físico-químicos informados na análise de solo, pH, Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K, V, P e MO (considerados fatores de

produção). Esses fatores de produção foram pareados para efeito de modelagem de dados, cada um à produtividade apresentada no respectivo talhão amostrado.

Em seguida, para cada nutriente, foi determinada a amplitude (A) do teor e calculado o número de classes possíveis (I) com base no tamanho da amostra (n), em que  $I = \sqrt{n}$ , sendo que  $5 \leq I \leq 15$ . O quociente entre A e I resulta no comprimento de cada intervalo de classe ( $IC = A/I$ ).

Partindo da informação de que a produtividade média geral (do ano de alta produtividade) das lavouras avaliadas foi de 45,86 sacas/ha, adotou-se como critério para o trabalho que lavouras de alta produtividade seriam todas aquelas que apresentassem produtividade  $\geq 45,0$  sacas/ha na média do biênio considerado.

Calculou-se a Chance Matemática para cada classe “i” de teor do fator de produção em estudo, segundo Wadt (1996):

$$ChMi = \{ [P(Ai/A) \cdot PRODi] \cdot [P(Ai/Ni) \cdot PRODi] \}^{0,5}$$

Onde,

ChMi = chance matemática na classe “i”;

$P(Ai/A)$  = frequência de talhões de alta produtividade na classe “i”, em relação ao total geral de talhões de alta produtividade ( $A = \sum Ai$ );

$P(Ai/Ni)$  = frequência de talhões de alta produtividade na classe “i”, em relação ao total de talhões da classe “i”;

PRODi = produtividade média dos talhões de alta produtividade, na classe “i”.

Para obtenção da Chance Matemática Relativa (ChMR) atribuiu-se, em cada caso, o valor 100% ao maior valor de ChM.

Os cálculos descritos acima, inclusive os referentes ao método da Chance Matemática, foram realizados por meio de um software<sup>1</sup> desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa.

De posse dos resultados de ChMR realizou-se o ajuste matemático entre o valor médio do fator de produção de cada classe “i” (TM) e sua respectiva ChMR, gerando uma equação e uma curva de tendência. Com base no maior valor estimado (considerado o nível ótimo) estimaram-se as faixas de suficiência conforme o

---

<sup>1</sup> Neves, J. C. L.; Professor DPS-UFV; Comunicação pessoal

explicitado na Tabela 1.

Tabela 1. Faixas de suficiência para determinado fator de produção no solo sob lavouras de café de alta produtividade em Minas Gerais

| <b>ChMR estimada da produtividade (%)</b> | <b>Faixas de suficiência</b> |
|---|------------------------------|
| < 50%                                     | Muito baixa                  |
| 50 – 70                                   | Baixa                        |
| 70 – 90                                   | Média                        |
| 90 – 100                                  | Boa                          |
| 100 – 90                                  | Alta                         |
| > 90%                                     | Muito alta (excessivo)       |

Para a realização do ajuste matemático dos dados (TM e ChMR) e seus respectivos gráficos, foi utilizado o programa CurveExpert 1.3.

## **4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 - MATÉRIA ORGÂNICA**

Na Tabela 2 estão apresentados os dados referentes à análise pelo método da chance matemática para matéria orgânica (MO) na camada de 0-20 cm do solo. Das 156 lavouras avaliadas, 73 são lavouras de alta produtividade, conforme critério adotado neste trabalho, ou seja, apresentaram produtividade superior a 45 sacas/ha na média do biênio considerado.

O modelo apresentado na figura 1 foi o que melhor se ajustou aos dados, apesar de apresentar um coeficiente de correlação não muito expressivo. Cabe salientar a esse respeito, que os dados são provenientes de condições de campo, sem nenhum tipo de controle experimental, refletindo a condição real de cultivo.

Tabela 2 - Valores de Chance Matemática Relativa (ChMR<sub>i</sub>) estabelecidos para as diferentes classes de frequências “i” de distribuição de teores de MO em amostras de solo coletadas a 0-20 cm, sob a cultura do café em Minas Gerais<sup>1</sup>

| Classe | LI<br>dag/kg | LS<br>dag/kg | Ni  | Ai | P(Ai/A) | P(Ai/Ni) | PRODi<br>sc/ha | ChM<br>sc/ha | TM<br>dag/kg | ChMR<br>% |
|--------|--------------|--------------|-----|----|---------|----------|----------------|--------------|--------------|-----------|
| 1      | 0,9          | 1,7          | 13  | 6  | 0,082   | 0,462    | 65,570         | 12,771       | 1,3          | 50,977    |
| 2      | 1,7          | 2,5          | 21  | 6  | 0,082   | 0,286    | 50,468         | 7,734        | 2,1          | 30,871    |
| 3      | 2,5          | 3,3          | 31  | 12 | 0,164   | 0,387    | 60,954         | 15,376       | 2,9          | 61,375    |
| 4      | 3,3          | 4,1          | 38  | 19 | 0,260   | 0,500    | 60,724         | 21,906       | 3,7          | 87,440    |
| 5      | 4,1          | 4,9          | 27  | 15 | 0,205   | 0,556    | 74,148         | 25,052       | 4,5          | 100,000   |
| 6      | 4,9          | 5,7          | 8   | 4  | 0,055   | 0,500    | 65,975         | 10,920       | 5,3          | 43,590    |
| 7      | 5,7          | 6,5          | 11  | 5  | 0,068   | 0,455    | 66,540         | 11,741       | 6,1          | 46,865    |
| 8      | 6,5          | 7,3          | 2   | 2  | 0,027   | 1,000    | 83,850         | 13,879       | 6,9          | 55,400    |
| 9      | 7,3          | 8,1          | 2   | 1  | 0,014   | 0,500    | 52,300         | 4,328        | 7,7          | 17,277    |
| 10     | 8,1          | 9,0          | 2   | 2  | 0,027   | 1,000    | 85,750         | 14,193       | 8,5          | 56,655    |
| 11     | 10,6         | 11,4         | 1   | 1  | 0,014   | 1,000    | 111,100        | 13,003       | 11,0         | 51,905    |
| Total  |              |              | 156 | 73 |         |          |                |              |              |           |

<sup>1</sup> Em cada classe de frequência, LI = limite inferior; LS = limite superior; Ni = número de amostras; Ai = número de amostras de alta produtividade; P(Ai/A) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões de alta produtividade ( $A = \sum A_i$ ); P(Ai/Ni) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões da classe i; PRODi = produtividade média dos talhões de alta produtividade; ChM = chance matemática; TM = teor médio da faixa de cada classe.

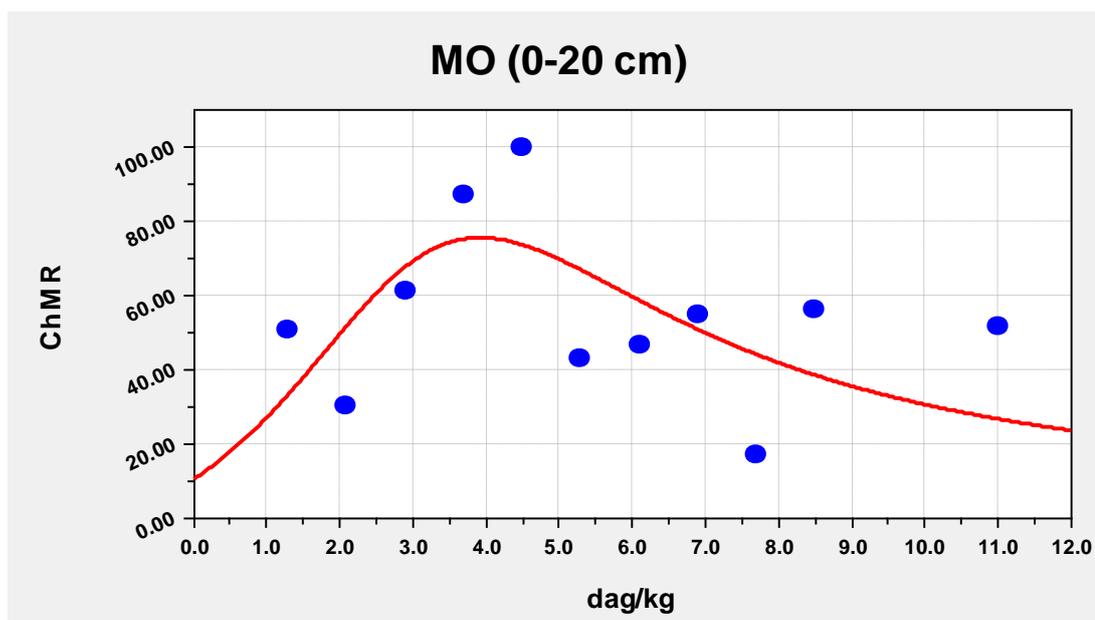


Figura 1 – Chance Matemática Relativa (ChMR) da produtividade de café no estado de Minas Gerais em função do teor de MO no solo.

Modelo: Rational Function;  $\hat{y} = \frac{10,6310 + 9,6338 x}{1 - 0,3107 x + 0,0557 x^2}$ ;  $r = 0,50$

As faixas de suficiência calculadas a partir do ajuste matemático são apresentadas na Tabela 3. O maior valor estimado pelo ajuste matemático, ou seja, o ponto de máximo da curva, que nesse caso foi 4,0 dag/kg, corresponde ao nível

ótimo de MO no solo para lavouras de café de alta produtividade. A partir desse valor tem-se as faixas de suficiência para MO.

Tabela 3 – Faixas de suficiência para MO no solo (0-20 cm) sob lavouras de café de alta produtividade em Minas Gerais

| <b>ChMR estimada da produtividade (%)</b> | <b>Teor de MO (dag/kg)</b> | <b>Faixas de suficiência</b> |
|---|----------------------------|------------------------------|
| < 50%                                     | < 2,0                      | Muito baixa                  |
| 50 – 70                                   | 2,0 – 2,5                  | Baixa                        |
| 70 – 90                                   | 2,5 – 3,2                  | Média                        |
| 90 – 100                                  | 3,2 – 4,0                  | Boa                          |
| 100 – 90                                  | 4,0 – 5,0                  | Alta                         |
| > 90%                                     | > 5,0                      | Muito alta (excessivo)       |

A classe 5 (Tabela 2) apresentou a maior ChMR, o que de acordo com método da chance matemática, indicaria como faixa ótima para MO na camada de solo de 0 a 20 cm os valores compreendidos entre 4,1 e 4,9%. No entanto a classe 4 apresentou uma ChMR elevada, o que gera certa dificuldade para definir o limite inferior da faixa ótima e atesta a superioridade do ajuste de um modelo matemático considerando o teor médio (TM) de cada classe<sub>i</sub> como variável das respectivas ChMR como critério de estabelecimento das faixas de suficiência.

A faixa de suficiência obtida neste trabalho tida como boa para o teor de MO difere daquela considerada pela CFSEMG (Ribeiro et al., 1999) que corresponde a valores entre 4,0 e 7,0 dag/kg. Vale ressaltar que a classificação apresentada para MO pela CFSEMG é genérica, não sendo específica para cultura do café. O nível crítico para MO considerado por essa mesma Comissão corresponde ao nível ótimo encontrado neste trabalho, que foi de 4,0 dag/kg. Este é um valor superior ao que Malavolta (1996) considera adequado para o cafeeiro, situado em um solo de textura argilosa, que é de 2,0 a 3,0 dag/kg de MO. E inferior ao considerado ideal para cultura do café por Guimarães & Lopes (1986), que é de 5,0 dag/kg de MO.

A importância da MO no solo para obtenção de boas produtividades na cultura do café pode estar relacionado, além das melhorias físicas e biológicas do solo mencionadas na literatura, também a melhorias químicas, por atuar diretamente na fertilidade do solo, disponibilizando nutrientes, em especial, N, S e P. De acordo

com Malavolta (1996) o N é o nutriente mais exigido pelo cafeeiro e, em geral, cerca de 20 a 30 kg de N por hectare são liberados anualmente para cada 1 dag/kg de matéria orgânica contida no solo. Indiretamente a MO aumenta a CTC, necessária à reserva e disponibilização de bases importantes para manutenção e produtividade do cafeeiro, como K, Ca e Mg. Empregando os mesmos dados utilizados neste trabalho, Martinez et al (2004) estabeleceram regressões múltiplas entre a produtividade das lavouras e as características químicas e físico-químicas dos solos das regiões estudadas. Os modelos obtidos apresentaram baixa capacidade preditiva da produtividade (em torno de 50%), mas a participação da matéria orgânica, com coeficientes positivos, relativamente elevados e altamente significativos destacou-se nos modelos obtidos para Viçosa, Manhuaçu e Guaxupé.

O modelo apresentado na figura 1 mostra que após atingir um valor máximo (nível ótimo), a ChMR de encontrar lavouras de alta produtividade decresce. Esse comportamento não corrobora, pelo menos para café em produção, com a classificação “Muito bom” utilizada pela CFSEMG (Ribeiro et al., 1999) para classificar valores superiores a 7,0 dag/kg de MO no solo. De acordo com apresentado neste trabalho (Tabela 3), esses valores tidos como muito bons pela CFSEMG (Ribeiro et al., 1999), na verdade, são excessivos. Isso pode estar relacionado entre outros fatores, à deficiência de micronutrientes provocada por um provável “excesso” de MO.

Fageria et al., (2002) , afirmam que a MO, mesmo sendo fonte, pode afetar negativamente a disponibilidade de zinco (Zn) devido a formação de complexos orgânicos insolúveis que reduzem sua disponibilidade e pela imobilização na biomassa exercida por microorganismos do solo.

A maior parte do cobre (Cu) está ligado à MO, mediante adsorção específica e muito energética (alta estabilidade) o que resulta em pouco movimento desse elemento no solo. A deficiência desse elemento é mais comum em solos arenosos (pobres) e nos ricos em MO (Malavolta, 2006).

A carência de manganês (Mn) pode ser consequência de calagem excessiva ou de muita MO no solo, a qual o complexa, ainda que menos fortemente que Cu, Fe e Zn (Malavolta, 1993).

É importante salientar que a MO é importante fonte de nutrientes no solo, em particular, N, P, S e B (Malavolta, 1993). Provavelmente, a questão que parece

necessário abordar é que, a partir de determinado teor, a MO pode exercer um maior efeito imobilizador do que mineralizador, ou seja, reter mais do que disponibilizar nutrientes para solução do solo e conseqüentemente para as plantas.

Na Tabela 4 estão apresentados os dados referentes a análise da chance matemática para MO na camada de 20-50 cm, na figura 2 a representação gráfica da equação que melhor se ajustou aos dados de TM em função da ChMR e na Tabela 5 as faixas de suficiência obtidas considerando-se os teores de matéria orgânica na camada de 20-50 cm.

Tabela 4 - Valores de Chance Matemática Relativa (ChMR<sub>i</sub>) estabelecidos para as diferentes classes de frequências “i” de distribuição de teores de MO em amostras de solo coletadas a 20-50 cm, sob a cultura do café em Minas Gerais<sup>1</sup>

| Classe | LI     | LS  | Ni  | Ai | P(Ai/A) | P(Ai/Ni) | PRODi   | ChM    | TM     | ChMR    |
|--------|--------|-----|-----|----|---------|----------|---------|--------|--------|---------|
|        | dag/kg |     |     |    |         |          | sc/ha   | sc/ha  | dag/kg | %       |
| 1      | 0,3    | 0,9 | 4   | 2  | 0,027   | 0,500    | 91,610  | 10,722 | 0,6    | 45,858  |
| 2      | 0,9    | 1,5 | 24  | 7  | 0,096   | 0,292    | 51,623  | 8,633  | 1,2    | 36,924  |
| 3      | 1,5    | 2,1 | 26  | 12 | 0,164   | 0,462    | 61,063  | 16,819 | 1,8    | 71,935  |
| 4      | 2,1    | 2,8 | 30  | 18 | 0,247   | 0,600    | 60,788  | 23,381 | 2,4    | 100,000 |
| 5      | 2,8    | 3,4 | 31  | 12 | 0,164   | 0,387    | 68,287  | 17,226 | 3,1    | 73,673  |
| 6      | 3,4    | 4,0 | 13  | 8  | 0,110   | 0,615    | 65,175  | 16,925 | 3,7    | 72,389  |
| 7      | 4,0    | 4,6 | 11  | 2  | 0,027   | 0,182    | 71,850  | 5,071  | 4,3    | 21,689  |
| 8      | 4,6    | 5,3 | 5   | 3  | 0,041   | 0,600    | 75,000  | 11,777 | 4,9    | 50,370  |
| 9      | 5,3    | 5,9 | 4   | 3  | 0,041   | 0,750    | 69,733  | 12,243 | 5,6    | 52,360  |
| 10     | 5,9    | 6,5 | 3   | 2  | 0,027   | 0,667    | 71,450  | 9,656  | 6,2    | 41,299  |
| 11     | 6,5    | 7,1 | 2   | 1  | 0,014   | 0,500    | 102,700 | 8,500  | 6,8    | 36,352  |
| 12     | 7,1    | 7,8 | 3   | 3  | 0,041   | 1,000    | 85,667  | 17,366 | 7,4    | 74,275  |
| Total  |        |     | 156 | 73 |         |          |         |        |        |         |

<sup>1</sup> Em cada classe de frequência, LI = limite inferior; LS = limite superior; Ni = número de amostras; Ai = número de amostras de alta produtividade; P(Ai/A) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões de alta produtividade ( $A = \sum A_i$ ); P(Ai/Ni) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões da classe i; PRODi = produtividade média dos talhões de alta produtividade; ChM = chance matemática; TM = teor médio da faixa de cada classe<sub>i</sub>.

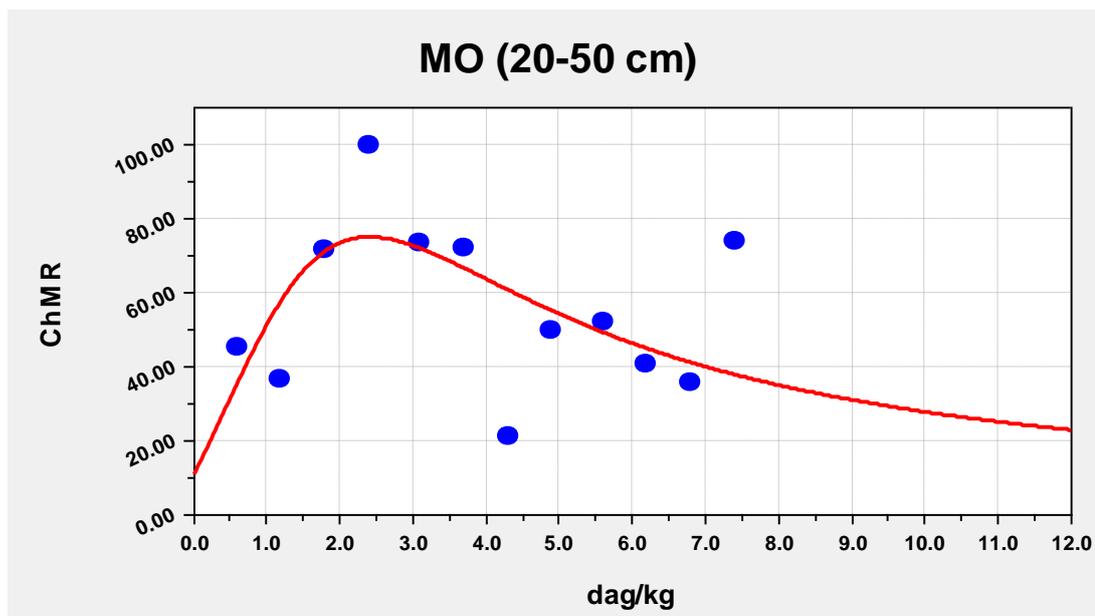


Figura 2 - Chance Matemática Relativa (ChMR) da produtividade de café no estado de Minas Gerais em função do teor de MO no solo.

Modelo: Rational Function;  $\hat{y} = \frac{10,7639 + 36,7001 x}{1 - 0,2223 x + 0,1472 x^2}$ ;  $r = 0,49$

Tabela 5 – Faixas de suficiência para MO no solo (20-50 cm) sob lavouras de café de alta produtividade em Minas Gerais

| ChMR estimada da produtividade (%) | Teor de MO (dag/kg) | Faixas de suficiência  |
|------------------------------------|---------------------|------------------------|
| < 50%                              | < 0,7               | Muito baixa            |
| 50 – 70                            | 0,7 – 1,0           | Baixa                  |
| 70 – 90                            | 1,0 – 1,6           | Média                  |
| 90 – 100                           | 1,6 – 2,4           | Boa                    |
| 100 – 90                           | 2,4 – 3,6           | Alta                   |
| > 90%                              | > 3,6               | Muito alta (excessivo) |

Na Tabela 5 estão as faixas de suficiência para MO na camada de 20 a 50 cm de profundidade. A faixa de suficiência mais adequada (faixa boa) foi de 1,6 – 2,4 dag/kg e o nível ótimo de 2,4 dag/kg. Apesar da redução, comparativamente à camada superior, é necessário observar que para essa profundidade, esses teores de MO associados às maiores chances matemáticas de serem encontradas lavouras de alta produtividade, não podem ser considerados como baixos. Esses resultados evidenciam a importância da MO também em profundidade. Isso pode estar

relacionado à melhoria das condições físico-químicas na subsuperfície, em especial, a contribuição da MO para o aumento da CTC do solo.

#### 4.2 - pH

Na Tabela 6 estão os dados referentes à análise do comportamento da ChMR da produtividade do cafeeiro frente às variações do pH do solo na camada de 0-20 cm de profundidade. Nota-se que o total de  $N_i$  não foi 156 amostras (lavouras), e sim 155. Isso ocorre porque o modelo não contabiliza a amostra que eventualmente esteja em uma classe que não apresente pelo menos uma lavoura de alta produtividade ( $A_i$ ). Neste caso, uma classe apresentou uma única amostra, que não era classificada como de alta produtividade, e que, portanto, foi excluída do cômputo total de  $N_i$ .

Tabela 6 - Valores de Chance Matemática Relativa (ChMR<sub>i</sub>) estabelecidos para as diferentes classes de frequências “i” de distribuição de valores de pH em amostras de solo coletadas a 0-20 cm, sob a cultura do café em Minas Gerais<sup>1</sup>

| Classe       | LI  | LS  | Ni         | Ai        | P(Ai/A) | P(Ai/Ni) | PRODi<br>sc/ha | ChM<br>sc/ha | TM  | ChMR<br>% |
|--------------|-----|-----|------------|-----------|---------|----------|----------------|--------------|-----|-----------|
| 1            | 4,1 | 4,4 | 16         | 6         | 0,082   | 0,375    | 74,833         | 13,138       | 4,3 | 60,425    |
| 2            | 4,4 | 4,7 | 18         | 6         | 0,082   | 0,333    | 69,958         | 11,580       | 4,5 | 53,258    |
| 3            | 4,7 | 5,0 | 20         | 9         | 0,123   | 0,450    | 68,359         | 16,101       | 4,8 | 74,055    |
| 4            | 5,0 | 5,3 | 28         | 16        | 0,219   | 0,571    | 60,263         | 21,327       | 5,1 | 98,088    |
| 5            | 5,3 | 5,5 | 28         | 14        | 0,192   | 0,500    | 64,964         | 20,117       | 5,4 | 92,523    |
| 6            | 5,5 | 5,8 | 17         | 12        | 0,164   | 0,706    | 63,828         | 21,742       | 5,7 | 100,000   |
| 7            | 5,8 | 6,1 | 17         | 6         | 0,082   | 0,353    | 69,607         | 11,855       | 6,0 | 54,526    |
| 8            | 6,1 | 6,4 | 6          | 2         | 0,027   | 0,333    | 73,350         | 7,010        | 6,2 | 32,239    |
| 9            | 6,4 | 6,7 | 5          | 2         | 0,027   | 0,400    | 52,450         | 5,491        | 6,5 | 25,253    |
| <b>Total</b> |     |     | <b>155</b> | <b>73</b> |         |          |                |              |     |           |

<sup>1</sup> Em cada classe de frequência, LI = limite inferior; LS = limite superior; Ni = número de amostras; Ai = número de amostras de alta produtividade; P(Ai/A) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões de alta produtividade ( $A = \sum A_i$ ); P(Ai/Ni) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões da classe i; PRODi = produtividade média dos talhões de alta produtividade; ChM = chance matemática; TM = teor médio da faixa de cada classe;

O modelo Rational Function foi o que melhor se ajustou aos dados de ChMR em função do pH, apresentando um alto coeficiente de correlação. Esse modelo explica aumentos significativos na ChMR com a elevação do valor de pH até atingir o valor ótimo de 5,4. Acima dele, a chance matemática de serem encontradas lavouras de alta produtividade decresce acentuadamente (Figura 3).

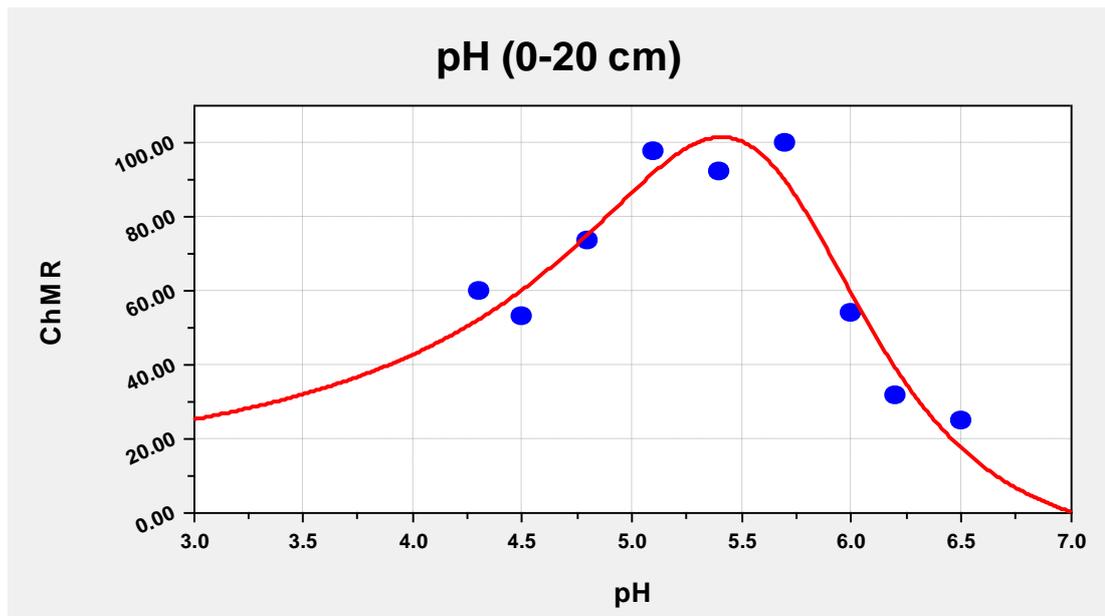


Figura 3 - Chance Matemática Relativa (ChMR) da produtividade de café no estado de Minas Gerais em função do pH do solo.

Modelo: Rational Function;  $\hat{y} = \frac{10,4977 - 1,4946 x}{1 - 0,3464 x + 0,0308 x^2}$ ;  $r = 0,96$

Na Tabela 7 são apresentadas as faixas de suficiência para pH, avaliadas na camada 0-20 cm de profundidade. O resultado encontrado mostra que as lavouras de café de alta produtividade estão associadas a um pH do solo ligeiramente ácido. A faixa mais adequada, ou seja, a faixa classificada como boa foi de 5,0 a 5,4 e o valor ótimo de 5,4.

A faixa de suficiência boa encontrada neste trabalho se enquadra na classe agrônômica de pH “baixo” de acordo com a classificação da CFSEMG (Ribeiro et al., 1999) sendo o valor ótimo, que foi 5,4, um valor intermediário entre as classes “baixo” e “bom”.

No entanto, a faixa de suficiência boa está compreendida dentro da faixa de valores que, segundo Kupper (1983), permite que o cafeeiro se desenvolva bem, que é um valor de pH do solo entre 5,0 e 6,5.

A associação de lavouras mais produtivas a solos um pouco mais ácidos pode estar relacionada a maior disponibilidade de micronutrientes. Segundo o apresentado por Malavolta (2006), a disponibilidade de Fe, Cu, Mn e Zn é máxima em pH 5,0, decrescendo linearmente a partir desse valor. Esse mesmo autor afirma que, quando o pH sobe formam-se hidróxidos e carbonatos menos disponíveis, conseqüentemente cai a concentração desses micronutrientes na solução do solo.

Tabela 7 – Faixas de suficiência para pH do solo (0-20 cm) sob lavouras de café de alta produtividade em Minas Gerais

| <b>ChMR estimada da produtividade (%)</b> | <b>pH</b> | <b>Faixas de suficiência</b> |
|---|-----------|------------------------------|
| < 50%                                     | < 4,1     | Muito baixa                  |
| 50 – 70                                   | 4,1 – 4,6 | Baixa                        |
| 70 – 90                                   | 4,6 – 5,0 | Média                        |
| 90 – 100                                  | 5,0 – 5,4 | Boa                          |
| 100 – 90                                  | 5,4 – 5,6 | Alta                         |
| > 90%                                     | > 5,6     | Muito alta (excessivo)       |

Na camada mais subsuperficial (20-50 cm), o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados apresentou um comportamento linear decrescente, mostrando a diminuição constante das chances matemáticas de se encontrar lavouras de alta produtividade à medida que aumenta o valor de pH do solo (figura 4). Esse comportamento gerou uma dificuldade para se estratificar o resultado em faixas de suficiência.

Como discutido para camada de 0 a 20 cm, esse comportamento parece estar relacionado à disponibilidade de micronutrientes.

Braccini (2000) realizou um trabalho onde testou o desenvolvimento de três cultivares de cafeeiro em colunas de solo subdivididas em anel superior e inferior, com correção do solo total ou em seções. A calagem realizada uniformemente em toda a coluna de solo implicou em menor absorção de Cu e de Zn e, conseqüentemente, menor produção de biomassa seca da parte aérea e das raízes para os três cultivares estudados.

Isso indica que a existência de uma camada de solo mais ácida, como no caso, 20 a 50 cm, pode ser necessária para que se tenha boa disponibilidade de micronutrientes para suprir as necessidades fisiológicas de manutenção e produção das plantas.

Tabela 8 - Valores de Chance Matemática Relativa (ChMR<sub>i</sub>) estabelecidos para as diferentes classes de frequências “i” de distribuição de valores de pH em amostras de solo coletadas a 20-50 cm, sob a cultura do café em Minas Gerais<sup>1</sup>

| Classe | LI  | LS  | Ni  | Ai | P(Ai/A) | P(Ai/Ni) | PRODi<br>sc/ha | ChM<br>sc/ha | TM  | ChMR<br>% |
|--------|-----|-----|-----|----|---------|----------|----------------|--------------|-----|-----------|
| 1      | 3,9 | 4,1 | 11  | 8  | 0,110   | 0,727    | 73,821         | 20,841       | 4,0 | 100,000   |
| 2      | 4,1 | 4,4 | 21  | 9  | 0,123   | 0,429    | 61,033         | 14,029       | 4,2 | 67,317    |
| 3      | 4,4 | 4,6 | 22  | 8  | 0,110   | 0,364    | 76,043         | 15,180       | 4,5 | 72,838    |
| 4      | 4,6 | 4,8 | 18  | 10 | 0,137   | 0,556    | 64,950         | 17,918       | 4,7 | 85,974    |
| 5      | 4,8 | 5,0 | 24  | 10 | 0,137   | 0,417    | 70,172         | 16,765       | 4,9 | 80,442    |
| 6      | 5,0 | 5,3 | 20  | 10 | 0,137   | 0,500    | 53,298         | 13,949       | 5,1 | 66,930    |
| 7      | 5,3 | 5,5 | 10  | 5  | 0,068   | 0,500    | 60,100         | 11,122       | 5,4 | 53,367    |
| 8      | 5,5 | 5,7 | 12  | 7  | 0,096   | 0,583    | 76,629         | 18,123       | 5,6 | 86,961    |
| 9      | 5,7 | 5,9 | 11  | 5  | 0,068   | 0,455    | 49,108         | 8,665        | 5,8 | 41,577    |
| 10     | 6,4 | 6,6 | 2   | 1  | 0,014   | 0,500    | 78,000         | 6,455        | 6,5 | 30,975    |
| Total  |     |     | 151 | 73 |         |          |                |              |     |           |

<sup>1</sup> Em cada classe de frequência, LI = limite inferior; LS = limite superior; Ni = número de amostras; Ai = número de amostras de alta produtividade; P(Ai/A) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões de alta produtividade ( $A = \sum A_i$ ); P(Ai/Ni) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões da classe i; PRODi = produtividade média dos talhões de alta produtividade; ChM = chance matemática; TM = teor médio da faixa de cada classe;

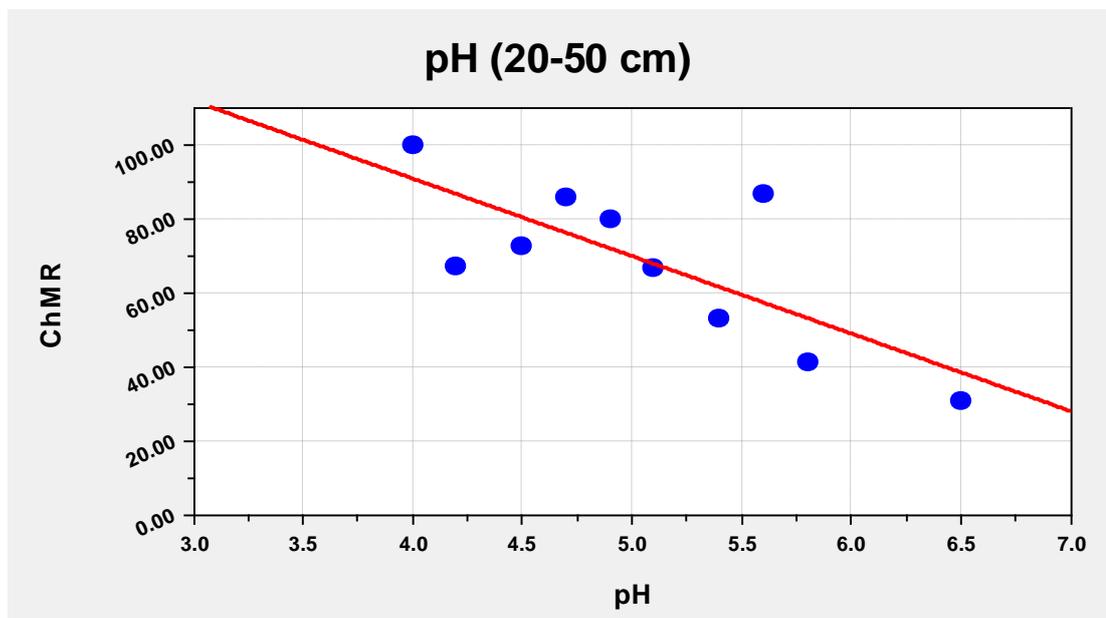


Figura 4 - Chance Matemática Relativa (ChMR) da produtividade de café no estado de Minas Gerais em função do pH do solo.

Modelo: Linear Fit;  $\hat{y} = 176,0960 - 21,1928 x$ ;  $r = 0,75$

### 4.3 - ALUMÍNIO

Na Tabela 9 estão apresentados os dados referentes à análise pelo método da chance matemática para alumínio (Al) na camada de 0-20 cm de profundidade. Das 156 lavouras avaliadas, 73 são lavouras de alta produtividade. Destas, 46 (63%) estão localizadas na classe 1, que apresentou a maior ChMR e que representa teores de Al no solo muito próximos de zero.

Tabela 9 - Valores de Chance Matemática Relativa (ChMR<sub>i</sub>) estabelecidos para as diferentes classes de frequências “i” de distribuição de teores de Al em amostras de solo coletadas a 0-20 cm, sob a cultura do café em Minas Gerais<sup>1</sup>

| Classe | LI                                 | LS   | Ni  | Ai | P(Ai/A) | P(Ai/Ni) | PRODi   | ChM    | TM                                 | ChMR    |
|--------|------------------------------------|------|-----|----|---------|----------|---------|--------|------------------------------------|---------|
|        | cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> |      |     |    |         |          | sc/ha   | sc/ha  | cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> | %       |
| 1      | 0,00                               | 0,15 | 85  | 46 | 0,630   | 0,541    | 63,089  | 36,842 | 0,07                               | 100,000 |
| 2      | 0,15                               | 0,29 | 18  | 9  | 0,123   | 0,500    | 60,878  | 15,115 | 0,22                               | 41,026  |
| 3      | 0,29                               | 0,44 | 10  | 3  | 0,041   | 0,300    | 72,013  | 7,996  | 0,37                               | 21,704  |
| 4      | 0,44                               | 0,58 | 10  | 4  | 0,055   | 0,400    | 69,075  | 10,226 | 0,51                               | 27,757  |
| 5      | 0,58                               | 0,73 | 8   | 2  | 0,027   | 0,250    | 72,500  | 6,000  | 0,66                               | 16,286  |
| 6      | 0,73                               | 0,88 | 13  | 4  | 0,055   | 0,308    | 79,803  | 10,362 | 0,80                               | 28,126  |
| 7      | 0,88                               | 1,02 | 4   | 2  | 0,027   | 0,500    | 83,350  | 9,755  | 0,95                               | 26,479  |
| 8      | 1,02                               | 1,17 | 5   | 2  | 0,027   | 0,400    | 59,800  | 6,260  | 1,10                               | 16,992  |
| 9      | 1,17                               | 1,31 | 2   | 1  | 0,014   | 0,500    | 100,000 | 8,276  | 1,24                               | 22,464  |
| Total  |                                    |      | 155 | 73 |         |          |         |        |                                    |         |

<sup>1</sup> Em cada classe de frequência, LI = limite inferior; LS = limite superior; Ni = número de amostras; Ai = número de amostras de alta produtividade; P(Ai/A) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões de alta produtividade ( $A = \sum A_i$ ); P(Ai/Ni) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões da classe i; PRODi = produtividade média dos talhões de alta produtividade; ChM = chance matemática; TM = teor médio da faixa de cada classe.

O modelo Reciprocal Logarithm Fit foi o que melhor se ajustou à relação existente entre teor de Al no solo e ChMR da produtividade (Figura 5). Esse modelo mostra uma redução significativa na ChMR com o aumento do teor de Al no solo. Em valores acima de aproximadamente 0,2 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de Al<sup>3+</sup> no solo, observa-se baixíssima probabilidade de serem encontradas lavouras de alta produtividade. Nota-se um comportamento relativamente estável da relação entre ChMR e teor de Al a partir desse valor. Tal comportamento, associado ao alto coeficiente de correlação apresentado, em condições de cultivo a campo, sem nenhum tipo de controle experimental, dá uma grande confiabilidade ao resultado encontrado.

Somado a isso, é possível observar na Tabela 9 que a classe 1, que apresentou a maior ChMR, apresenta a faixa de valores entre 0,0 e 0,15 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, que engloba

todos valores apresentados na Tabela 10 e que representa 63% de todas as lavouras de alta produtividade, com uma produtividade média de 63 sacas/ha.

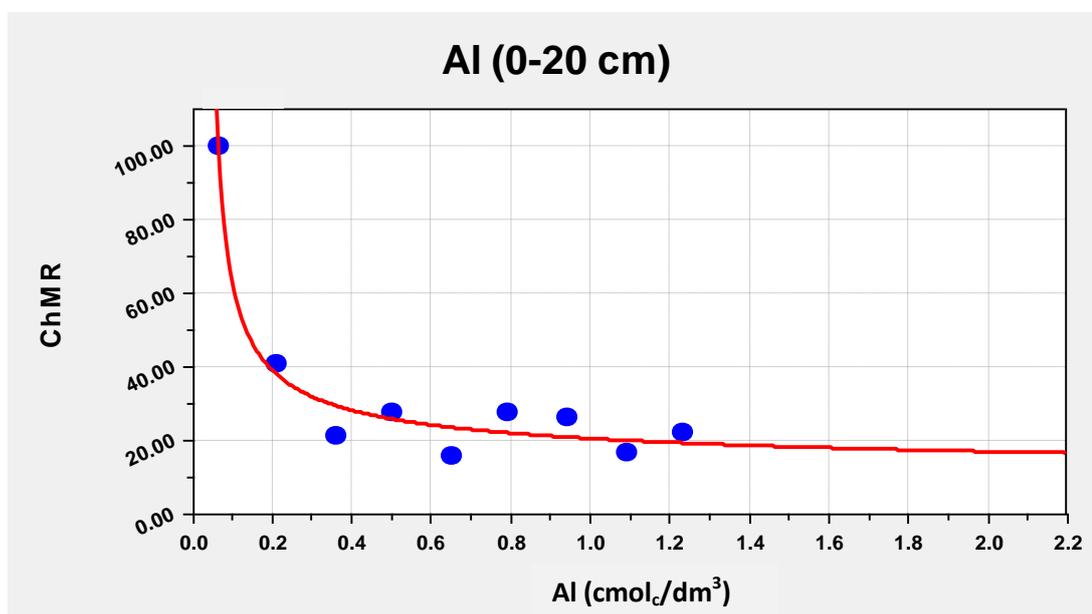


Figura 5 - Chance Matemática Relativa (ChMR) da produtividade de café no estado de Minas Gerais em função do teor de Al no solo.

Modelo: Reciprocal Logarithm Fit;  $\hat{y} = \frac{1}{0,0482 + 0,0143 \ln x}$ ;  $r = 0,98$

Na Tabela 10 estão apresentadas as faixas de suficiência para alumínio (Al), avaliadas na camada de 0-20 cm.

É interessante observar que para todas as faixas de suficiência, inclusive aquela classificada como muito alta, os valores de Al estão muito próximos de zero e que o nível ótimo, que correspondeu a 0,07 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, na prática corresponde a zero.

Tabela 10 – Faixas de suficiência para Al no solo (0-20 cm) sob lavouras de café de alta produtividade em Minas Gerais

| ChMR estimada da produtividade (%) | Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) | Faixas de suficiência |
|------------------------------------|--|-----------------------|
| 100 - 90                           | 0,07 – 0,08                              | Boa                   |
| 90 - 70                            | 0,08 – 0,10                              | Média                 |
| 70 - 50                            | 0,10 – 0,14                              | Alta                  |
| < 50%                              | > 0,14                                   | Muito alta            |

Mais importante do que permitir a classificação, esse resultado mostra que as lavouras mais produtivas estão associadas a teores de Al muito próximos de zero, indicando que para se alcançar altas produtividades é necessário neutralizar o Al no solo.

Há na literatura diversas referências tratando o cafeeiro, de forma geral, como uma planta tolerante ao Al. Para o cálculo da calagem para a cultura do café em Minas Gerais, adotando o método da neutralização do  $Al^{3+}$  e da elevação dos teores de  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ , a CFSEMG (Ribeiro *et al.*, 1999) considera que o cafeeiro tolera uma saturação por  $Al^{3+}$  de até 25%. Mendonça *et al.*, (2007) avaliaram, no campo, o desenvolvimento de algumas variedades de *Coffea arabica* previamente classificadas quanto à sensibilidade ao Al. Em geral, saturações de alumínio da ordem de 30% na camada superficial do solo (0-20 cm) não prejudicaram o desenvolvimento de raízes e parte aérea das variedades estudadas. No entanto, segundo Matiello (1991), o Al acima de 0,3 a 0,5  $cmol_c/dm^3$ , é tóxico e prejudicial ao cafeeiro.

Os resultados deste trabalho, associando lavouras altamente produtivas ao teor de Al no solo, diverge do que é preconizado na literatura quando se avalia o efeito do Al sobre a produtividade do cafeeiro. Faz-se necessário, então, considerar que, o cafeeiro apresenta tolerância ao Al, que, até certas concentrações no solo não prejudica o seu desenvolvimento, no entanto, para a obtenção de altas produtividades, esse elemento deve estar neutralizado, ou seja, seu teor no solo deve ser zero.

Tabela 11 - Valores de Chance Matemática Relativa ( $ChMR_i$ ) estabelecidos para as diferentes classes de frequências “i” de distribuição de teores de Al em amostras de solo coletadas a 20-50 cm, sob a cultura do café em Minas Gerais<sup>1</sup>

| Classe | LI            | LS   | Ni  | Ai | P(Ai/A) | P(Ai/Ni) | PRODi   | ChM    | TM            | ChMR    |
|--------|---------------|------|-----|----|---------|----------|---------|--------|---------------|---------|
|        | $cmol_c/dm^3$ |      |     |    |         |          | sc/ha   | sc/ha  | $cmol_c/dm^3$ | %       |
| 1      | 0,00          | 0,16 | 70  | 35 | 0,479   | 0,500    | 61,921  | 30,318 | 0,08          | 100,000 |
| 2      | 0,16          | 0,32 | 20  | 11 | 0,151   | 0,550    | 63,800  | 18,367 | 0,24          | 60,582  |
| 3      | 0,32          | 0,47 | 6   | 3  | 0,041   | 0,500    | 74,037  | 10,613 | 0,40          | 35,005  |
| 4      | 0,47          | 0,63 | 15  | 4  | 0,055   | 0,267    | 61,100  | 7,386  | 0,55          | 24,361  |
| 5      | 0,63          | 0,79 | 7   | 2  | 0,027   | 0,286    | 51,500  | 4,556  | 0,71          | 15,029  |
| 6      | 0,79          | 0,95 | 15  | 9  | 0,123   | 0,600    | 70,840  | 19,267 | 0,87          | 63,550  |
| 7      | 0,95          | 1,11 | 11  | 4  | 0,055   | 0,364    | 82,610  | 11,661 | 1,03          | 38,463  |
| 8      | 1,11          | 1,26 | 2   | 1  | 0,014   | 0,500    | 66,700  | 5,520  | 1,19          | 18,208  |
| 9      | 1,26          | 1,42 | 2   | 1  | 0,014   | 0,500    | 59,500  | 4,924  | 1,34          | 16,242  |
| 10     | 1,42          | 1,58 | 2   | 2  | 0,027   | 1,000    | 80,050  | 13,250 | 1,50          | 43,704  |
| 11     | 1,90          | 2,05 | 2   | 1  | 0,014   | 0,500    | 100,000 | 8,276  | 1,98          | 27,298  |
| Total  |               |      | 152 | 73 |         |          |         |        |               |         |

<sup>1</sup> Em cada classe de frequência, LI = limite inferior; LS = limite superior; Ni = número de amostras; Ai = número

de amostras de alta produtividade;  $P(A_i/A)$  = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões de alta produtividade ( $A = \sum A_i$ );  $P(A_i/N_i)$  = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões da classe  $i$ ;  $PROD_i$  = produtividade média dos talhões de alta produtividade; ChM = chance matemática; TM = teor médio da faixa de cada classe.

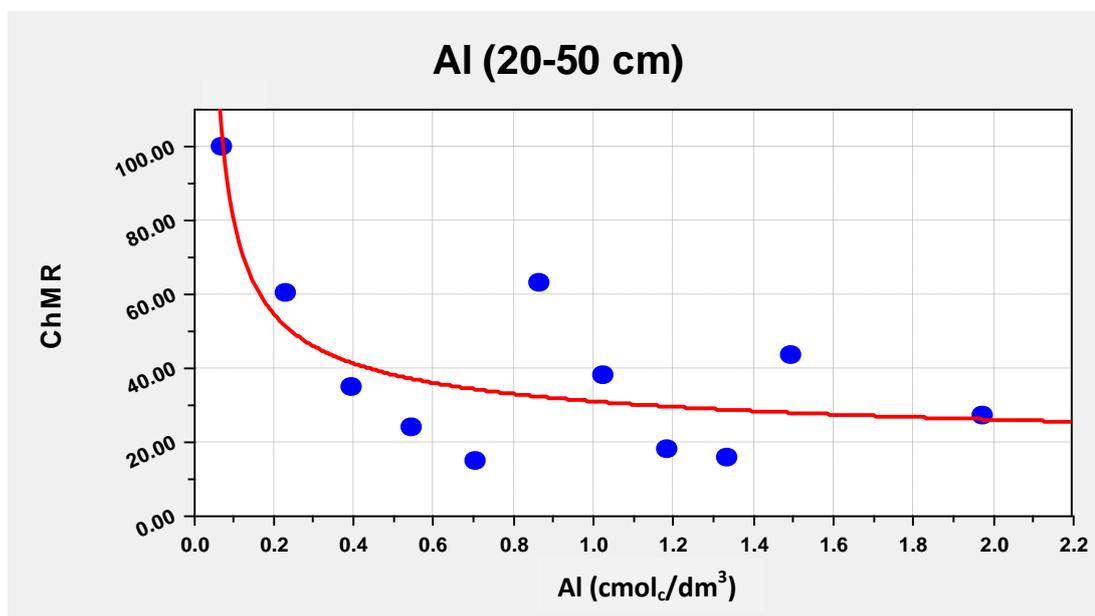


Figura 6 - Chance Matemática Relativa (ChMR) da produtividade de café no estado de Minas Gerais em função do teor de Al no solo.

Modelo: Reciprocal Logarithm Fit;  $\hat{y} = \frac{1}{0,0320 + 0,0087 \ln x}$ ;  $r = 0,82$

O resultado encontrado na avaliação da camada de 20 a 50 cm, que assim como a anterior, apresentou valores nas faixas de suficiência próximos a zero (Tabela 12), revela a necessidade da neutralização do  $Al^{3+}$  também em profundidade e reafirma a importância da gessagem, principalmente por ser o café uma cultura perene, que não permite a incorporação do calcário em profundidade depois de implantada.

Considerando essa prática, os resultados deste trabalho não corroboram com os critérios utilizados para recomendação de aplicação de gesso agrícola pelos estados de São Paulo (Raij et al., 1996) e Minas Gerais (Ribeiro et al., 1999), pelo menos no que diz respeito a lavouras de café de alta produtividade. Raij et al., (1996) utiliza como critério para aplicação de gesso um valor de saturação por  $Al^{3+}$  acima de 50%, na camada de solo de 20 a 40 cm de profundidade. A CFSEMG (Ribeiro et al., 1999) indica que para realizar essa prática o teor de  $Al^{3+}$  na camada subsuperficial deve ser superior a 0,5 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de  $Al^{3+}$  e/ou 30% de saturação por  $Al^{3+}$ .

Tabela 12 – Faixas de suficiência de Al no solo (20-50 cm) sob lavouras de café de alta produtividade em Minas Gerais

| <b>ChMR estimada da produtividade (%)</b> | <b>Al (cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>)</b> | <b>Faixas de suficiência</b> |
|---|---|------------------------------|
| 100 - 90                                  | 0,08 – 0,09                                 | Boa                          |
| 90 - 70                                   | 0,09 – 0,13                                 | Média                        |
| 70 - 50                                   | 0,13 – 0,25                                 | Alta                         |
| < 50%                                     | > 0,25                                      | Muito alta                   |

#### 4.4 - FÓSFORO

A avaliação feita para fósforo (P) apresentou resultado inesperado, de forma que não foi possível classificar seus teores em faixas de suficiência de acordo com o método adotado para este trabalho. O comportamento linear decrescente, mostrado na figura 7, sugere que quanto menor o teor P no solo, maiores são as chances matemáticas de se encontrar lavouras de alta produtividade. Na prática, essa é uma interpretação errônea, pois se assim fosse, os teores de P associados a lavouras de alta produtividade deveriam ser ainda menores, chegando até ao teor zero, considerando que o limite inferior da classe 1, que apresentou a maior ChMR, foi de 0,7 mg/dm<sup>3</sup> (Tabela 13). Tal fato não procede, pois se sabe que o P mesmo sendo requerido em menor quantidade que outros macronutrientes, é um nutriente essencial para o cafeeiro.

Sabe-se que o P é requerido em menor quantidade que os demais macronutrientes pelo cafeeiro em produção (Malavolta, 1993), de modo que uma hipótese para explicar o resultado encontrado neste trabalho seria o fato das quantidades adicionadas ao solo via adubação ou mesmo através da ciclagem biogeoquímica, terem sido sempre suficientes para suprir as necessidades da planta. Neves *et al.*(2006) observaram que aos 55 meses de cultivo plantas da variedade Catuaí IAC 99, estabelecidas em solo argilo-arenoso com teor inicial de 17,6 mg/dm<sup>3</sup> de P, que receberam 506 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> desde o plantio até a avaliação, e que produziram 125,51 sc/ha de café beneficiado nesse período, apresentaram acúmulo total (raízes + troncos + ramos + folhas + total de frutos produzidos) de apenas 8,07 g de P, ou seja, o equivalente a 92,41 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Tal acúmulo foi 15,8 vezes menor que o de nitrogênio, que correspondeu a 639,50 kg/ha. Cabe ainda destacar,

que 25% do P total foi acumulado em folhas, podendo, portanto, ser reciclado. Há que considerar também, a prática bastante difundida de adubar o cafeeiro com a fórmula 20-5-20, independentemente do resultado da análise do solo quanto ao fósforo, o que devido à alta exigência de N e K da cultura pode fornecer doses de P maiores que o necessário.

Foram investigadas outras formas de se analisar o teor de P no solo com intuito de encontrar melhor ajuste entre o teor deste nutriente no solo e a produtividade. Uma delas foi o cálculo de um índice, resultado do produto entre teor de P e de argila, uma vez que o teor de argila apresenta relação estreita com a disponibilidade de P, e que não se dispunha dos teores de P remanescente. O resultado apresentado pela análise matemática do índice criado e sua respectiva produtividade apresentou o mesmo comportamento descrito anteriormente para P, o que em parte era esperado, pois os solos da grande maioria das lavouras amostradas eram argilosos.

Partiu-se também para uma análise estratificada da camada de 0-20 cm, calculando-se a relação entre P na camada de 0 a 5 cm e P na camada 5 a 20 cm. Observou-se que o P encontra-se muito concentrado na camada mais superficial do solo, de modo que a de 0 a 5 cm apresenta em média 4,5 vezes mais P do que a de 5 a 20 cm. Esse resultado, associado à informação de que as lavouras amostradas são cultivos de sequeiro, sem a utilização de irrigação, leva a outra hipótese com respeito ao resultado encontrado para P neste trabalho. A falta de resposta a esse nutriente por parte do cafeeiro em produção pode estar ligada ao fato de que, em cultivos de sequeiro, a camada mais superficial seca mais rápido, de modo que nutrientes como o P, que são transportados até a raiz por difusão, acabam tendo sua disponibilidade para as plantas limitada pelo transporte deficiente até as raízes, independentemente do teor encontrado no solo. É possível que, em muitos casos, os altos teores de P revelados pela análise química, não estivessem totalmente disponíveis para a planta durante determinados períodos do ano.

Considerando-se a Tabela 13, a classe 1 apresenta a maior chance matemática de conter lavouras de alta produtividade. No entanto, em decorrência do elevado número de talhões (Ni) existente nessa classe, a proporção entre estes e os talhões de alta produtividade ( $P (A_i/N_i)$ ), não é necessariamente a mais elevada. Esta proporção é maior na classe 3 o que se refletiu em uma elevada ChMR nessa classe, se fazendo

necessário considerá-la, e dessa forma englobando a classe 2. Portanto, considerando o método proposto por Wadt (1996), a faixa de valores que determina a maior probabilidade de altas produtividades, ou seja, a faixa ótima para P, na camada de 0-20 cm de profundidade, é de 0,7 a 18,9 mg/dm<sup>3</sup>, compreendida nas três primeiras classes apresentadas na Tabela 13. Outro fator que respalda estas três classes, é o fato das mesmas conterem quase 80% de todas as lavouras de alta produtividade, com uma média de aproximadamente 70 sacas/ha.

Para solos de textura argilosa, predominante para estas lavouras, a CFSEMG (Ribeiro et al., 1999) classifica o teor de P no solo da seguinte maneira: menor que 3,0 como Muito Baixo; 3,1 – 6,0 como Baixo; 6,1 – 9,0 como Médio; 9,1 – 13,5 como Bom e maior que 13,5 como sendo Muito bom.

Verifica-se que a faixa ótima obtida se mostra muito ampla, abrangendo todas as classes de fertilidade do solo para P estabelecidas pela CFSEMG (Ribeiro et al., 1999) para esta classe textural. Isso restringe algumas comparações. No entanto, é possível observar que, a classe “Muito bom”, representada por teores de P superiores a 13,5 mg/dm<sup>3</sup>, está limitada, de acordo com limite superior da faixa ótima, a 18,9 mg/dm<sup>3</sup>. Essa informação é baseada na redução abrupta da ChMR ocorrida da classe 3 para classe 4, se mantendo baixa nas demais classes (Tabela 13).

Esse resultado discorda da afirmação de Matiello et al., (2005), que classifica como alto, valores de P disponível no solo maiores que 50 mg/dm<sup>3</sup>. Inclusive é importante observar que o maior valor de P apresentado nos solos onde se encontram lavouras de alta produtividade avaliadas em Minas Gerais foi 49,2 mg/dm<sup>3</sup> (limite superior da classe 8).

Considerando o valor da mediana da faixa ótima, que foi de 9,8 mg/dm<sup>3</sup> como sendo o nível ótimo (Wadt, 1996), nota-se que este valor está compreendido dentro da classe de fertilidade estabelecida para P como “Bom” pela CFSEMG (Ribeiro et al., 1999) quando se trata de uma classe textural argilosa, a qual é a classe textural predominante nos solos utilizados neste trabalho, como já mencionado.

O nível ótimo encontrado corrobora com o relatado por Pavan et al., (1986), os quais estudaram diversos nutrientes e sua relação com a produção do cafeeiro e concluíram que, a maior produção esteve associada ao teor de 10 mg/dm<sup>3</sup> de P no solo.

Tabela 13 - Valores de Chance Matemática Relativa (ChMR<sub>i</sub>) estabelecidos para as diferentes classes de frequências “i” de distribuição de teores de P em amostras de solo coletadas a 0-20 cm, sob a cultura do café em Minas Gerais<sup>1</sup>

| Classe | LI<br>mg/dm <sup>3</sup> | LS<br>mg/dm <sup>3</sup> | Ni  | Ai | P(Ai/A) | P(Ai/Ni) | PRODi<br>sc/ha | ChM<br>sc/ha | TM<br>mg/dm <sup>3</sup> | ChMR<br>% |
|--------|--------------------------|--------------------------|-----|----|---------|----------|----------------|--------------|--------------------------|-----------|
| 1      | 0,7                      | 6,7                      | 57  | 25 | 0,391   | 0,439    | 63,302         | 26,202       | 3,7                      | 100,000   |
| 2      | 6,7                      | 12,8                     | 33  | 14 | 0,219   | 0,424    | 70,854         | 21,585       | 9,8                      | 82,380    |
| 3      | 12,8                     | 18,9                     | 17  | 11 | 0,172   | 0,647    | 73,309         | 24,448       | 15,8                     | 93,306    |
| 4      | 18,9                     | 24,9                     | 13  | 4  | 0,063   | 0,308    | 58,333         | 8,089        | 21,9                     | 30,873    |
| 5      | 24,9                     | 31,0                     | 9   | 5  | 0,078   | 0,556    | 54,728         | 11,402       | 28,0                     | 43,515    |
| 6      | 31,0                     | 37,1                     | 4   | 3  | 0,047   | 0,750    | 68,300         | 12,806       | 34,0                     | 48,876    |
| 7      | 37,1                     | 43,1                     | 3   | 1  | 0,016   | 0,333    | 56,000         | 4,041        | 40,1                     | 15,424    |
| 8      | 43,1                     | 49,2                     | 2   | 1  | 0,016   | 0,500    | 62,800         | 5,551        | 46,2                     | 21,185    |
| Total  |                          |                          | 138 | 64 |         |          |                |              |                          |           |

<sup>1</sup> Em cada classe de frequência, LI = limite inferior; LS = limite superior; Ni = número de amostras; Ai = número de amostras de alta produtividade; P(Ai/A) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões de alta produtividade ( $A = \sum A_i$ ); P(Ai/Ni) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões da classe i; PRODi = produtividade média dos talhões de alta produtividade; ChM = chance matemática; TM = teor médio da faixa de cada classe,.

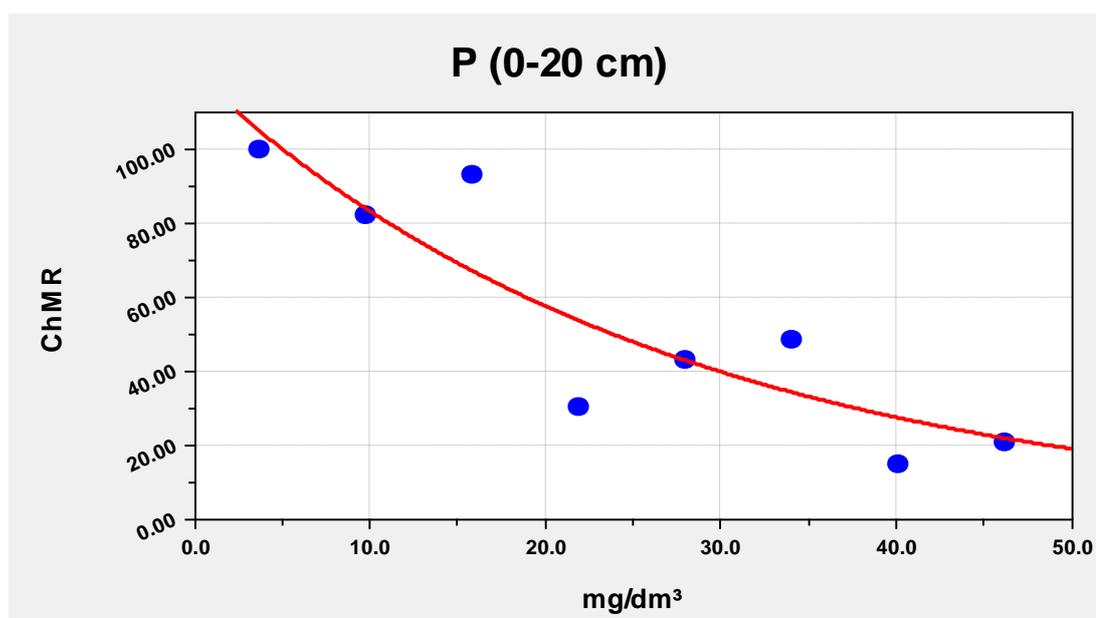


Figura 7 - Chance Matemática Relativa (ChMR) da produtividade de café no estado de Minas Gerais em função do teor de P no solo.

Modelo: Exponential Fit;  $\hat{y} = 120,2745 e^{-0,0367x}$ ;  $r = 0,89$

Investigando a camada de 20-50 cm encontrou-se o mesmo comportamento apresentado para camada superior. O ajuste matemático apresentado na figura 8 também mostra as maiores chances matemáticas de se encontrar lavouras de alta produtividade associadas a menores teores de P no solo. O modelo Power Fit foi o que melhor se ajustou a relação existente entre TM e ChMR. Este modelo explica uma redução significativa na ChMR com o aumento do teor de P no solo. Essa

redução ocorre a partir dos teores considerados ótimos, sendo que, a partir de aproximadamente 10 mg/dm<sup>3</sup> no solo, se mantém relativamente estáveis, com baixa chance matemática de se encontrar lavouras de alta produtividade.

Analisando o método da ChM, as lavouras mais produtivas se concentram na classe 1 (Tabela 14), visualizada pela elevada frequência de lavouras de alta produtividade nessa classe em relação ao total das mesmas (P(Ai/A)). Portanto a faixa ótima foi 0,2 a 2,3 mg/dm<sup>3</sup> e o nível ótimo de 1,2 mg/dm<sup>3</sup> para essa camada mais subsuperficial. A essa faixa ótima estão associadas 57,8% de todas as lavouras de alta produtividade.

Tabela 14 - Valores de Chance Matemática Relativa (ChMR<sub>i</sub>) estabelecidos para as diferentes classes de frequências “i” de distribuição de teores de P em amostras de solo coletadas a 20-50 cm, sob a cultura do café em Minas Gerais<sup>1</sup>

| Classe       | LI<br>mg/dm <sup>3</sup> | LS<br>mg/dm <sup>3</sup> | Ni         | Ai        | P(Ai/A) | P(Ai/Ni) | PRODi<br>sc/ha | ChM<br>sc/ha | TM<br>mg/dm <sup>3</sup> | ChMR<br>% |
|--------------|--------------------------|--------------------------|------------|-----------|---------|----------|----------------|--------------|--------------------------|-----------|
| 1            | 0,2                      | 2,3                      | 77         | 37        | 0,578   | 0,481    | 62,910         | 33,158       | 1,2                      | 100,000   |
| 2            | 2,3                      | 4,3                      | 38         | 17        | 0,266   | 0,447    | 71,603         | 24,683       | 3,3                      | 74,441    |
| 3            | 4,3                      | 6,4                      | 11         | 5         | 0,078   | 0,455    | 69,708         | 13,136       | 5,3                      | 39,617    |
| 4            | 6,4                      | 8,4                      | 4          | 1         | 0,016   | 0,250    | 60,100         | 3,756        | 7,4                      | 11,328    |
| 5            | 8,4                      | 10,5                     | 5          | 1         | 0,016   | 0,200    | 45,000         | 2,516        | 9,4                      | 7,587     |
| 6            | 12,5                     | 14,6                     | 2          | 1         | 0,016   | 0,500    | 80,000         | 7,071        | 13,5                     | 21,325    |
| 7            | 18,7                     | 20,7                     | 1          | 1         | 0,016   | 1,000    | 56,000         | 7,000        | 19,7                     | 21,111    |
| 8            | 20,7                     | 22,8                     | 1          | 1         | 0,016   | 1,000    | 77,000         | 9,625        | 21,7                     | 29,028    |
| <b>Total</b> |                          |                          | <b>139</b> | <b>64</b> |         |          |                |              |                          |           |

<sup>1</sup>Em cada classe de frequência, LI = limite inferior; LS = limite superior; Ni = número de amostras; Ai = número de amostras de alta produtividade; P(Ai/A) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões de alta produtividade (A = ΣAi); P(Ai/Ni) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões da classe i; PRODi = produtividade média dos talhões de alta produtividade; ChM = chance matemática; TM = teor médio da faixa de cada classe.

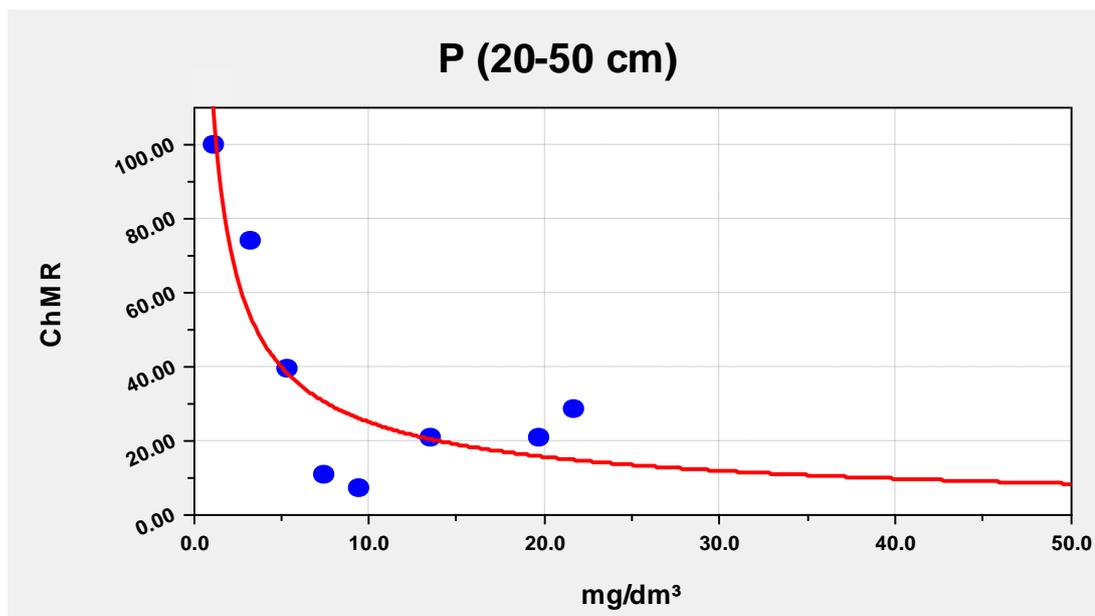


Figura 8 - Chance Matemática Relativa (ChMR) da produtividade de café no estado de Minas Gerais em função do teor de P no solo.

Modelo: Power Fit;  $\hat{y}=117,3798x^{-0,6688}$ ;  $r = 0,90$

#### 4.5 - SATURAÇÃO POR BASES

Na Tabela 15 estão apresentados os dados referentes à análise da chance matemática para saturação por bases (V) na camada de 0-20 cm do solo e na figura 9 a relação entre ChMR e V no solo. Do total de lavouras avaliadas (156), 73 são lavouras de alta produtividade.

Tabela 15 - Valores de Chance Matemática Relativa (ChMR<sub>i</sub>) estabelecidos para as diferentes classes de frequências “i” de distribuição de teores de V em amostras de solo coletadas a 0-20 cm, sob a cultura do café em Minas Gerais<sup>1</sup>

| Classe | LI   | LS   | Ni  | Ai | P(Ai/A) | P(Ai/Ni) | PRODi   | ChM    | TM   | ChMR    |
|--------|------|------|-----|----|---------|----------|---------|--------|------|---------|
|        | %    |      |     |    |         |          | sc/ha   | sc/ha  | %    | %       |
| 1      | 4,2  | 12,2 | 2   | 1  | 0,014   | 0,500    | 111,100 | 9,195  | 8,2  | 41,228  |
| 2      | 12,2 | 20,3 | 14  | 3  | 0,041   | 0,214    | 57,833  | 5,427  | 16,3 | 24,335  |
| 3      | 20,3 | 28,3 | 19  | 7  | 0,096   | 0,368    | 82,416  | 15,491 | 24,3 | 69,458  |
| 4      | 28,3 | 36,4 | 26  | 9  | 0,123   | 0,346    | 64,430  | 13,310 | 32,4 | 59,681  |
| 5      | 36,4 | 44,4 | 23  | 11 | 0,151   | 0,478    | 70,004  | 18,793 | 40,4 | 84,263  |
| 6      | 44,4 | 52,5 | 22  | 11 | 0,151   | 0,500    | 58,829  | 16,148 | 48,4 | 72,404  |
| 7      | 52,5 | 60,5 | 19  | 14 | 0,192   | 0,737    | 59,328  | 22,302 | 56,5 | 100,000 |
| 8      | 60,5 | 68,6 | 17  | 10 | 0,137   | 0,588    | 60,817  | 17,264 | 64,5 | 77,409  |
| 9      | 68,6 | 76,6 | 7   | 4  | 0,055   | 0,571    | 72,538  | 12,835 | 72,6 | 57,552  |
| 10     | 76,6 | 84,6 | 4   | 2  | 0,027   | 0,500    | 56,850  | 6,654  | 80,6 | 29,835  |
| 11     | 84,6 | 92,7 | 1   | 1  | 0,014   | 1,000    | 91,700  | 10,733 | 88,7 | 48,124  |
| Total  |      |      | 154 | 73 |         |          |         |        |      |         |

<sup>1</sup> Em cada classe de frequência, LI = limite inferior; LS = limite superior; Ni = número de amostras; Ai = número de amostras de alta produtividade; P(Ai/A) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de

talhões de alta produtividade ( $A = \sum A_i$ );  $P(A_i/N_i)$  = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões da classe  $i$ ;  $PROD_i$  = produtividade média dos talhões de alta produtividade; ChM = chance matemática; TM = teor médio da faixa de cada classe <sub>$i$</sub> .

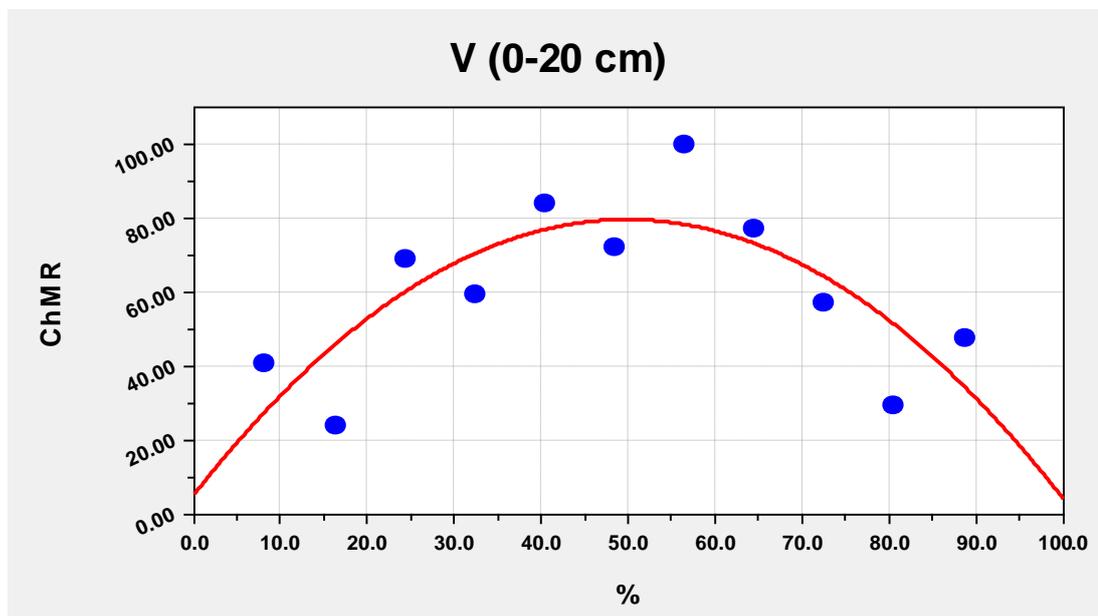


Figura 9 - Chance Matemática Relativa (ChMR) da produtividade de café no estado de Minas Gerais em função da V do solo.

Modelo: Quadratic Fit;  $\hat{y} = 5,5396 + 2,9829 x - 0,0299 x^2$ ;  $R^2 = 0,6049$

Na Tabela 16 são apresentadas as faixas de suficiência para saturação por bases (V) avaliadas na camada de 0-20 cm de profundidade.

A faixa de suficiência boa está compreendida entre 34 e 50% com valor ótimo de 50%. Este valor está abaixo do recomendado pela CFSEMG (Ribeiro et al., 1999) como mais adequado para cultura do café no estado, que é uma V igual a 60%, porém é considerado por Kupper, (1983) como ideal para se alcançar e manter uma alta produtividade. De acordo com resultado encontrado neste trabalho, o valor de V recomendado para cultura café está um pouco acima do ideal. Sessenta por cento é aqui classificado como um valor alto, mas ainda não sendo um excesso.

Por outro lado, o valor ótimo encontrado corrobora com o valor considerado adequado no estado de São Paulo (Rajj et al., 1996), que é uma V igual a 50%. Valor de referência, utilizado no cálculo da calagem para o cafeeiro.

Tabela 16 – Faixas de suficiência para V no solo (0-20 cm) sob lavouras de café de alta produtividade em Minas Gerais

| <b>ChMR estimada da produtividade (%)</b> | <b>V (%)</b> | <b>Faixas de suficiência</b> |
|---|--------------|------------------------------|
| < 50%                                     | < 13         | Muito baixa                  |
| 50 – 70                                   | 13 – 22      | Baixa                        |
| 70 – 90                                   | 22 – 34      | Média                        |
| 90 – 100                                  | 34 – 50      | Boa                          |
| 100 – 90                                  | 50 – 66      | Alta                         |
| > 90%                                     | > 66         | Muito alta (excessivo)       |

Malavolta (2006) afirma que nem sempre alta produtividade está relacionada a uma V alta. Essa afirmação foi baseada em um trabalho realizado em uma plantação de cerca de 1.500 hectares do Sul de MG, cuja média de V foi de 34,9%, e que apresentou uma média de produtividade de 60 sacas/ha. Tal valor está bem abaixo do ótimo encontrado, mas corresponde a 90% dele, representado o limite inferior da faixa de suficiência classificada como boa. Portanto, é possível que se obtenham produtividades elevadas com porcentagens de V menores que o recomendado atualmente. Analisando-se a Tabela 15, é possível observar que a classe 4, na qual se enquadra esse valor, apesar de não ter uma ChMR muito expressiva, apresentou uma produtividade média relativamente alta (64,43 sacas/ha), muito próxima daquela encontrada por Malavolta (2006).

Analisando-se a camada de 20 a 50 cm, é verificado na Tabela 17 que algumas classes, além da que apresentou a maior ChMR, apresentaram uma ChMR elevada, como por exemplo as classes 5, 7 e 9. Diferentemente da camada de 0 a 20 cm, esta não apresenta um comportamento “regular”. Este fato pode estar ligado ao enquadramento, dentro dessas outras classes, de lavouras cuja textura do solo seja menos argilosa. Com isso, há uma menor CTC nesses solos, conseqüentemente mais bases são lixiviadas.

Tabela 17 - Valores de Chance Matemática Relativa (ChMR<sub>i</sub>) estabelecidos para as diferentes classes de frequências “i” de distribuição de teores de V em amostras de solo coletadas a 20-50 cm, sob a cultura do café em Minas Gerais<sup>1</sup>

| Classe | LI   | LS   | Ni  | Ai | P(Ai/A) | P(Ai/Ni) | PRODi  | ChM    | TM   | ChMR    |
|--------|------|------|-----|----|---------|----------|--------|--------|------|---------|
|        | %    |      |     |    |         |          | sc/ha  | sc/ha  | %    | %       |
| 1      | 2,7  | 9,7  | 4   | 2  | 0,027   | 0,500    | 64,850 | 7,590  | 6,2  | 39,269  |
| 2      | 9,7  | 16,7 | 23  | 10 | 0,137   | 0,435    | 79,200 | 19,329 | 13,2 | 100,000 |
| 3      | 16,7 | 23,6 | 28  | 9  | 0,123   | 0,321    | 65,874 | 13,114 | 20,1 | 67,845  |
| 4      | 23,6 | 30,6 | 25  | 10 | 0,137   | 0,400    | 64,507 | 15,100 | 27,1 | 78,122  |
| 5      | 30,6 | 37,6 | 24  | 12 | 0,164   | 0,500    | 62,795 | 18,003 | 34,1 | 93,141  |
| 6      | 37,6 | 44,6 | 11  | 5  | 0,068   | 0,455    | 63,018 | 11,119 | 41,1 | 57,528  |
| 7      | 44,6 | 51,5 | 13  | 10 | 0,137   | 0,769    | 57,265 | 18,589 | 48,0 | 96,174  |
| 8      | 51,5 | 58,5 | 9   | 6  | 0,082   | 0,667    | 61,923 | 14,495 | 55,0 | 74,993  |
| 9      | 58,5 | 65,5 | 10  | 6  | 0,082   | 0,600    | 70,578 | 15,673 | 62,0 | 81,089  |
| 10     | 65,5 | 72,5 | 3   | 1  | 0,014   | 0,333    | 68,700 | 4,642  | 69,0 | 24,018  |
| 11     | 72,5 | 79,4 | 4   | 2  | 0,027   | 0,500    | 64,110 | 7,504  | 75,9 | 38,821  |
| Total  |      |      | 154 | 73 |         |          |        |        |      |         |

<sup>1</sup> Em cada classe de frequência, LI = limite inferior; LS = limite superior; Ni = número de amostras; Ai = número de amostras de alta produtividade; P(Ai/A) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões de alta produtividade (A = ΣAi); P(Ai/Ni) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões da classe i; PRODi = produtividade média dos talhões de alta produtividade; ChM = chance matemática; TM = teor médio da faixa de cada classe.

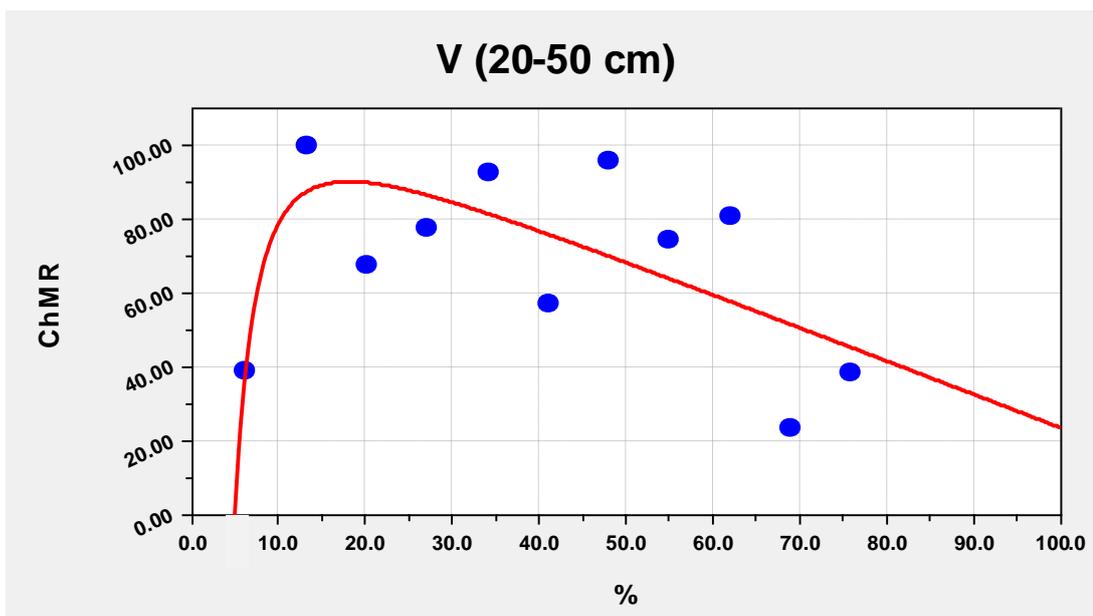


Figura 10 - Chance Matemática Relativa (ChMR) da produtividade de café no estado de Minas Gerais em função da V do solo.

Modelo: Heat Capacity;  $\hat{y} = 114,9334 - 0,9093 x - \frac{2666,1187}{x^2}$ ;  $r = 0,70$

Na camada de 20 a 50 cm, ocorreu elevada redução dos valores de V que compõem as faixas de suficiência. Esse resultado é esperado visto que algumas das bases que compõem a V, como por exemplo o cálcio, apresentam baixa mobilidade no perfil do solo.

O que talvez não fosse esperado é que a faixa de suficiência boa e o nível ótimo fossem de apenas 11 a 18% e 18% respectivamente.

Tabela 18 – Faixas de suficiência para V no solo (20-50 cm) sob lavouras de café de alta produtividade em Minas Gerais

| ChMR estimada da produtividade (%) | V (%)   | Faixas de suficiência  |
|------------------------------------|---------|------------------------|
| < 50%                              | < 7     | Muito baixa            |
| 50 – 70                            | 7 – 8   | Baixa                  |
| 70 – 90                            | 8 – 11  | Média                  |
| 90 – 100                           | 11 – 18 | Boa                    |
| 100 – 90                           | 18 – 34 | Alta                   |
| > 90%                              | > 34    | Muito alta (excessivo) |

#### 4.6 - POTÁSSIO

Na Tabela 19 estão apresentados os dados referentes à análise pelo método da chance matemática para potássio (K) na camada de 0-20 cm de profundidade. Das 156 lavouras avaliadas, 70 são lavouras de alta produtividade.

Tabela 19 - Valores de Chance Matemática Relativa (ChMR<sub>i</sub>) estabelecidos para as diferentes classes de frequências “i” de distribuição de teores de K em amostras de solo coletadas a 0-20 cm, sob a cultura do café em Minas Gerais<sup>1</sup>

| Classe | LI<br>mg/dm <sup>3</sup> | LS    | Ni  | Ai | P(Ai/A) | P(Ai/Ni) | PRODi<br>sc/ha | ChM<br>sc/ha | TM<br>mg/dm <sup>3</sup> | ChMR<br>% |
|--------|--------------------------|-------|-----|----|---------|----------|----------------|--------------|--------------------------|-----------|
| 1      | 4,8                      | 23,7  | 11  | 3  | 0,043   | 0,273    | 52,633         | 5,690        | 14,2                     | 21,629    |
| 2      | 23,7                     | 42,7  | 26  | 6  | 0,086   | 0,231    | 49,243         | 6,926        | 33,2                     | 26,325    |
| 3      | 42,7                     | 61,6  | 25  | 11 | 0,157   | 0,440    | 72,995         | 19,194       | 52,1                     | 72,956    |
| 4      | 61,6                     | 80,6  | 28  | 19 | 0,271   | 0,679    | 61,302         | 26,309       | 71,1                     | 100,000   |
| 5      | 80,6                     | 99,5  | 16  | 8  | 0,114   | 0,500    | 62,973         | 15,053       | 90,1                     | 57,218    |
| 6      | 99,5                     | 118,5 | 16  | 8  | 0,114   | 0,500    | 69,338         | 16,575       | 109,0                    | 63,001    |
| 7      | 118,5                    | 137,5 | 6   | 2  | 0,029   | 0,333    | 63,000         | 6,148        | 128,0                    | 23,369    |
| 8      | 137,5                    | 156,4 | 8   | 5  | 0,071   | 0,625    | 65,466         | 13,832       | 146,9                    | 52,576    |
| 9      | 156,4                    | 175,4 | 2   | 1  | 0,014   | 0,500    | 63,000         | 5,324        | 165,9                    | 20,238    |
| 10     | 175,4                    | 194,3 | 7   | 5  | 0,071   | 0,714    | 84,480         | 19,082       | 184,9                    | 72,531    |
| 11     | 194,3                    | 213,3 | 2   | 1  | 0,014   | 0,500    | 78,000         | 6,592        | 203,8                    | 25,057    |
| 12     | 232,2                    | 251,2 | 1   | 1  | 0,014   | 1,000    | 77,900         | 9,311        | 241,7                    | 35,391    |
| Total  |                          |       | 148 | 70 |         |          |                |              |                          |           |

<sup>1</sup> Em cada classe de frequência, LI = limite inferior; LS = limite superior; Ni = número de amostras; Ai = número de amostras de alta produtividade; P(Ai/A) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões de alta produtividade (A = ΣAi); P(Ai/Ni) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões da classe i; PRODi = produtividade média dos talhões de alta produtividade; ChM = chance matemática; TM = teor médio da faixa de cada classe.

O modelo Rational function foi o que melhor se ajustou a relação existente entre teor médio de K (TM) e ChMR da produtividade (figura 11) apresentando um coeficiente de correlação relativamente bom, considerando as condições de campo em que foram tomados os dados. Esse modelo mostra aumentos significativos na ChMR com o aumento do teor de K no solo. Após atingir um ponto máximo (nível ótimo de 73 mg/dm<sup>3</sup>), a ChMR decresce em resposta a teores mais elevados de K, podendo ser um indicativo de estabelecimento de algum tipo de desequilíbrio nutricional, envolvendo principalmente Ca e Mg.

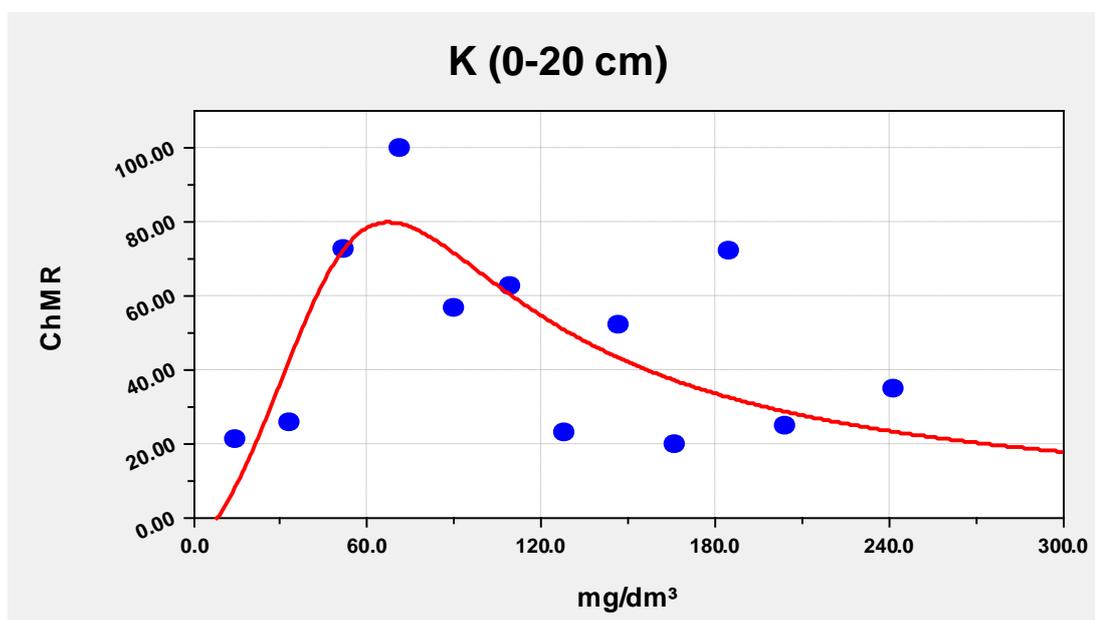


Figura 11 - Chance Matemática Relativa (ChMR) da produtividade de café no estado de Minas Gerais em função do teor de K no solo.

Modelo: Rational Function;  $\hat{y} = \frac{-8,6064 + 1,0648 x}{1 - 0,0197 x + 0,0002 x^2}$ ;  $r = 0,69$

Avaliando o teor de potássio (K) na camada de 0 a 20 cm, chegou-se a faixa de suficiência boa de 57 a 73 mg/dm<sup>3</sup> e ao nível ótimo de 73 mg/dm<sup>3</sup> (Tabela 20). Estes teores de K no solo são classificados como teor “médio” (60 – 120 mg/dm<sup>3</sup>) pela CFSEMG (Ribeiro *et al.*, 1999), para cafeeiros em produção.

Esses valores também estão abaixo da faixa adequada de K disponível no solo para cafeeiro sugerida por Malavolta (1986) entre 117 e 156 mg/dm<sup>3</sup>.

Silva *et al.* (2001) estimaram uma faixa crítica de K no solo, correspondente a 90-100% da produção máxima do cafeeiro, de 83,9 - 152,6 mg/dm<sup>3</sup>. Seu estudo foi realizado em um Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) no município de Patrocínio

(MG) em cafezais da cultivar Catuaí Vermelho com 6 anos de idade. Tais valores são, também, superiores aos encontrados neste trabalho como sendo os mais adequados.

Contudo, os resultados obtidos estão próximos ao que Garcia et al., (2003) encontraram realizando um trabalho na Fazenda Experimental do MAPA/PROCAFÉ, em Varginha, MG, com a cultivar Mundo Novo LCMP 376/4, de 6 anos de idade, em espaçamento de 3x1m. Os autores constataram que teores próximos a 60 mg/dm<sup>3</sup> de K no solo foram suficientes para atender à demanda do cafeeiro, que apresentou uma produtividade de até 60 sacas/ha.

Esses resultados, incluindo o encontrado neste trabalho, associando elevadas produtividades a teores de K no solo inferiores aos considerados adequados, parecem confirmar a afirmação de Martinez et al., (2004), de que em solos com baixa CTC a produtividade do cafeeiro é determinada predominantemente pela adubação, dependendo em menor proporção da reserva de nutrientes no solo.

Outro trabalho (Oliveira & Pereira, 1987) parece confirmar essa hipótese. Na ocasião, a maior produção obtida foi de 32 sacas/ha com aplicação de 200 kg/ha de K na forma de KCl com a cultivar Catuaí Amarelo em LV, com um teor de K de 40 mg/dm<sup>3</sup> na análise de solo inicial, no município de Caratinga, Minas Gerais, que é considerado baixo de acordo com CFSEMG (Ribeiro et al., 1999).

Tabela 20 – Faixas de suficiência para K no solo (0-20 cm) sob lavouras de café de alta produtividade em Minas Gerais

| <b>ChMR estimada da produtividade (%)</b> | <b>K (mg/dm<sup>3</sup>)</b> | <b>Faixas de suficiência</b> |
|---|------------------------------|------------------------------|
| < 50%                                     | < 36                         | Muito baixa                  |
| 50 – 70                                   | 36 – 46                      | Baixa                        |
| 70 – 90                                   | 46 – 57                      | Média                        |
| 90 – 100                                  | 57 – 73                      | Boa                          |
| 100 – 90                                  | 73 – 95                      | Alta                         |
| > 90%                                     | > 95                         | Muito alta (excessivo)       |

Tabela 21 - Valores de Chance Matemática Relativa (ChMR<sub>i</sub>) estabelecidos para as diferentes classes de frequências “i” de distribuição de teores de K em amostras de solo coletadas a 20-50 cm, sob a cultura do café em Minas Gerais<sup>1</sup>

| Classe | LI<br>mg/dm <sup>3</sup> | LS<br>mg/dm <sup>3</sup> | Ni  | Ai | P(Ai/A) | P(Ai/Ni) | PRODi<br>sc/ha | ChM<br>sc/ha | TM<br>mg/dm <sup>3</sup> | ChMR<br>% |
|--------|--------------------------|--------------------------|-----|----|---------|----------|----------------|--------------|--------------------------|-----------|
| 1      | 2,0                      | 26,8                     | 25  | 8  | 0,114   | 0,320    | 63,839         | 12,208       | 14,4                     | 48,152    |
| 2      | 26,8                     | 51,5                     | 40  | 19 | 0,271   | 0,475    | 70,611         | 25,354       | 39,1                     | 100,000   |
| 3      | 51,5                     | 76,3                     | 36  | 21 | 0,300   | 0,583    | 59,210         | 24,769       | 63,9                     | 97,694    |
| 4      | 76,3                     | 101,0                    | 29  | 15 | 0,214   | 0,517    | 65,649         | 21,856       | 88,6                     | 86,204    |
| 5      | 125,8                    | 150,5                    | 9   | 4  | 0,057   | 0,444    | 70,375         | 11,215       | 138,1                    | 44,235    |
| 6      | 150,5                    | 175,3                    | 3   | 2  | 0,029   | 0,667    | 54,750         | 7,556        | 162,9                    | 29,803    |
| 7      | 274,3                    | 299,0                    | 1   | 1  | 0,014   | 1,000    | 102,700        | 12,275       | 286,6                    | 48,415    |
| Total  |                          |                          | 143 | 70 |         |          |                |              |                          |           |

<sup>1</sup> Em cada classe de frequência, LI = limite inferior; LS = limite superior; Ni = número de amostras; Ai = número de amostras de alta produtividade; P(Ai/A) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões de alta produtividade ( $A = \sum A_i$ ); P(Ai/Ni) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões da classe i; PRODi = produtividade média dos talhões de alta produtividade; ChM = chance matemática; TM = teor médio da faixa de cada classe;

Para a camada de 20 a 50 cm de profundidade, o modelo Hoerl Model (figura 12) foi o que melhor se ajustou aos dados, apresentando um bom coeficiente de correlação, que só não foi maior devido à existência de uma classe (classe 7) com uma única amostra, (Tabela 21) que devido a sua elevada P(Ai/Ni) elevou a ChMR dessa classe, resultando num ponto discrepante considerando a tendência geral de queda da ChMR, a medida que se aumentou o teor de K no solo a valores acima do ponto de máximo. Esse resultado mostra a estreita relação entre teor de K na camada de 20 a 50 cm com a produtividade do cafeeiro.

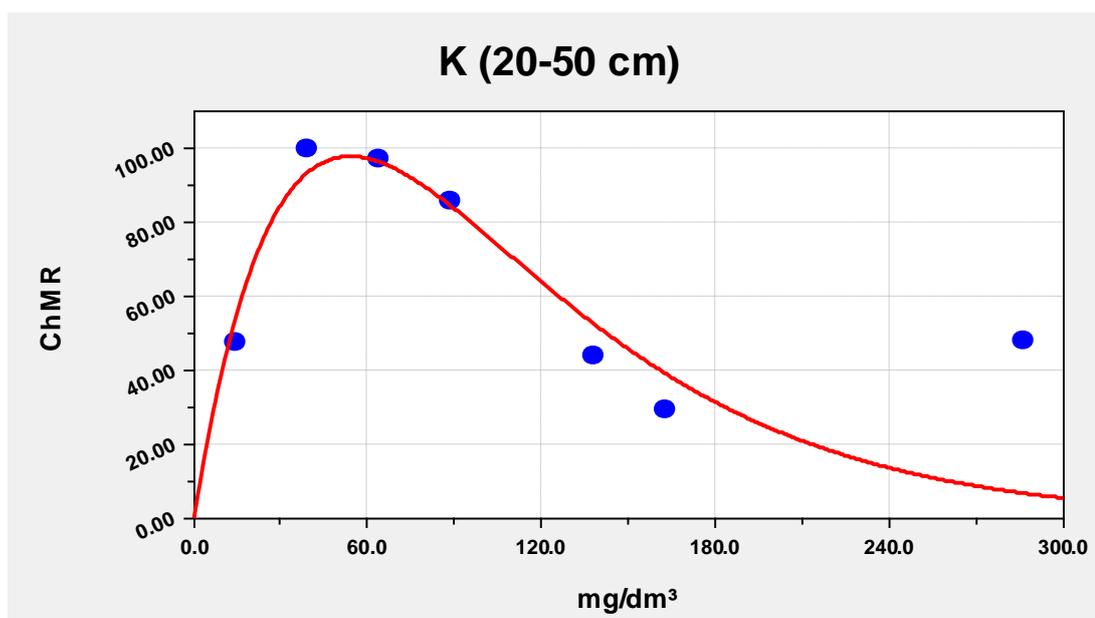


Figura 12 - Chance Matemática Relativa (ChMR) da produtividade de café no estado de Minas Gerais em função do teor de K no solo.

Modelo:Hoerl Model;  $\hat{y} = 4,9531 \times 0,9816^x \times x^{0,9990}$ ;  $r = 0,78$

As faixas de suficiência para K na camada de 20 a 50 cm do perfil do solo são apresentadas na Tabela 22.

Nota-se que, para essa camada de solo, considerando o predomínio da classe textural argilosa nos solos sob as lavouras avaliadas neste trabalho, os valores tidos como mais adequados se mostram consideráveis. Isso pode estar ligado ao uso constante de cloreto de potássio, principal fertilizante utilizado na agricultura para suprir a demanda das plantas por K. O íon cloreto apresenta certa mobilidade no perfil do solo, carreando consigo cátions como o K, aumentando sua concentração na subsuperfície.

Tabela 22 – Faixas de suficiência para K no solo (20-50 cm) sob lavouras de café de alta produtividade em Minas Gerais

| <b>ChMR estimada da produtividade (%)</b> | <b>K (mg/dm<sup>3</sup>)</b> | <b>Faixas de suficiência</b> |
|---|------------------------------|------------------------------|
| < 50%                                     | < 13                         | Muito baixa                  |
| 50 – 70                                   | 13 – 20                      | Baixa                        |
| 70 – 90                                   | 20 – 33                      | Média                        |
| 90 – 100                                  | 33 – 54                      | Boa                          |
| 100 – 90                                  | 54 – 82                      | Alta                         |
| > 90%                                     | > 82                         | Muito alta (excessivo)       |

## 4.7 - CÁLCIO

Na Tabela 23 estão apresentados os dados referentes à análise pelo método da chance matemática para cálcio (Ca) na camada de 0-20 cm de profundidade. Das 156 lavouras avaliadas, 72 são lavouras de alta produtividade.

Tabela 23 - Valores de Chance Matemática Relativa (ChMR<sub>i</sub>) estabelecidos para as diferentes classes de frequências “i” de distribuição de teores de Ca em amostras de solo coletadas a 0-20 cm, sob a cultura do café em Minas Gerais<sup>1</sup>

| Classe | LI<br>cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> | LS<br>cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> | Ni  | Ai | P(Ai/A) | P(Ai/Ni) | PRODi<br>sc/ha | ChM<br>sc/ha | TM<br>cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> | ChMR<br>% |
|--------|--|--|-----|----|---------|----------|----------------|--------------|--|-----------|
| 1      | 0,3                                      | 0,8                                      | 10  | 1  | 0,014   | 0,100    | 59,500         | 2,217        | 0,6                                      | 7,812     |
| 2      | 0,8                                      | 1,3                                      | 25  | 8  | 0,111   | 0,320    | 72,250         | 13,624       | 1,1                                      | 47,997    |
| 3      | 1,3                                      | 1,9                                      | 19  | 9  | 0,125   | 0,474    | 60,561         | 14,736       | 1,6                                      | 51,918    |
| 4      | 1,9                                      | 2,4                                      | 24  | 13 | 0,181   | 0,542    | 59,106         | 18,484       | 2,1                                      | 65,122    |
| 5      | 2,4                                      | 2,9                                      | 30  | 19 | 0,264   | 0,633    | 69,431         | 28,384       | 2,7                                      | 100,000   |
| 6      | 2,9                                      | 3,5                                      | 15  | 10 | 0,139   | 0,667    | 57,214         | 17,410       | 3,2                                      | 61,336    |
| 7      | 3,5                                      | 4,0                                      | 10  | 1  | 0,014   | 0,100    | 47,600         | 1,774        | 3,7                                      | 6,250     |
| 8      | 4,0                                      | 4,5                                      | 10  | 3  | 0,042   | 0,300    | 91,400         | 10,219       | 4,2                                      | 36,002    |
| 9      | 4,5                                      | 5,0                                      | 5   | 3  | 0,042   | 0,600    | 73,533         | 11,627       | 4,8                                      | 40,962    |
| 10     | 5,0                                      | 5,6                                      | 4   | 3  | 0,042   | 0,750    | 74,067         | 13,093       | 5,3                                      | 46,129    |
| 11     | 5,6                                      | 6,1                                      | 2   | 2  | 0,028   | 1,000    | 58,650         | 9,775        | 5,8                                      | 34,438    |
| Total  |  |  | 154 | 72 |         |          |                |              |  |           |

<sup>1</sup> Em cada classe de frequência, LI = limite inferior; LS = limite superior; Ni = número de amostras; Ai = número de amostras de alta produtividade; P(Ai/A) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões de alta produtividade (A = ΣAi); P(Ai/Ni) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões da classe i; PRODi = produtividade média dos talhões de alta produtividade; ChM = chance matemática; TM = teor médio da faixa de cada classe<sub>i</sub>.

Para o cálcio, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, o modelo Hoerl Model (figura 13) foi o que melhor se ajustou a relação existente entre TM e ChMR, apresentando um bom coeficiente de correlação. A partir da equação de regressão obtida chegou-se as faixas de suficiência apresentadas na Tabela 24, e ao nível ótimo de 2,6 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>.

Esse modelo mostra aumentos significativos na ChMR com o aumento do teor de Ca no solo. Após atingir o ponto de máximo, que correspondeu ao nível ótimo de 2,6 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> para Ca, a ChMR decresce em resposta a teores mais elevados de Ca no solo, podendo ser indicativo de que em concentrações de Ca mais elevadas ocorra algum tipo de desequilíbrio nutricional.

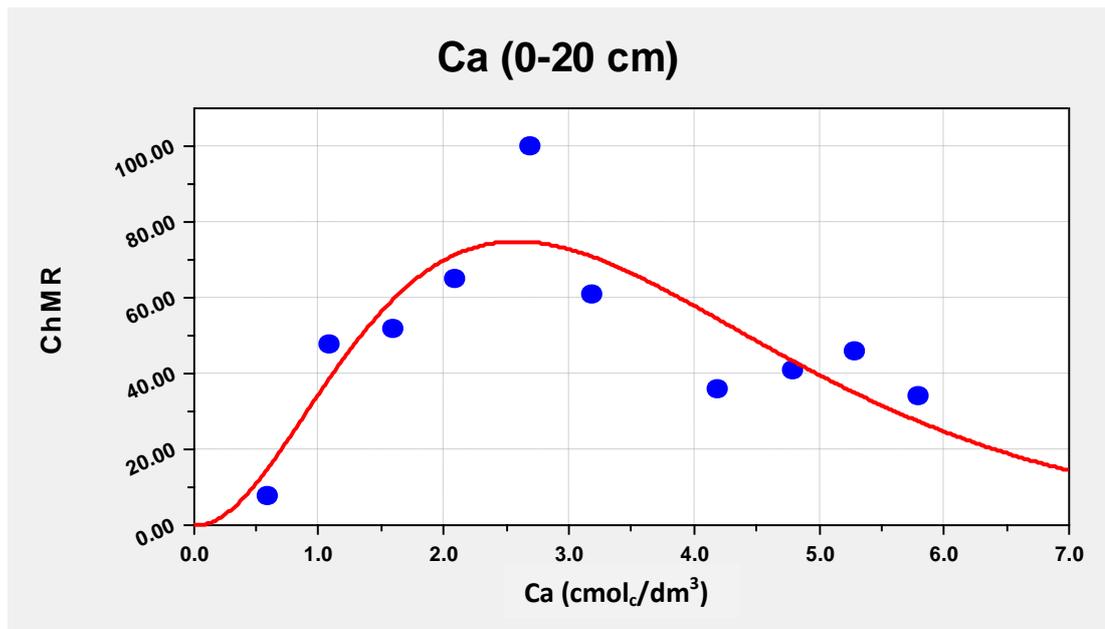


Figura 13 - Chance Matemática Relativa (ChMR) da produtividade de café no estado de Minas Gerais em função do teor de Ca no solo.

Modelo: Hoerl Model;  $\hat{y} = 84,4934 \times 0,4216^x \times x^{2,2187}$ ;  $r = 0,85$

O nível ótimo se enquadra na classe tida como “bom” pela CFSEMG (Ribeiro et al., 1999) (2,4 a 4,0 cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup>) para Ca. Vale salientar que essa classificação adotada para Ca pela CFSEMG não é específica para cultura do café. Especificamente para o cafeeiro, essa Comissão recomenda um valor de referência de 3,5 cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup> de Ca mais Mg para efeito de cálculo da necessidade de calagem empregando o método de neutralização do Al<sup>3+</sup> e da elevação dos teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>. Tomando-se esse valor e considerando-se o nível ótimo de 1,1 cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup> encontrado para Mg neste trabalho (tópico 4.8), chega-se, por diferença, ao valor de referência de 2,4 cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup> para Ca. Valor este, muito próximo do nível ótimo encontrado neste trabalho.

Por outro lado, o nível ótimo está abaixo da faixa considerada como adequada por Malavolta (1981) (3 a 4 cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup>) e acima do teor de Ca encontrado no solo por Matiello et al., (2004), de 2,0 cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup>, que correspondeu à maior produtividade (65,6 sc/ha) em um experimento com café adensado, no CEPEC – Heringer, em Martins Soares.

Tabela 24 – Faixas de suficiência para Ca no solo (0-20 cm) sob lavouras de café de alta produtividade em Minas Gerais

| <b>ChMR estimada da produtividade (%)</b> | <b>Ca (cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>)</b> | <b>Faixas de suficiência</b> |
|---|---|------------------------------|
| < 50%                                     | < 1,0                                       | Muito baixa                  |
| 50 – 70                                   | 1,0 – 1,4                                   | Baixa                        |
| 70 – 90                                   | 1,4 – 1,9                                   | Média                        |
| 90 – 100                                  | 1,9 – 2,6                                   | Boa                          |
| 100 – 90                                  | 2,6 – 3,4                                   | Alta                         |
| > 90%                                     | > 3,4                                       | Muito alta (excessivo)       |

Tabela 25 - Valores de Chance Matemática Relativa (ChMR<sub>i</sub>) estabelecidos para as diferentes classes de frequências “i” de distribuição de teores de Ca em amostras de solo coletadas a 20-50 cm, sob a cultura do café em Minas Gerais<sup>1</sup>

| <b>Classe</b> | <b>LI</b>                          | <b>LS</b> | <b>Ni</b>  | <b>Ai</b> | <b>P(Ai/A)</b> | <b>P(Ai/Ni)</b> | <b>PRODi</b> | <b>ChM</b> | <b>TM</b>                          | <b>ChMR</b> |
|---------------|------------------------------------|-----------|------------|-----------|----------------|-----------------|--------------|------------|------------------------------------|-------------|
|               | cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> |           |            |           |                |                 | sc/ha        | sc/ha      | cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> | %           |
| 1             | 0,1                                | 0,6       | 40         | 14        | 0,194          | 0,350           | 75,746       | 19,760     | 0,4                                | 72,814      |
| 2             | 0,6                                | 1,2       | 50         | 28        | 0,389          | 0,560           | 58,153       | 27,138     | 0,9                                | 100,000     |
| 3             | 1,2                                | 1,7       | 29         | 13        | 0,181          | 0,448           | 67,349       | 19,161     | 1,4                                | 70,605      |
| 4             | 1,7                                | 2,2       | 12         | 6         | 0,083          | 0,500           | 61,015       | 12,455     | 2,0                                | 45,894      |
| 5             | 2,2                                | 2,8       | 8          | 4         | 0,056          | 0,500           | 68,475       | 11,413     | 2,5                                | 42,054      |
| 6             | 2,8                                | 3,3       | 4          | 1         | 0,014          | 0,250           | 77,900       | 4,590      | 3,0                                | 16,915      |
| 7             | 3,3                                | 3,8       | 6          | 2         | 0,028          | 0,333           | 51,300       | 4,936      | 3,6                                | 18,190      |
| 8             | 3,8                                | 4,4       | 4          | 3         | 0,042          | 0,750           | 78,900       | 13,948     | 4,1                                | 51,395      |
| 9             | 4,4                                | 4,9       | 1          | 1         | 0,014          | 1,000           | 102,700      | 12,103     | 4,6                                | 44,599      |
| <b>Total</b>  |                                    |           | <b>154</b> | <b>72</b> |                |                 |              |            |                                    |             |

<sup>1</sup> Em cada classe de frequência, LI = limite inferior; LS = limite superior; Ni = número de amostras; Ai = número de amostras de alta produtividade; P(Ai/A) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões de alta produtividade (A = ΣAi); P(Ai/Ni) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões da classe i; PRODi = produtividade média dos talhões de alta produtividade; ChM = chance matemática; TM = teor médio da faixa de cada classe.

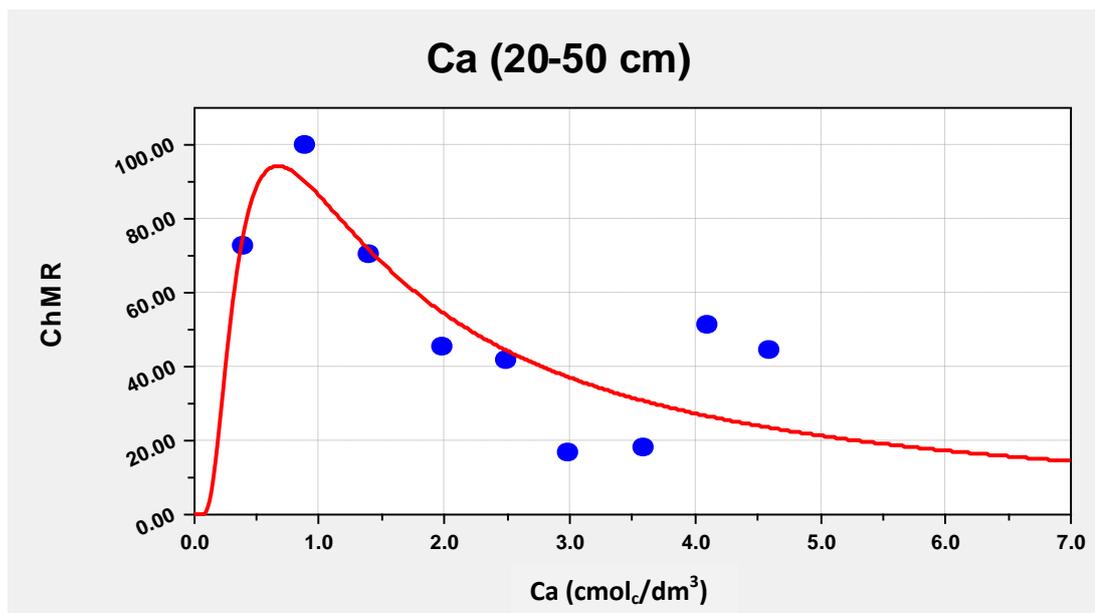


Figura 14 - Chance Matemática Relativa (ChMR) da produtividade de café no estado de Minas Gerais em função do teor de Ca no solo.

Modelo: Vapor de pressure;  $\hat{y} = e^{5,3501 - \frac{0,8884}{x} - 1,3074 \ln x}$ ;  $r = 0,82$

As faixas de suficiência para Ca na camada de 20-50 cm são apresentadas na Tabela 26. Tais valores se mostraram bem inferiores aos apresentados na camada 0 a 20 cm de profundidade, podendo ser um indicativo de que talvez a camada superior seja responsável pelo suprimento de boa parte do Ca para a planta. Cabe ressaltar que o Ca pouco se movimenta no solo, ficando a 20 cm de profundidade (Malavolta, 1981).

O resultado para o nível ótimo ( $0,7 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ ) mostrou que talvez seja necessário reavaliar os critérios de recomendação de gessagem nos estados de São Paulo e Minas Gerais, principalmente quando se visa produtividade do cafeeiro. Ambos consideram o teor de  $\text{Ca}^{2+}$  inferior a  $0,4 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$  na subsuperfície como critério para essa prática agrícola. Nota-se que o nível ótimo obtido foi quase o dobro desse valor.

Tabela 26 – Faixas de suficiência para Ca no solo (20-50 cm) sob lavouras de café de alta produtividade em Minas Gerais

| ChMR estimada da produtividade (%) | Ca (cmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup> ) | Faixas de suficiência  |
|------------------------------------|--|------------------------|
| < 50%                              | < 0,3                                    | Muito baixa            |
| 50 – 70                            | 0,3 – 0,4                                | Baixa                  |
| 70 – 90                            | 0,4 – 0,5                                | Média                  |
| 90 – 100                           | 0,5 – 0,7                                | Boa                    |
| 100 – 90                           | 0,7 – 1,0                                | Alta                   |
| > 90%                              | > 1,0                                    | Muito alta (excessivo) |

#### 4.8 - MAGNÉSIO

Na Tabela 27 estão apresentados os dados referentes à análise pelo método da chance matemática para magnésio (Mg) na camada de 0-20 cm de profundidade. Das 156 lavouras avaliadas, 72 são lavouras de alta produtividade.

Tabela 27 - Valores de Chance Matemática Relativa (ChMR<sub>i</sub>) estabelecidos para as diferentes classes de frequências “i” de distribuição de teores de Mg em amostras de solo coletadas a 0-20 cm, sob a cultura do café em Minas Gerais<sup>1</sup>

| Classe | LI<br>cmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup> | LS<br>cmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup> | Ni  | Ai | P(Ai/A) | P(Ai/Ni) | PRODi<br>sc/ha | ChM<br>sc/ha | TM<br>cmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup> | ChMR<br>% |
|--------|--|--|-----|----|---------|----------|----------------|--------------|--|-----------|
| 1      | 0,2                                      | 0,3                                      | 6   | 2  | 0,028   | 0,333    | 52,000         | 5,004        | 0,2                                      | 20,132    |
| 2      | 0,3                                      | 0,5                                      | 17  | 7  | 0,097   | 0,412    | 66,959         | 13,397       | 0,4                                      | 53,904    |
| 3      | 0,5                                      | 0,6                                      | 14  | 4  | 0,056   | 0,286    | 48,605         | 6,124        | 0,5                                      | 24,638    |
| 4      | 0,6                                      | 0,8                                      | 17  | 8  | 0,111   | 0,471    | 56,943         | 13,021       | 0,7                                      | 52,389    |
| 5      | 0,8                                      | 0,9                                      | 27  | 11 | 0,153   | 0,407    | 70,575         | 17,608       | 0,8                                      | 70,844    |
| 6      | 0,9                                      | 1,1                                      | 30  | 17 | 0,236   | 0,567    | 67,948         | 24,854       | 1,0                                      | 100,000   |
| 7      | 1,1                                      | 1,2                                      | 9   | 7  | 0,097   | 0,778    | 60,043         | 16,511       | 1,2                                      | 66,432    |
| 8      | 1,2                                      | 1,4                                      | 14  | 9  | 0,125   | 0,643    | 66,360         | 18,811       | 1,3                                      | 75,687    |
| 9      | 1,4                                      | 1,5                                      | 10  | 4  | 0,056   | 0,400    | 88,350         | 13,170       | 1,5                                      | 52,991    |
| 10     | 1,5                                      | 1,7                                      | 5   | 2  | 0,028   | 0,400    | 73,400         | 7,737        | 1,6                                      | 31,130    |
| 11     | 1,7                                      | 1,8                                      | 1   | 1  | 0,014   | 1,000    | 52,300         | 6,164        | 1,8                                      | 24,799    |
| Total  |  |  | 150 | 72 |         |          |                |              |  |           |

<sup>1</sup> Em cada classe de frequência, LI = limite inferior; LS = limite superior; Ni = número de amostras; Ai = número de amostras de alta produtividade; P(Ai/A) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões de alta produtividade ( $A = \sum A_i$ ); P(Ai/Ni) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões da classe i; PRODi = produtividade média dos talhões de alta produtividade; ChM = chance matemática; TM = teor médio da faixa de cada classe.

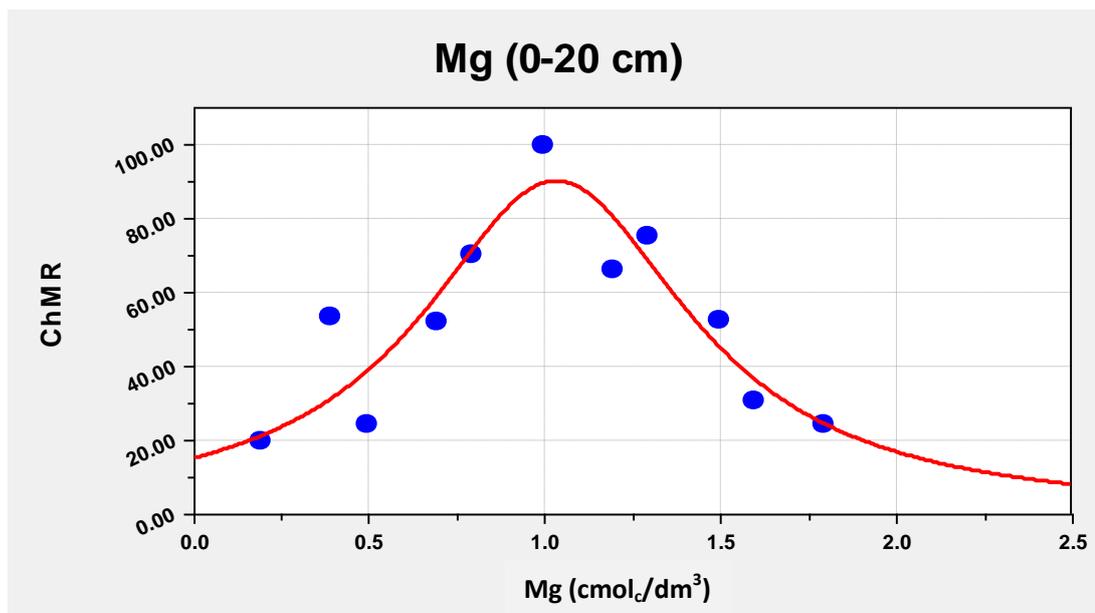


Figura 15 - Chance Matemática Relativa (ChMR) da produtividade de café no estado de Minas Gerais em função do teor de Mg no solo.

Modelo: Reciprocal Quadratic;  $\hat{y} = \frac{1}{0,0665 - 0,1049x + 0,0500x^2}$ ;  $r = 0,90$

As faixas de suficiência e o nível ótimo de magnésio relacionados à produtividade do cafeeiro são apresentadas na Tabela 28.

A faixa de suficiência boa e o nível ótimo foram 0,9 a 1,1  $\text{cmol/dm}^3$  e 1,1  $\text{cmol/dm}^3$  respectivamente. Estes valores são classificados pela CFSEMG (Ribeiro et al., 1999) também como bons, sendo que a faixa (0,91 a 1,50  $\text{cmol/dm}^3$ ) adotada pela referida Comissão é um pouco mais ampla quanto ao seu limite superior, em comparação a encontrada neste trabalho.

Tabela 28 – Faixas de suficiência para Mg no solo (0-20 cm) sob lavouras de café de alta produtividade em Minas Gerais

| ChMR estimada da produtividade (%) | Mg ( $\text{cmol/dm}^3$ ) | Faixas de suficiência  |
|------------------------------------|---------------------------|------------------------|
| < 50%                              | < 0,6                     | Muito baixa            |
| 50 – 70                            | 0,6 – 0,7                 | Baixa                  |
| 70 – 90                            | 0,7 – 0,9                 | Média                  |
| 90 – 100                           | 0,9 – 1,1                 | Boa                    |
| 100 – 90                           | 1,1 – 1,2                 | Alta                   |
| > 90%                              | > 1,2                     | Muito alta (excessivo) |

O limite inferior da faixa de suficiência boa coincide com o nível crítico no solo para Mg apresentado pela CFSEMG (Ribeiro et *al.*, 1999), que foi de 0,9 cmol/dm<sup>3</sup>.

Cabe salientar que as interpretações da referida Comissão quanto aos teores de Mg no solo são genéricas, ou seja, não são específicas para determinada cultura. No entanto, é interessante notar a concordância com os resultados deste trabalho, que mostram que é possível adotar tais valores como referência para cultura do café, especialmente no caso de lavouras que apresentam alta produtividade.

A única referência para cultura do café quanto ao teor de Mg no solo feita pela CFSEMG (Ribeiro et *al.*, 1999) está no cálculo da calagem em que se considera um teor mínimo (X) de Ca + Mg, que corresponde a 3,5 cmol/dm<sup>3</sup>. Note-se que, não se considera um valor específico para Mg, e sim, a soma desse teor com o teor de Ca presente no solo. Considerando o nível ótimo encontrado para Ca<sup>2+</sup> igual a 2,6 cmol/dm<sup>3</sup> e Mg<sup>2+</sup> de 1,1 cmol/dm<sup>3</sup>, mais uma vez, o resultado encontrado neste trabalho confirma a referência proposta pela CFSEMG (Ribeiro et *al.*, 1999).

No entanto, os resultados discordam de alguns trabalhos em que foi observada boa correlação entre teores menores de Mg no solo e produtividade. Malavolta (1981), em sua primeira tentativa de determinar algumas características químicas do solo que poderiam ser consideradas como adequadas para o cafeeiro, inferiu que para o Mg a faixa adequada seria de 0,6 a 1,0 cmol/dm<sup>3</sup>. Matiello et *al.*, (2004) observou que em lavouras de café adensadas, no CEPEC – Heringer, em Martins Soares – MG, o teor de Mg no solo correspondente à maior produtividade de café (65,6 sc/ha) foi 0,6 cmol/dm<sup>3</sup>.

A relação Ca/Mg de 2,5/1 é defendida por alguns autores como tão importante quanto seus teores individuais no solo. Esta relação foi encontrada por Malavolta (1981), em um trabalho avaliando a relação Ca/Mg para cultura do café, onde conclui que a relação 2,52/1 promoveu as maiores médias para a maioria das características de crescimento da planta avaliadas.

Tabela 29 - Valores de Chance Matemática Relativa (ChMR<sub>i</sub>) estabelecidos para as diferentes classes de frequências “i” de distribuição de teores de Mg em amostras de solo coletadas a 20-50 cm, sob a cultura do café em Minas Gerais<sup>1</sup>

| Classe | LI<br>cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> | LS<br>cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> | Ni  | Ai | P(Ai/A) | P(Ai/Ni) | PRODi<br>sc/ha | ChM<br>sc/ha | TM<br>cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> | ChMR<br>% |
|--------|--|--|-----|----|---------|----------|----------------|--------------|--|-----------|
| 1      | 0,00                                     | 0,16                                     | 11  | 2  | 0,028   | 0,182    | 80,610         | 5,729        | 0,08                                     | 24,482    |
| 2      | 0,16                                     | 0,32                                     | 28  | 13 | 0,181   | 0,464    | 60,753         | 17,590       | 0,24                                     | 75,173    |
| 3      | 0,32                                     | 0,47                                     | 19  | 7  | 0,097   | 0,368    | 59,007         | 11,168       | 0,40                                     | 47,726    |
| 4      | 0,47                                     | 0,63                                     | 34  | 13 | 0,181   | 0,382    | 63,217         | 16,610       | 0,55                                     | 70,985    |
| 5      | 0,63                                     | 0,79                                     | 18  | 11 | 0,153   | 0,611    | 72,247         | 22,076       | 0,71                                     | 94,343    |
| 6      | 0,79                                     | 0,95                                     | 25  | 16 | 0,222   | 0,640    | 62,047         | 23,399       | 0,87                                     | 100,000   |
| 7      | 0,95                                     | 1,11                                     | 10  | 6  | 0,083   | 0,600    | 69,250         | 15,485       | 1,03                                     | 66,176    |
| 8      | 1,11                                     | 1,26                                     | 4   | 2  | 0,028   | 0,500    | 66,300         | 7,814        | 1,19                                     | 33,392    |
| 9      | 1,58                                     | 1,74                                     | 3   | 1  | 0,014   | 0,333    | 100,000        | 6,804        | 1,66                                     | 29,078    |
| 10     | 1,90                                     | 2,05                                     | 1   | 1  | 0,014   | 1,000    | 102,700        | 12,103       | 1,98                                     | 51,725    |
| Total  |  |  | 153 | 72 |         |          |                |              |  |           |

<sup>1</sup> Em cada classe de frequência, LI = limite inferior; LS = limite superior; Ni = número de amostras; Ai = número de amostras de alta produtividade; P(Ai/A) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões de alta produtividade (A = ΣAi); P(Ai/Ni) = frequência de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões da classe i; PRODi = produtividade média dos talhões de alta produtividade; ChM = chance matemática; TM = teor médio da faixa de cada classe.

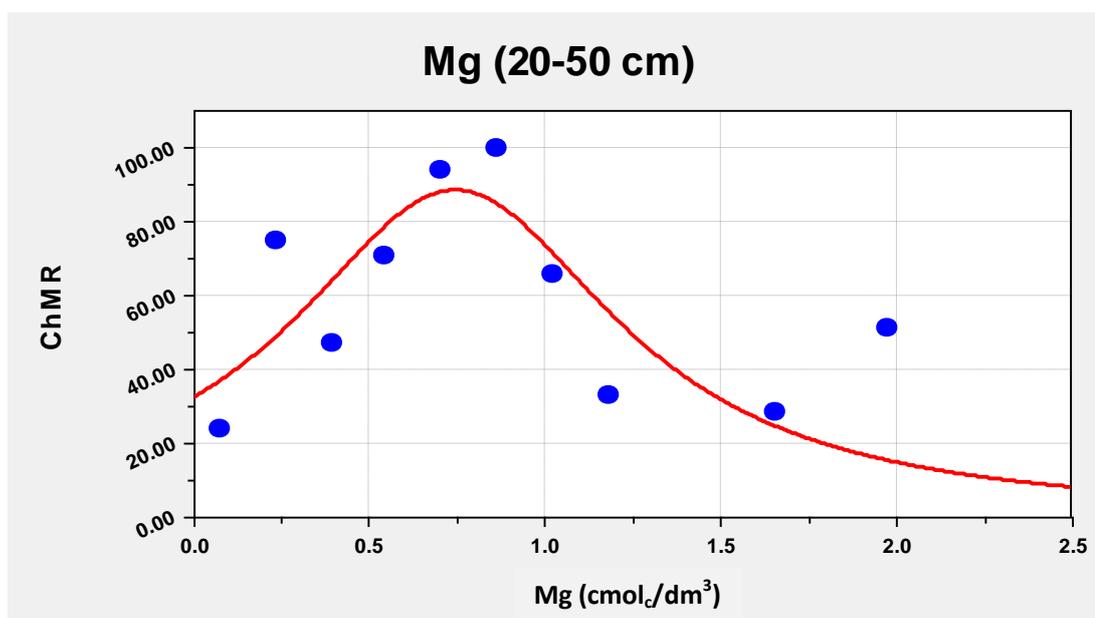


Figura 16 - Chance Matemática Relativa (ChMR) da produtividade de café no estado de Minas Gerais em função do teor de Mg no solo.

Modelo: Reciprocal Quadratic;  $\hat{y} = \frac{1}{0,0307 - 0,0518x + 0,0346x^2}$ ;  $r = 0,69$

As faixas de suficiência para Mg referentes a camada de 20 a 50 cm, são apresentadas na Tabela 30.

Tabela 30 – Faixas de suficiência para Mg no solo (20-50 cm) sob lavouras de café de alta produtividade em Minas Gerais

| <b>ChMR estimada da produtividade (%)</b> | <b>Mg (cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>)</b> | <b>Faixas de suficiência</b> |
|---|---|------------------------------|
| < 50%                                     | < 0,2                                       | Muito baixa                  |
| 50 – 70                                   | 0,2 – 0,4                                   | Baixa                        |
| 70 – 90                                   | 0,4 – 0,6                                   | Média                        |
| 90 – 100                                  | 0,6 – 0,8                                   | Boa                          |
| 100 – 90                                  | 0,8 – 0,9                                   | Alta                         |
| > 90%                                     | > 0,9                                       | Muito alta (excessivo)       |

A camada mais subsuperficial do solo (20 a 50 cm) apresentou o mesmo comportamento que a camada superficial no que se refere à distribuição de Mg no perfil do solo, com teor máximo muito próximo.

Os resultados apresentados quanto aos teores ótimos de Mg no solo prestam-se a duas considerações: a primeira de que os teores de Mg no solo relacionados a lavouras cafeeiras de alta produtividade parecem apresentar um valor máximo, em torno de 2,0 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>; a segunda, de que o Mg precisa estar, ou pelos menos está, melhor distribuído ao longo do perfil do solo, inclusive nas camadas mais subsuperficiais.

## 5 - CONCLUSÕES

1. O método da Chance Matemática permitiu redefinir as faixas de suficiência para matéria orgânica, pH,  $\text{Al}^{3+}$ , V, K,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e seus níveis ótimos no solo para o cultivo do cafeeiro. Considerando a camada de solo de 0 a 20 cm de profundidade as faixas de teores consideradas boas foram: 3,2 a 4,0 dag/kg para matéria orgânica, 5,0 a 5,4 para pH, 0,07 a 0,08  $\text{cmol}/\text{dm}^3$  para  $\text{Al}^{3+}$ , 34 a 50% para saturação por bases, 57 a 73  $\text{mg}/\text{dm}^3$  para K, 1,9 a 2,6  $\text{cmol}/\text{dm}^3$  para  $\text{Ca}^{2+}$  e 0,9 a 1,1  $\text{cmol}/\text{dm}^3$  para  $\text{Mg}^{2+}$ .

2. A matéria orgânica do solo se mostrou importante para obtenção de altas produtividades. No entanto valores superiores a 4,0 dag/kg, que correspondeu ao nível ótimo, influenciaram negativamente a produtividade.

3. O pH do solo associado as maiores produtividades se mostrou ligeiramente ácido.

4. O Al no solo deve ser totalmente neutralizado para obtenção de altas produtividades de café.

6. A faixa de teores de potássio considerada boa neste trabalho é inferior às consideradas atualmente nas tabelas de recomendação de adubação.

7. As faixas de valores de V, Ca e Mg consideradas boas neste trabalho, de modo geral, corroboram com as atualmente estabelecidas para o cultivo de café.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIC. **Associação Brasileira Da Indústria De Café**. Disponível em: <[http://www.abic.com.br/noticias/nota\\_indicadores\\_280110.html](http://www.abic.com.br/noticias/nota_indicadores_280110.html)>. Acesso em: 20/07/2012.

ANDRADE, C. E. **Calagem e Adubação do Café**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 130 p.

BATAGLIA, O. C. **Resposta à adubação fosfatada na cultura do café**. In: Fósforo na Agricultura Brasileira. Ed.: Tsuioshi Yamada e Silvia Regina Stipp e Abdalla. Piracicaba : POTAFOS, 2004. 726 p.

BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)**. A general scheme of experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. University of Natal, Pietermaritzburg. South Africa. 132p. (Soil Science Bulletin, 1) (1973).

BHARGAVA, B. S. & CHADHA, K. L. (1988). **Leaf nutrient guide for fruit and plantation crops**. Fert. News, 33:2129.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira. Café**. Safra 2011, terceira estimativa, Disponível em: < [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11\\_09\\_13\\_12\\_12\\_02\\_boletim\\_cafe\\_-\\_setembro\\_-\\_2011..pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_09_13_12_12_02_boletim_cafe_-_setembro_-_2011..pdf) > . Acesso em: 20/07/2012.

CORRÊA, J. B.; REIS, T. H. P.; POZZA, A. A. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; CARVALHO, J. G. **Índice de saturação por bases na nutrição e na produtividade de cafeeiros catuaí vermelho (Coffea arabica L.)**. Coffee Science, Lavras, v. 2, n. 2, p. 159-167, jul./dez. 2007.

DEFELIPO, B.V.; RIBEIRO, A. C. **Análise química de solo (metodologia)**. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 17 p, 1981. (Boletim de extensão Nº 29).

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A. & SANTOS, F. C. 2007. **Potássio**. Em: Fertilidade do solo. p. 551 – 594. (Eds) Roberto Ferreira Novais, Victor Hugo Alvarez V., Nairam Felix de Barros, Renildes Lúcio F. Fontes, Reinaldo Bertola Cantarutti e Julio Cesar Lima Neves. Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

FAGERIA, N. K.; V. C. BALIGAR & R. B. CLARK. 2002. **Micronutrients in crop production**. Adv. Agron. 77: 185-268

GARCIA, A. W. R. Calagem para o cafeeiro. In: RAIJ, B. van.; BATAGLIA, O. C.; SILVA, N. M. **Acidez e calagem no Brasil**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. p. 309-319

GARCIA, A. W. R. Calagem para o cafeeiro. In: MALAVOLTA, E. **Nutrição Mineral e Adubação do Cafeeiro**: Colheitas econômicas máximas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. p. 103-115

GARCIA, A. W. R.; JAPIASSÚ, L. B.; FROTA, G. B. **Determinação do Índice Ideal de Potássio no Solo para Nutrição do Cafeeiro**. Trabalho apresentado no Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil (3. : 2003 : Porto Seguro, BA). Resumos. Brasília, D.F. : Embrapa Café, 2003.

GUIMARÃES, P. T. G. & LOPES, A. S. Solos para o cafeeiro: características, propriedades e manejo. In: **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Editores: Alemar Braga Rena, Eurípedes Malavolta, Marcos Rocha e Tsuioshi Yamada. Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba, SP, 1986. 447p.

JACKSON, M. L. **Aluminum bonding in soils: A unifying principle in soil science**. Proceedings Soil Science Society of America, Madison, 27(1): 1-9, 1963.

KUPPER, A. 1983. **Fatores climáticos e edáficos na cultura cafeeira. Em: Nutrição e Adubação do Cafeeiro**. E. Malavolta, T. Yamada & J.A. Guidolin, coord. Inst. Da Potassa & Fosfato (EUA) e Inst. Internacional da Potassa (Suíça). Piracicaba. 224 p.

LOPES, A. S.; SILVA, C. A. P.; BASTOS, A. R. R. Reservas de fosfatos e produção de fertilizantes fosfatados no Brasil e no mundo. In: **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Eds.: Tsuioshi Yamada e Silvia Regina Stipp e Abdalla. Piracicaba : POTAFOS, 2004. 726 p.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: **Fertilidade do Solo**. Eds. NOVAIS, R. F., ALVAREZ V., V. H., BARROS, N. F., FONTES, R. L. F., CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J. C. L. SBCS, Viçosa, 2007. 1017p.

LUNA PEQUENO, P. L.; REIS, D. N.; SCHLINDWEIN, J. A.; LOCATELLI, M.; LEONIDAS, F. C.; VIEIRA, A. H. **Avaliação do pH, K, Ca + Mg de áreas com cafeeiro na zona da mata de Rondônia**. XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Uberlândia, MG. 2011.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E. **Informação agronômica sobre nutrientes para as culturas**. In: NUTRIFATOS. Piracicaba, 1996. p. 1-24. (POTAFOS. Arquivo do Agrônomo, nº 10).

MALAVOLTA, E. **Nutrição Mineral e Adubação do Cafeeiro**: Colheitas econômicas máximas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 210 p.

MALAVOLTA, E.; FERNANDEZ, D. R.; ROMERO, J. P. **Seja doutor do seu cafezal**. Informações Agronômicas, Campinas, v. 64, p. 1-13, 1993.

MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Eds.: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. Piracicaba: Potafos, 1986. p.136-274.

MALAVOLTA, E. **Nutrição Mineral e Adubação do Cafeeiro**. Ultrafertil S.A. -SP. 1981. (4ª Edição).

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Academic Press, 2 Ed, New York, 1995. 889p.

MARTINEZ, H. E. P.; TOMAZ, M. A.; KAKIYAMA, N. S.; **Guia de acompanhamento das aulas de cafeicultura**. 2 ed. Viçosa. Ed. UFV, 2007. 152 p.

MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; ÁLVAREZ V., V. H.; MENEZES, J. F. S.; NEVES, Y. P.; OLIVEIRA, J. A.; ALVARENGA, A.P.; GUIMARÃES, P. T. **Nutrição mineral, fertilidade do solo e produtividade do cafeeiro nas regiões de Patrocínio, Manhuaçu, Viçosa, São Sebastião do Paraíso e Guaxupé**. 2 ed . Viçosa: Epamig, 2004. 60p. (Boletim Técnico; n.72).

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil**. Novo Manual de recomendações. MAPA/PROCAFÉ. Varginha – MG, 2005.

MATIELLO, J. B.; MENDONÇA, S. M.; AMARAL, A. S.; FILHO, S. L. E LOUBACK A. S. **Observações sobre o suprimento de potássio em lavouras cafeeiras em desequilíbrio na zona da mata de minas**. In: 30º Congresso Brasileiro de pesquisa Cafeeira. São Lourenço, MG. 2004.

MATIELLO, J.B. **O Café: do cultivo ao consumo**. São Paulo : Globo, 1991. – Coleção do Agricultor. (Publicações Globo Rural). 1991. 320 p.

MENDONÇA, S. M.; MARTINEZ, H. E. P.; NEVES, J. C. L.; GUIMARÃES, P. T. G.; PEDROSA, A. W. Coffee tree (*Coffea arabica* L.) **Response to limestone in soil with High aluminum saturation.** Coffee Science, Lavras, v. 2, n. 2, p. 112-122, jul./dez. 2007.

NEVES, Y. P.; MARTINEZ, H. E. P.; AMARAL, J. F. T.; SOUZA, R. B.; DOMINGOS, D. R. **Productividad y acumulación de materia seca, N, P y K por cultivares de *Coffea arábica* L.** Coffee Science, Lavras, v.1, n.2, p. 156-167, jul./dez. 2006.

NOGUEIRA, F. D.; SILVA, E. B.; GUIMARÃES, P. T. G. **Adubação potássica do cafeeiro:** sulfato de potássio. Washington: SOPIB, 2001. 81 p.

OLIVEIRA, J. A. & PEREIRA, J. E. **Efeito da adubação nitrogenada e potássica na formação e produção do cafeeiro em LVHd.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 14., 1987, Campinas, SP. Anais... Rio de Janeiro: IBC/ GERCA, 1987. p. 133-136.

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. P.; MESQUITA FILHO, L. **Manejo da adubação para formação de lavouras cafeeiras.** Pesq. Agropec. Bras., 21(1):33-42, 1986.

PRADO, R. M.; NASCIMENTO, V. M. **Manejo da Adubação do Cafeeiro no Brasil.** Ilha Solteira: UNESP/FEIS, 2003. 274 p.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. & FURLANI, A. M. C. Eds. **Recomendação de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo, (Boletim Técnico 100)** 2ª ed. Campinas, Instituto Agrônômico & Fundação IAC, 1996. 285p.

RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo.** Piracicaba: Instituto de Potassa & Fosfato; Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142 p.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ VIEGAS, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação.** Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

SILVA, I. R. & MENDONÇA, E. S. **Matéria Orgânica do Solo.** In: **Fertilidade do Solo.** Eds.: NOVAIS, R. F., ALVAREZ V., V. H., BARROS, N. F., FONTES, R. L. F., CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J. C. L. SBCS, Viçosa, 2007. 1017p.

SILVA, E. B.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G.; NETO, A. E. F. **Adubação potássica do cafeeiro:** produção, faixas críticas de nutrientes no solo e nas folhas. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.25, n.4, p. 801-811, jul./ago., 2001.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. M. & OLIVEIRA S.A. 2007. Acidez do solo e sua correção. In: **Fertilidade do solo**. p. 206 – 232. Eds.: NOVAIS, R. F., ALVAREZ V., V. H., BARROS, N. F., FONTES, R. L. F., CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J. C. L. SBCS, Viçosa, 2007. 1017p.

WADT, P. G. S.; ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; FONSECA, S. & BARROS, N. F. **O método da Chance Matemática na interpretação de dados de levantamento nutricional de Eucalyptus**. *R. Bras. Ci. Solo*, 22(4): 773-778, 1998a.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; FONSECA, S. & BARROS, N. F. **Valores de referência para macronutrientes em eucalipto obtidos pelos métodos DRIS e Chance Matemática**. *R. Bras. Ci. Solo*, 22(4): 685-692, 1998b.

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, UFV, 1996. 99p. (Tese de Doutorado).