

## **Eficiência técnica e fertilidade do solo: estudo da relação espacial para o caso da agricultura de Machadinho d’Oeste, RO**

**Eliane Gonçalves Gomes**

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Secretaria de Gestão e Estratégia  
Parque Estação Biológica, W3 Norte final, 70770-901, Asa Norte, Brasília, DF  
eliane.gomes@embrapa.br

**João Alfredo de Carvalho Mangabeira**

Embrapa Monitoramento por Satélite  
Av. Dr. Júlio Soares de Arruda 803, 13088-300, Parque São Quirino, Campinas, SP  
manga@cnpm.embrapa.br

**Gustavo Souza Valladares**

Embrapa Monitoramento por Satélite  
Av. Dr. Júlio Soares de Arruda 803, 13088-300, Parque São Quirino, Campinas, SP  
gustavo@cnpm.embrapa.br

**Mateus Batistella**

Embrapa Monitoramento por Satélite  
Av. Dr. Júlio Soares de Arruda 803, 13088-300, Parque São Quirino, Campinas, SP  
mb@cnpm.embrapa.br

**Área Temática: 7 Agricultura familiar**

**Forma de Apresentação: Apresentação com presidente de sessão e sem a presença de debatedor**

## **Eficiência técnica e fertilidade do solo: estudo da relação espacial para o caso da agricultura de Machadinho d’Oeste, RO**

### **Resumo**

*É fato que o tipo de solo (por suas propriedades químicas, morfológicas ou físicas) e fatores socioeconômicos influenciam na produção das culturas agrícolas. Este artigo tem como objetivo analisar a relação espacial entre a eficiência técnica (medida com uso de modelos de Análise de Envoltória de Dados) e a tipologia de solos (com ênfase na fertilidade) para o Projeto de Assentamento de Machadinho d’Oeste, em Rondônia. As variáveis usadas têm origem em coletas em pesquisa de campo junto a uma amostra de agricultores. Técnicas de geoprocessamento foram empregadas na espacialização dos atributos dos solos e na análise de sua relação espacial com a eficiência da agricultura de Machadinho d’Oeste.*

**PALAVRAS-CHAVE:** Agricultura familiar, Eficiência técnica, Fertilidade dos solos

## **Eficiência técnica e fertilidade do solo: estudo da relação espacial para o caso da agricultura de Machadinho d’Oeste, RO**

### **1. INTRODUÇÃO**

Uma gestão adequada de políticas públicas e de ações governamentais é pautada em informações, geralmente provenientes de diagnósticos de uma dada realidade. No caso específico de Projetos de Assentamento da Reforma Agrária na Amazônia, diagnósticos são igualmente importantes pela carência de informações sobre a qualidade e sobre a quantificação dos processos praticados ao longo do tempo, já que sugerem índices objetivos e tecnicamente justificáveis, a partir dos quais a administração pública poderá pautar a gestão de suas políticas.

No município de Machadinho d’Oeste, em Rondônia, há 20 anos são acompanhadas mais de 300 pequenas propriedades rurais, junto às quais são coletadas informações sobre cerca de 250 variáveis biofísicas, socioeconômicas e ambientais. A cada três anos, aproximadamente, é traçado um perfil da agricultura e dos agricultores da região. Todos os dados obtidos são geocodificados e tratados estatisticamente, servindo para construção e avaliação de indicadores agronômicos, socioeconômicos e ambientais sobre a evolução temporal e espacial da agricultura na região. Nesse contexto, perfis agrosocioeconômicos dos agricultores e da agricultura praticada em Machadinho d’Oeste foram obtidos em campo nos anos de 1986, 1989, 1993, 1996, 1999 e 2002 (MIRANDA et al., 1999b, 2002). Foram realizadas algumas avaliações sobre o desempenho da agricultura dessa região, tanto em termos de sua sustentabilidade (MANGABEIRA et al., 1998) quanto em relação à evolução da produtividade agrícola (MIRANDA et al., 1999a).

Este artigo apresenta uma avaliação do desempenho da agricultura de Machadinho d’Oeste com uso de metodologia até então não empregada para a região. São usados modelos de Análise de Envoltória de Dados, para medir a eficiência técnica de uma amostra de agricultores de Machadinho. Foram usados os dados da pesquisa de campo conduzida em 1999. As medidas de eficiência foram, então, espacializadas, e buscou-se explicar as eficiências e ineficiências a partir de características espaciais, não inseridas no modelo. Nesta etapa, usou-se a tipologia de solos de cada propriedade (em especial, em termos de variáveis referentes à fertilidade do solo) para verificar se havia ou não relação espacial com a eficiência técnica. Esta abordagem é semelhante à de Mangabeira et al. (2005), que usaram um indicador de produtividade, ao invés de um índice de eficiência, para buscar relação espacial com o tipo de solo.

### **2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

Machadinho d’Oeste localiza-se entre os Municípios de Ariquemes e Jaru, distanciados aproximadamente 400 km da capital do Estado de Rondônia, Porto Velho, entre as coordenadas geográficas 61°47' e 63°00' de longitude WGr e 9°19' e 10°00' de latitude S (Figura 1).

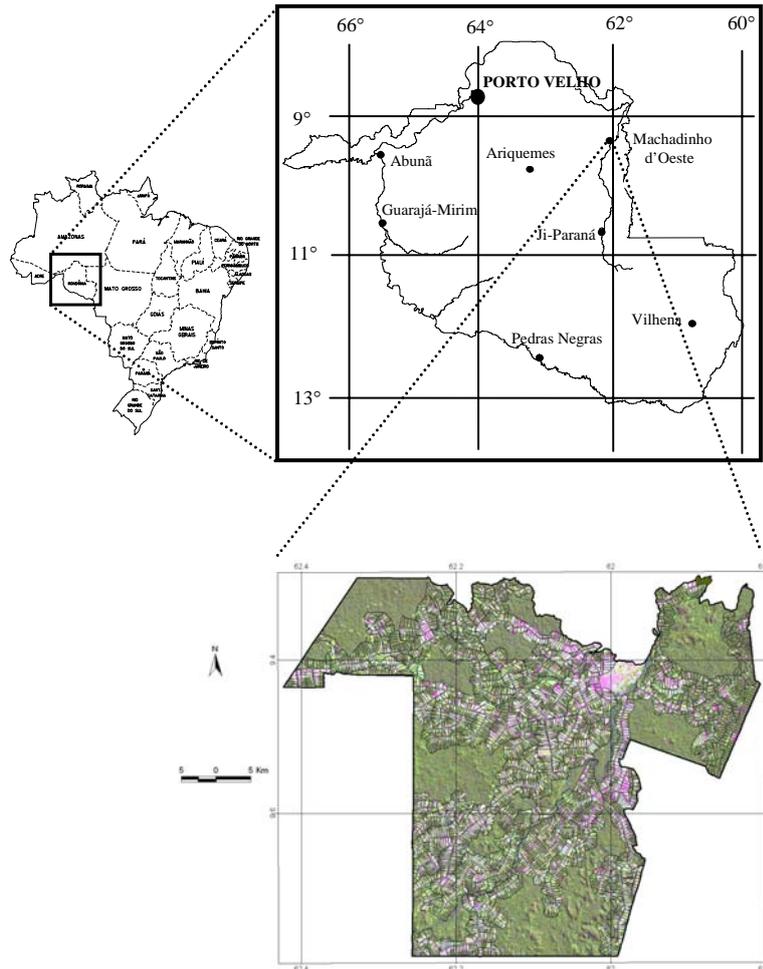


Figura 1: Localização de Machadinho d'Oeste no Estado de Rondônia.

Enquanto a maioria dos assentamentos rurais de Rondônia foi implantada seguindo o modelo “espinha de peixe”, no Projeto de Assentamento (PA) de Machadinho as estradas e lotes acompanham a topografia. Além disso, o PA também incluiu reservas florestais, posteriormente decretadas como Reservas Extrativistas Estaduais. Com sua elevação à condição de município em 1988, seus limites foram ampliados, novas áreas foram incorporadas (4 outros projetos de colonização e 8 centros urbanos), resultando em uma área total de 8.556 km<sup>2</sup>. Atualmente, novos lotes estão sendo implantados e regularizados pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – Inbra, em difíceis condições após processos de ocupação desordenada de determinados setores do município.

Em 1984, o já criado PA Machadinho tinha uma infra-estrutura mínima para a colonização agrícola (estradas, núcleos urbanos de apoio, projeto fundiária implantado, lotes demarcados etc.). Foi dimensionado inicialmente para um total de 3.000 famílias de colonos, das quais mais de 2.000 já haviam chegado em 1984.

Em 1986 foi definido um projeto de pesquisa que pretende acompanhar, por um período de 100 anos, os sistemas de produção agrícola praticados por pequenos agricultores desta região e sua sustentabilidade. A cada três anos são feitas investigações de campo com aplicação de questionários, com cerca de 250 variáveis agrosocioeconômicas e ambientais, sobre uma ampla amostra de propriedades. E, a cada ano, o uso das terras é monitorado por imagens de satélites e espacializado em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Em 1986 foi realizado um esforço de amostragem, que cobriu cerca de 15% dos lotes (uma primeira amostra de 588 lotes – 20% do total – apresentou muitos lotes desocupados e foi

redimensionada): 125 na Gleba 1, 228 na Gleba 2, 47 na Gleba 3, 38 na Gleba 6, perfazendo 438 lotes, que representavam 54,1% dos lotes ocupados. Essa amostra aleatória e estratificada foi geocodificada, conforme Figura 2.

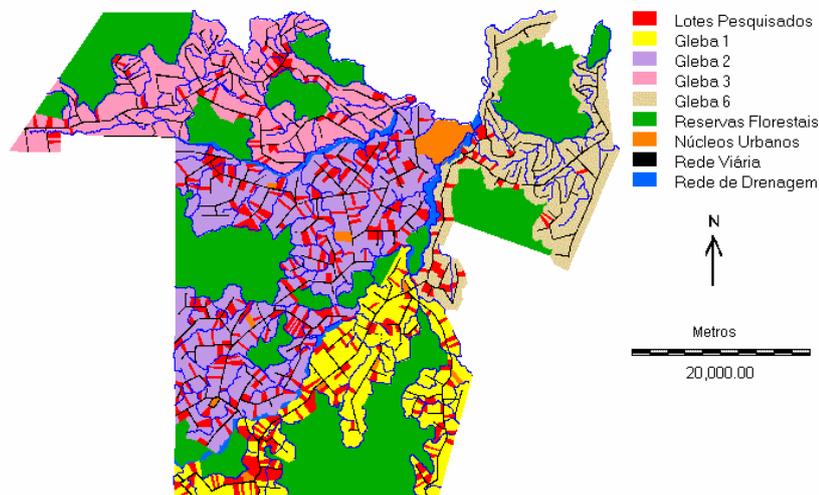


Figura 2: Amostra de 438 propriedades geocodificadas em um Sistema de Informações Geográficas.

Os resultados da primeira campanha de levantamento de dados *in loco* permitiram definir um primeiro perfil dos agricultores recém chegados e da agricultura. Alguns modelos da evolução possível da agricultura e de seu impacto foram desenvolvidos e aplicados. Em 1989, um novo levantamento permitiu elaborar e espacializar em SIG o perfil da agricultura e dos agricultores. Em 1993, outra etapa foi realizada, aprofundando aspectos vinculados à economia e ao meio ambiente.

Em 1996, a pesquisa de campo amostrou as mesmas 438 propriedades investigadas em 1986, porém, houve visitação às propriedades não ocupadas em 1986, daquela amostra sorteada inicialmente de 588 propriedades. O primeiro tratamento dos dados mostrou que, em 10 anos, houve mudanças profundas nas propriedades, tanto na estrutura como nos sistemas de produção (MIRANDA et al., 1997). Pesquisas realizadas a partir de imagens de sensoriamento remoto e de dados de estrutura da vegetação permitiram a identificação de trajetórias de uso e cobertura das terras no conjunto de propriedades do assentamento (BATISTELLA, 2001; BATISTELLA et al., 2003).

Em agosto 1999, em um novo levantamento de campo, foram entrevistados 439 agricultores e caracterizados seus sistemas de produção. Caso a propriedade tivesse mudado de dono, o novo responsável era entrevistado e, dessa forma, foi elaborado um novo perfil dos agricultores e da agricultura. Neste mesmo ano foi feito um levantamento sobre os solos agrícolas das propriedades pesquisadas, quanto às suas características químicas, físicas e morfológicas (BOGNOLA, SOARES, 1999).

Diante desse quadro, a Tabela 1 ilustra a evolução do esforço de amostragem realizado nos diversos levantamentos de campo entre 1986 e 1999, ao mesmo tempo em que fornecem indicações sobre a taxa de ocupação das propriedades ao longo desse período.

Em continuidade ao trabalho de monitoramento da pequena agricultura nesta região, em setembro e outubro de 2002 um novo levantamento foi conduzido junto às propriedades estudadas em anos anteriores, atualizando as variáveis sobre os sistemas de produção praticados. Foi igualmente realizado um novo levantamento sobre a tipologia de solos (VALLADARES et al., 2003), com o objetivo de melhorar aquele realizado em 1999.

Tabela 1: Lotes ocupados e taxa de ocupação para os levantamentos de campo em Machadinho d’Oeste, de 1986 a 1999.

	lotes ocupados	taxa de ocupação (%)
1986	438	74,5
1989	355	60,7
1996	391	66,5
1999	439	74,5

Os dados desse último levantamento (ano de 2002) encontram-se em fase de publicação e, por este motivo, este artigo concentra-se nas últimas informações publicadas, ou seja, naquelas referentes ao ano de 1999. Cabe ressaltar, entretanto, que a abordagem aqui apresentada é passível de uso para os demais anos de estudo em Machadinho, bem como para generalização em outros sistemas agrícolas de produção em diferentes regiões do país. No tocante à prospeção de campo, foi utilizada uma ficha de levantamento da propriedade rural visando uma descrição, tão objetiva quanto possível, da realidade dos agricultores. Ela garantiu também uma uniformidade de linguagem na obtenção de dados, visando tratamentos informatizados. A ficha definida foi testada e elaborada em função das informações disponíveis sobre o objeto em estudo e dos objetivos deste trabalho. Ela reúne cerca de 250 variáveis, sendo as principais:

1. Descritores de localização e situação das propriedades (12 variáveis);
2. Descritores socioeconômicos (83 variáveis);
3. Descritores agrônômicos (30 variáveis para cada cultura e 14 variáveis para a pecuária).

### **CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS DE MACHADINHO D’OESTE**

O mapeamento pedológico das glebas da margem esquerda do Rio Machadinho, em Machadinho d’Oeste, foi realizado pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos da Embrapa e publicado por Embrapa (1982). Valladares et al. (2003) digitalizaram esse mapa em SIG, atualizaram sua legenda ao Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999) e adaptaram algumas das unidades de mapeamento à escala 1:100.000. Essa área abrange uma superfície de aproximadamente 180.000 ha. A delimitação das unidades de mapeamento de solos foram baseadas em imagens TM e ETM do satélite Landsat, fotografias aéreas (escala 1:100.000), imagens de radar (escala 1:250.000), com ajustes no campo. Os solos foram descritos, coletados, caracterizados e classificados segundo metodologias utilizadas e recomendadas pela Embrapa. As glebas do PA localizadas na margem direita do Rio Machadinho foram levantadas recentemente, e foram igualmente mapeadas e digitalizadas em SIG (VALLADARES et al., 2003).

A geologia da área é caracterizada por materiais de diferentes períodos, a saber:

- Mesoproterozóico: Suíte Intrusiva Serra da Providência, caracterizada por anfibólio-biotita monzogranitos, biotita monzogranito, biotita sienogranitos, charnockiitos, mangeritos e rochas básicas;
- Paleoproterozóico-Mesoproterozóico: Complexo Jamari, com predomínio de gnaisses de composição granítica e granodiorítica, secundariamente diorítica, quartzo-diorítica e tonalítica, menor ocorrência de anfíbolitos e rochas intermediárias e básicas;
- Cenozóico: Lateritos Imaturos plúnticos ou petroplúnticos e Coberturas Sedimentares do Quaternário.

O relevo local apresenta variação, podendo ser dissecado em cristas com vertentes pronunciadas e serras, com altitudes superiores a 200 m. Entre 100 e 200 m, referente à depressão interplanáltica, ocorrem superfícies aplainadas com drenagem dendrítica e, em outros momentos, encostas.

A vegetação natural é caracterizada por floresta equatorial subperenifólia e floresta equatorial de várzea. O clima é caracterizado como megatérmico, com temperaturas mínimas superiores a 18°C, tipo *Am* segundo a classificação de Koeppen. Os meses de junho e julho são os mais secos e a precipitação média anual é superior a 2000 mm.

Em função da diversidade litológica e do relevo, os solos identificados apresentam grandes variações em suas propriedades morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas. Nas serras e cristas com influência de rochas intermediárias ou básicas são predominantes os Nitossolos Vermelhos Eutróficos e Distróficos; com menor frequência ocorrem Nitossolos Háplicos, Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos Distróficos, todos solos bem drenados e profundos, com predomínio de textura argilosa ou muito argilosa.

Nas depressões interplanálticas, em ambientes ainda dissecados com relevo de topos aplainados ou em encostas que drenam para os cursos d'água, ocorrem os solos predominantes na área de estudo, Latossolos Amarelos Distróficos, ácidos e com alta saturação por alumínio. Esses solos quando sofrem alguma influência de rochas intermediárias podem apresentar caráter mesoférico.

Os solos formados de lateritos imaturos, quando apresentam plintita ou petroplintita no perfil, são classificados como Latossolos ou Argissolos plínticos (no quarto nível categórico) ou até mesmo Plintossolos Argilúvicos e Pétricos. Esse solos são mais comuns nos terços médios e inferiores de encostas, onde afloram as plintitas. Porém, podem também ocorrer em relevos aplainados, onde são predominantes Latossolos e, com menor frequência, Argissolos Amarelos.

Nos terraços aluviais, próximos aos igarapés, em ambiente de hidromorfismo, formados de sedimentos do quaternário, ocorrem Gleissolos Háplicos e, mais raramente, os Melânicos. No vale do Rio Machadinho são comuns os Gleissolos Háplicos Distróficos plínticos, onde o horizonte plíntico ocorre abaixo da seção de controle e do horizonte glei. Em Embrapa (1982) esses solos foram mapeados como Plintossolos.

A legenda do mapa, elaborada por Valladares et al. (2003) e apresentada a seguir, é composta por unidades simples e associações de solos:

- PAd1- Argissolo Amarelo Distrófico típico, A moderado, textura média/argilosa, fase relevo plano e suave ondulado;
- PAd2- Argissolo Amarelo Distrófico típico, A moderado, textura média/argilosa, fase relevo forte ondulado;
- PAd3- Argissolo Amarelo Distrófico típico, A moderado, textura média/argilosa, fase ligeiramente pedregosa relevo suave ondulado;
- PAd4- Argissolo Amarelo Distrófico típico, A moderado, textura média/argilosa, fase moderadamente rochosa relevo ondulado e forte ondulado;
- PAd5- Associação de Argissolo Amarelo, textura média/argilosa + Latossolo Amarelo, textura argilosa, ambos Distróficos típicos, A moderado, fase relevo suave ondulado e ondulado;
- GXd1- Gleissolo Háplico Distrófico plíntico, A moderado, textura indiscriminada, fase relevo plano;
- GXd2- Gleissolo Háplico e Melânico Tb Distrófico típico, textura indiscriminada, fase relevo plano;
- LAd1- Latossolo Amarelo Distrófico típico e argissólico, A moderado, textura argilosa e muito argilosa, fase relevo plano e suave ondulado;

- LAd2- Latossolo Amarelo Distrófico típico e argissólico, A moderado, textura argilosa e muito argilosa, fase relevo plano e suave ondulado, caráter mesoférrico;
- LAd3- Latossolo Amarelo Distrófico típico, A moderado, textura média, fase relevo plano e suave ondulado;
- LAd4- Latossolo Amarelo Distrófico típico, A moderado, textura argilosa e muito argilosa, fase relevo ondulado;
- LAd5- Latossolo Amarelo Distrófico típico, A moderado, textura argilosa e muito argilosa, fase relevo ondulado e forte ondulado, caráter mesoférrico;
- LAd6- Associação de Latossolo Amarelo Distrófico plíntico, textura argilosa com cascalho + Plintossolo Pétrico Concrecionário típico, textura argilosa muito cascalhenta, ambos A moderado, fase relevo plano e suave ondulado;
- LAd7- Associação de Latossolo Amarelo textura argilosa e muito argilosa + Argissolo Amarelo textura arenosa/média ou média/argilosa, ambos Distróficos típicos, A moderado, fase relevo ondulado;
- LAd8- Associação de Latossolo Amarelo textura média ou argilosa cascalhenta + Argissolo Amarelo textura média/argilosa cascalhenta, ambos Distróficos plínticos + Plintossolo Argilúvico Distrófico típico, textura média muito cascalhenta, todos A moderado, fase relevo suave ondulado e ondulado;
- LVAd1- Associação de Latossolo Vermelho-Amarelo + Latossolo Amarelo, ambos Distróficos típicos, A moderado, textura argilosa e muito argilosa, fase relevo plano e suave ondulado;
- LVAd2- Associação de Latossolo Vermelho-Amarelo + Latossolo Amarelo, ambos Distróficos típicos, A moderado, textura argilosa e muito argilosa, fase relevo ondulado;
- NVe1- Nitossolo Vermelho Eutrófico e Distrófico, A moderado, textura argilosa/muito argilosa, fase ligeiramente pedregosa, relevo suave ondulado e ondulado;
- NVe2- Nitossolo Vermelho Eutrófico e Distrófico, A moderado, textura argilosa/muito argilosa, fase moderadamente rochosa, relevo ondulado a montanhoso;
- NVe3- Associação de Nitossolo Vermelho Eutrófico e Distrófico típico + Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico argissólico, ambos A moderado, textura argilosa e muito argilosa, fase relevo suave ondulado;
- NVe4- Associação de Nitossolo + Latossolo ambos Vermelhos Eutróficos e Distróficos típicos, A moderado, textura argilosa e muito argilosa, fase relevo suave ondulado;
- RLd- Complexo de Neossolo Litólico Distrófico típico, A moderado, textura média cascalhenta + Afloramentos de Rocha, fase relevo suave ondulado e moderadamente ondulado.

As unidades de mapeamento onde os Latossolos Amarelos Distróficos são os principais componentes representam mais de 50% da área de estudo (Tabela 2). A Figura 3 apresenta o mapa de solos da Gleba Machadinho (VALLADARES et al., 2003).

### **3. MEDIDAS DE EFICIÊNCIA TÉCNICA: A ABORDAGEM POR ANÁLISE DE ENVOLTÓRIA DE DADOS**

Em agricultura, assim como em outras áreas de estudo, os temas produtividade e eficiência devem ser diferenciados, já que não encerram o mesmo conceito. Por exemplo, usar toneladas de grão por hectare como medida de eficiência de um produtor rural pode acarretar em erro, já que medidas desse tipo apresentam a deficiência de não considerarem outros recursos na medida de eficiência, como mão-de-obra, maquinarias, combustível,

fertilizantes etc. (GOMES et al., 2003). Assim, o uso dessa medida na formulação de políticas pode resultar não só no uso excessivo dos recursos não incluídos na medida de eficiência, mas também na imposição de metas irrealistas.

Tabela 2: Símbolo, extensão e distribuição percentual das unidades de mapeamento.

Símbolo	Área (ha)	Distribuição (%)	Símbolo	Área (ha)	Distribuição (%)
PAd1	1.818,8	1,0	LAd6	3.382,0	1,9
PAd2	196,5	0,1	LAd7	1.842,8	1,0
PAd3	221,8	0,1	LAd8	4.584,3	2,5
PAd4	2.160,9	1,2	LVAd1	2.844,3	1,6
PAd5	15.021,2	8,3	LVAd2	2.273,7	1,3
GXd1	4.461,4	2,5	NVe1	2.084,5	1,2
GXd2	24.140,2	13,4	NVe2	5.312,4	2,9
LAd1	41.600,0	23,0	NVe3	2.115,7	1,2
LAd2	47.757,3	26,4	NVe4	401,5	0,2
LAd3	236,7	0,1	RLd	159,4	0,1
LAd4	7.270,5	4,0	Total	180.601,6	100,0
LAd5	10.715,7	5,9			

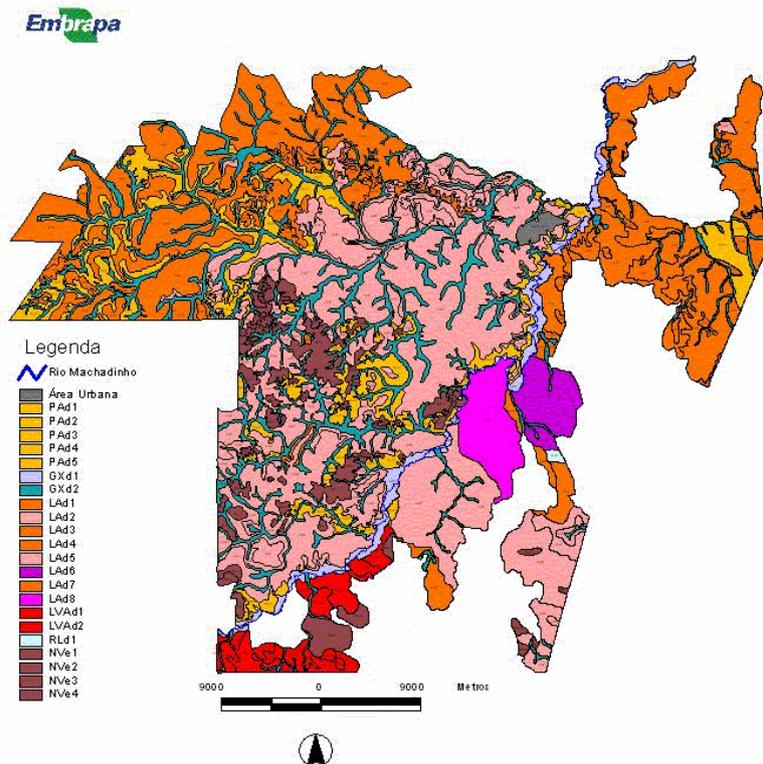


Figura 3: Mapa de reconhecimento de média intensidade de solos da Gleba Machado, RO.

A Análise de Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*) tem como objetivo calcular a eficiência de unidades produtivas, chamadas de unidades de tomada de decisão ou DMUs (*Decision Making Units*). Em sua formulação, DEA usa problemas de programação linear (PPLs) que otimizam cada observação individual de modo a estimar

uma fronteira eficiente (linear por partes), composta das unidades que apresentam as melhores práticas dentro da amostra em avaliação (unidades Pareto-Koopmans eficientes). Essas unidades servem como referência ou *benchmark* para as unidades ineficientes.

A eficiência relativa de uma DMU é definida como a razão da soma ponderada de produtos pela soma ponderada de insumos necessários para gerá-los. Os pesos usados nas ponderações são obtidos de um programa de programação fracionária, posteriormente linearizado, que atribui a cada DMU os pesos que maximizam a sua eficiência. Seu uso é de particular interesse quando deseja-se determinar a eficiência de unidades produtivas onde não seja relevante ou não se deseja considerar somente o aspecto financeiro (GOMES, 2003).

A vantagem de DEA frente a outros modelos de produção é a capacidade de incorporar múltiplos *inputs* (entradas, recursos, insumos ou fatores de produção) e múltiplos *outputs* (saídas ou produtos) para o cálculo de uma medida de eficiência única, com ou sem a incorporação de julgamentos subjetivos por parte dos decisores.

Há dois modelos DEA clássicos. O modelo CCR (também conhecido por CRS ou *constant returns to scale*) trabalha com retornos constantes de escala (CHARNES et al., 1978) e assume proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*. O modelo BCC ou VRS (*variable returns to scale*), devido a Banker et al. (1984), considera retornos variáveis de escala, ou seja, substitui o axioma da proporcionalidade pelo axioma da convexidade. Tradicionalmente são possíveis duas orientações radiais para esses modelos na busca da fronteira de eficiência: orientação a *inputs*, quando deseja-se minimizar os recursos disponíveis, sem alteração do nível de produção; orientação a *outputs*, quando o objetivo é aumentar as quantidades produzidas, sem mexer nas quantidades dos recursos usados.

Existem duas formulações equivalentes para DEA (PPLs duais). De forma simplificada, pode-se dizer que uma das formulações (modelo dos Multiplicadores) trabalha com a razão de somas ponderadas de produtos e recursos, com a ponderação escolhida de forma mais favorável a cada DMU, respeitando-se determinadas condições. A outra formulação (modelo do Envelope) define uma região viável de produção e trabalha com uma projeção de cada DMU na fronteira dessa região; as DMUs ineficientes localizam-se abaixo da fronteira de eficiência e as eficientes na fronteira.

A Figura 4 representa os modelos CCR e BCC para uma fronteira bidimensional. Nessa figura, a eficiência da DMU E é dada por  $\frac{E''E'}{E''E}$  para o modelo BCC, e por  $\frac{E''E'''}{E''E}$  no modelo CCR, ambos para orientação a *inputs*.

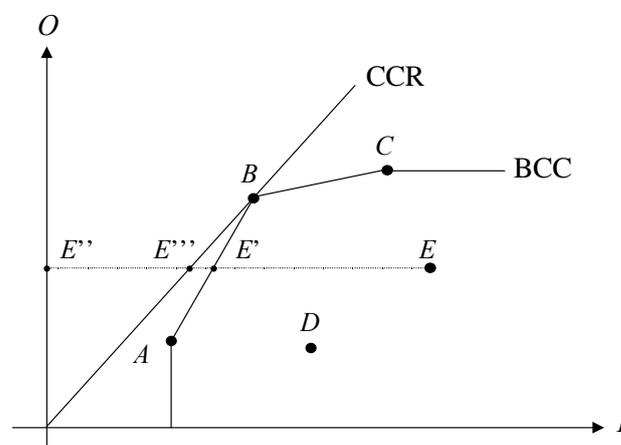


Figura 4: Representação das fronteiras BCC e CCR.

Em (1) e em (2) apresentam-se, respectivamente, o modelo DEA BCC dos Multiplicadores e do Envelope, com orientação a *inputs*. Considera-se que cada DMU  $k$ ,  $k = 1 \dots n$ , é uma unidade de produção que utiliza  $r$  *inputs*  $x_{ik}$ ,  $i = 1 \dots r$ , para produzir  $s$  *outputs*  $y_{jk}$ ,  $j = 1 \dots s$ . Em ambas as formulações  $h_o$  é a eficiência da DMU  $o$  em análise;  $x_{io}$  e  $y_{jo}$  são os *inputs* e *outputs* da DMU  $o$ . Em (1),  $v_i$  e  $u_j$  são os pesos calculados pelo modelo para *inputs* e *outputs*, respectivamente;  $u_*$  é interpretado como fator de escala (quando positivo indica retornos decrescentes de escala; quando negativo, indica retornos crescentes de escala; caso seja nulo, a situação é de retornos constantes de escala). Em (2),  $\lambda_k$  representa a contribuição da DMU  $k$  na formação do alvo da DMU  $o$ .

$$\begin{aligned} \text{Max } Eff_o &= \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} - u_* \\ \text{sujeito a} \\ \sum_{i=1}^r v_i x_{io} &= 1 \\ - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - u_* &\leq 0, \forall k \\ u_j, v_i &\geq 0, \forall j, i \\ u_* &\in \Re \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} \text{Min } h_o \\ \text{sujeito a} \\ h_o x_{io} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k &\geq 0, \forall i \\ - y_{jo} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k &\geq 0, \forall j \\ \sum_{k=1}^n \lambda_k &= 1 \\ \lambda_k &\geq 0, \forall k \end{aligned} \tag{2}$$

Em Gomes et al. (2003, 2004) são encontradas diversas referências ao uso de DEA na avaliação de eficiência em agricultura. Gomes et al. (2003) apresentam também uma revisão sobre alguns modelos DEA (CCR, BCC, FDH, restrições aos pesos) e sua integração com SIG.

## 4. MODELAGEM E RESULTADOS

### MODELAGEM

Para estruturar um modelo DEA é necessário definir as unidades a avaliar, as variáveis a constituir o modelo (*inputs* e *outputs*) e o modelo DEA adotado (CCR, BCC, entre outros; orientação a *inputs*, a *outputs* etc.).

Foram calculados 6 modelos DEA, os quais consideraram isoladamente três culturas de renda (café, cacau e guaraná) e três culturas de subsistência (arroz, milho e feijão). Foram usados modelos “parciais” já que não estavam disponíveis os preços, que permitiriam

agregar as produções das diferentes culturas em uma única variável e, assim, usar um modelo único.

As DMUs do modelo são os produtores rurais, identificados por sua localização espacial pelo número do lote e da gleba. Foram desconsiderados aqueles produtores que plantaram determinada cultura, mas que não tiveram produção naquele ano.

A etapa de seleção das variáveis é de grande importância, pois dela depende a qualidade dos resultados. Um modelo com grande número de variáveis pode acarretar em uma avaliação extremamente benevolente, com várias DMUs 100% eficientes. Existe uma recomendação empírica que o número de DMUs seja pelo menos o dobro ou o triplo do número de variáveis. Estudos mais recentes (GONZALEZ-ARAYA, 2003) indicam que essa relação deve ser ainda maior (4 a 5 vezes), em especial quando, além do índice de eficiência, deseja-se analisar os *benchmarks* das unidades em avaliação. Para o caso de Machadinho d’Oeste foram selecionadas 3 das mais de 200 variáveis coletadas no questionário de campo. Essas variáveis indicam as relações clássicas entre produção, capital e trabalho. Como *inputs* foram selecionados Área Cultivada (representada pela área ocupada com determinado sistema de produção agrícola), em hectares, e Mão-de-obra (expresso em dias homem); a Quantidade Produzida de uma determinada cultura, em quilos de produto, é o *output*.

Em relação ao *input* Mão-de-obra é importante destacar que, em Machadinho d’Oeste, 1 ativo agrícola trabalha, em média, 300 dias no ano. Esse índice serviu como base de cálculo e o *input* foi computado de acordo com o total de ativos disponíveis por lote em um ano. Esse coeficiente é igualmente função da área cultivada que, segundo aos dados da Emater local, são assim divididos: café, cacau e guaraná, em produção a partir do 3º ano = 67 dias homem/ha (45 para capinas, 6 para desbrota, 6 para controle fitossanitário e 10 dias para colheita e beneficiamento). Para a cultura do arroz = 19 dias homem/ha (3 para plantio, 6 para capinas, 1 manejo fitossanitário, 6 para o corte e 3 dias para beneficiamento, em área desmatada e preparada para o plantio). Para as culturas do feijão e do milho = 15 dias homem/ha (3 para o plantio, 6 para capina, 3 para controle fitossanitário e 3 dias para colheita).

O modelo DEA selecionado foi o modelo BCC orientado a *inputs*, já que há diferenças de escala significativas entre as DMUs e o objetivo é saber o que deve ser otimizado dos recursos empregados para obter a produção atual, ou seja, qual a quantidade mínima de área cultivada e mão-de-obra que deve ser usada para obter a produção atual gerada e, desta forma, ser eficiente.

Todos os modelo DEA foram calculados com uso do *software* SIAD (ANGULO-MEZA et al., 2004).

## RESULTADOS

### **Eficiência técnica dos agricultores de Machadinho d’Oeste**

A Tabela 3 resume os resultados dos 6 modelos por cultura. Nessa tabela, o percentual de participação refere-se ao número de lotes que plantaram aquela cultura em relação ao total de lotes (foram considerados inclusive os lotes que plantaram, mas que não obtiveram produção em 1999). Verifica-se uma eficiência média bastante baixa para essas culturas. Ressalta-se, especialmente, a cultura do café, que tem a maior participação no total de lotes e que apresentou a menor eficiência média.

Tabela 3: Resultados dos modelos parciais.

Cultura	Participação no total de lotes (%)	N.º de DMUs	N.º de DMUs eficientes	Eficiência média (%)
Arroz	39,4	170	7	37,6
Feijão	18,4	76	3	37,2
Milho	34,2	145	4	38,2
Cacau	8,4	23	3	37,5
Café	63,8	272	4	20,6
Guaraná	12,8	13	2	33,8

Em relação aos resultados adicionais do modelo dos multiplicadores, para a cultura do arroz, em média, os pesos atribuídos aos dois *inputs* (no cálculo de todas as médias foram desconsiderados os pesos das DMUs extremo-eficientes, já que estas apresentam múltiplas soluções ótimas para o PPL dos Multiplicadores) foram 49 e 51% para Área Cultivada e Mão-de-obra, respectivamente. Entretanto, em uma avaliação individual, o *input* Mão-de-obra recebeu maior número de pesos zero (13) em relação ao *input* Área Cultivada (1). Para a cultura do feijão, o *input* Área Cultivada recebeu peso, em média, ligeiramente superior (52%) ao peso atribuído à variável Mão-de-obra (47%). A situação da cultura do milho é semelhante à do feijão, entretanto houve predominância de pesos zero para Mão-de-obra (6 contra 1). Para as culturas de renda, a distribuição média de pesos para os *inputs* Área Cultivada e Mão-de-obra, respectivamente, foi a seguinte: cacau 50% e 50%; café 91% e 9%; guaraná 46% e 54%.

Pela distribuição dos pesos no modelo dos multiplicadores, para as culturas de arroz e guaraná, a variável de *input* mais significativa para o cálculo da medida de eficiência é Mão-de-obra. Para as demais culturas, a mão-de-obra é uma questão que deve ser revista, já que a ela foi atribuído menor peso médio. É de especial destaque a cultura do café: o *input* Mão-de-obra recebeu peso zero em 69 das 272 DMUs (contra 2 casos para o *input* Área Cultivada). Nesse caso, deve-se rever, em Machadinho d’Oeste, a questão da quantidade de mão-de-obra empregada para a cultura do café, já que estes resultados indicam um grande excesso no uso deste recurso.

A Tabela 4 apresenta as reduções proporcionais médias que os recursos devem sofrer e o aumento médio da produção para que os produtores ineficientes alcancem a eficiência. Destaca-se que nesse cálculo as folgas foram consideradas e, por isso, mesmo adotando-se modelos orientados a *inputs*, há quantidade a ser incrementada na variável de *output*. Nessa tabela, mais uma vez, o destaque é a cultura do café, cujos recursos devem sofrer a maior redução percentual. É importante salientar que, mesmo que ao *output* não seja acrescido o valor da folga, somente com a redução dos *inputs* a DMU pode tornar-se eficiente mantendo o nível atual de produção (isto é, tornar-se-ia uma DMU eficiente, mas não extremo-eficiente).

Tabela 4: Redução percentual média dos *inputs* e incremento médio percentual do *output*.

Cultura	Área cultivada	Mão-de-obra	Produção
Arroz	-62,4	-63,0	63,3
Feijão	-62,9	-63,0	75,5
Milho	-62,0	-62,5	15,2
Cacau	-62,5	-62,5	2,2
Café	-79,6	-80,5	2,2
Guaraná	-66,7	-66,2	77,7

Em relação aos resultados do modelo do Envelope, são descritas para cada modelo as características do produtor que foi considerado como referência (*benchmark*) o maior número de vezes para as DMUs ineficientes. Esse produtor pode ser considerado, em tese, como o melhor exemplo para aquela cultura. Na prática, todo o sistema de cultivo do produtor, assim como o modelo de gestão de sua propriedade deveriam ser avaliados para confirmar essa hipótese.

- Modelo da cultura do arroz (referência para 91,2% dos lotes): produtor proveniente de Minas Gerais e chegou em Machadinho d’Oeste em 1997. Ocupa um lote que já teve três proprietários anteriores. Cultivava em sua propriedade, além do arroz, com mão-de-obra de dois ativos da família e dedicação de 75 a 100% do tempo, mandioca, café (6,4% de eficiência), guaraná (sem produção em 1999) e seringueira. Em uma área total de 38 ha, 8 ha são cultivados e 8 ha são de mata natural; as pastagens ocupam 10 ha e 20 ha são de área não aproveitada. Durante o ano de 1999, permaneceu durante 40 dias parado por motivo de doença. Cultivava ainda citros, cupuaçu, abacate, jaca, côco e manga. Usou assistência técnica da Emater e apontou a falta de financiamento e de recursos humanos para propriedade como necessidade e como problema a falta de mão-de-obra. O lote deste agricultor está localizado no solo tipo LAd5.
- Modelo da cultura do feijão (referência para 93,4% das DMUs): localizado em solo do tipo LAd1, este produtor rural chegou em Machadinho d’Oeste em 1984, oriundo do estado da Bahia. Tinha 8 pessoas ativas na família que dedicavam de 75 a 100% de seu tempo à propriedade. Além do feijão, cultivavam arroz (31,3% de eficiência), mandioca, café (sem produção), guaraná (20,0% de eficiência), citros, banana, cupuaçu, abacate, goiaba, jaca, côco, caju, manga, graviola, biribá, jabuticaba (em um total de 7,2 ha de área cultivada; 15 ha de mata natural). Criavam garrotes, novilhos, bois e cavalos (20,8 ha de pastagens). Para o entrevistado, que teve assistência técnica da Emater, a maior necessidade era de financiamento e de recursos humanos para propriedade, o que também foi identificado como problema, além de dificuldades para a comercialização.
- Modelo da cultura do milho (ocorrência como referência para 96,6% dos casos): este agricultor paranaense chegou em Machadinho em 1986 e seu lote, que teve dois proprietários anteriores, está situado em solo do tipo LAd2. Permaneceu 10 dias parado por motivo de doença em 1999. Cultivava, além do milho, sem assistência técnica e com mais um ativo da família, com dedicação de 50 a 75% do tempo à propriedade, arroz (41,7% de eficiência), mandioca, café (20,2% de eficiência), citros, banana, abacate, goiaba, jaca, côco, caju, manga, mamão e biribá. Essas culturas ocupavam 6,7 ha de área, enquanto que as pastagens ocupavam 13,1 ha, com criação de bezerras, garrotes, novilhos, vacas, suínos, galinhas e patos. A área total da propriedade era ainda ocupada com 13,6 ha de mata natural, 2 ha de capoeira e 1 ha de área não aproveitada. A necessidade indicada refere-se à falta de financiamento e de mão-de-obra, e como problema, a baixa fertilidade e/ou desconhecimento de solo.
- Modelo da cultura do cacau (referência para 82,6% dos lotes): produtor proveniente da Bahia e residente em Machadinho desde 1983. Ocupava um lote em que era o primeiro proprietário e o único ativo da família (composta por duas pessoas). Cultivava em sua propriedade, com dedicação de 75 a 100% do tempo, arroz (eficiência de 50%), milho (60% de eficiência), mandioca, cacau (100% de eficiência) e café (eficiência de 29%). Em uma área total de 60 ha, 10 ha eram cultivados, 45 ha de mata natural e 5 ha de capoeira. Durante o ano de 1999, permaneceu durante 30 dias parado por motivo de doença. Cultivava ainda citros, abacate, abacaxi, jaca, manga e mamão. Usava assistência técnica da Emater e apontou a falta de financiamento e de recursos humanos

- para propriedade como necessidade, e como problema, a falta de mão-de-obra e de energia elétrica. O lote deste agricultor está localizado no solo tipo LAd2.
- Modelo da cultura do café (referência para 83,5% das DMUs): localizado em solo do tipo GXd2, este produtor rural chegou em Machadinho d’Oeste em 1983, oriundo de São Paulo. O lote ocupado já havia tido 1 proprietário anterior. Não contraiu doença em 1999. Tinha 4 pessoas ativas na família que dedicavam de 75 a 100% de seu tempo à propriedade. Além do café, cultivavam espécies florestais.
  - Modelo da cultura do guaraná (ocorrência como referência para 84,6% dos casos): este agricultor gaúcho chegou em Machadinho em 1984 e seu lote, que teve um proprietário anterior, está situado em solo do tipo LAd2. Em 1999, não permaneceu parado por motivo de doença. Recebeu assistência técnica da Emater e dedicou de 75% a 100% do tempo à propriedade, juntamente com outros dois ativos da família. Além do guaraná cultivavam arroz (50,0% de eficiência), milho (eficiência de 75,8%), mandioca, feijão (33,3% de eficiência), café (eficiência de 23,9%), citros, banana, cupuaçu, abacate, goiaba, jaca, côco, caju, manga, mamão, carambola, biribá, jabuticaba, além de culturas hortícolas. A área cultivada ocupava 4,2 ha, enquanto que as pastagens ocupavam 20 ha, com criação de bezerros, garrotes, novilhos, touros, bois, vacas, equídeos, suínos e galinhas. A área total da propriedade era ainda ocupada com 29,5 ha de mata natural e 4 ha de área não aproveitada. Indicou como necessidade a falta de financiamento e de mão-de-obra, e como problema, a baixa fertilidade e/ou desconhecimento de solo.

### **Relação espacial entre eficiência e fertilidade dos solos**

Para analisar a relação espacial da eficiência com a fertilidade dos solos, os dados de eficiência foram espacializados e georreferenciados, obedecendo à área dos lotes. A vetorização e o processamento dos dados foi feita com o ArcGIS 9, assim como a espacialização dos dados de fertilidade do solo para amostras coletadas de 0 a 10 cm de profundidade. As variáveis analisadas, que têm relação com a fertilidade do solo, foram o percentual de saturação por bases e os teores de alumínio trocável. Em relação ao percentual de saturação por bases, quanto mais elevado mais fértil é o solo. Já os teores de alumínio elevados causam toxidez às plantas e, portanto, quanto menores mais fértil é o solo. Como método de interpolação usou-se o inverso do quadrado da distância. Foram empregados 75 pontos amostrais para a espacialização do percentual de saturação por bases e dos teores de alumínio. Neste artigo, devido ao espaço limitado, são apresentados apenas os resultados para as culturas do arroz e do café. Entretanto, destaca-se que para as demais culturas os resultados foram semelhantes aos aqui detalhados.

As Tabelas 5 e 6 apresentam as áreas percentuais resultantes da intersecção dos planos de informação “percentual de saturação por bases” e “teores de alumínio” com a eficiência, respectivamente, para o caso das culturas do arroz e do café. Com base nos dados da Tabela 5 é ainda possível afirmar que no PA Machadinho predominam solos de baixa fertilidade, pois prevalecem solos com saturação por bases inferior a 30%. A Tabela 6 mostra que quase 80% da área do PA Machadinho tem baixos teores de alumínio tóxico (até  $0,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ). Os valores da coluna “%” indicam o percentual de área dentro de cada classe de saturação por bases e de teor de alumínio.

Na Figura 5 verifica-se a tendência de que quanto maiores os teores de saturação por bases, maior é a eficiência técnica das culturas do arroz e do café, com aumento do percentual de áreas com saturação por bases para eficiências superiores a 40%, e decréscimo das áreas para eficiências inferiores a 40%, para ambas as culturas. Na Figura 6 nota-se uma redução do percentual das áreas para eficiências da cultura do arroz e do café superiores a 50% quando são mais elevados os teores de alumínio.

Tabela 5: Relação entre eficiência técnica e percentual de saturação por bases.

Percentual de saturação por bases												
Eficiência da cultura do arroz (%)	< 20	%	20-30	%	30-40	%	40-50	%	> 50	%	Total global (%)	
	Até 25	2,5	7,2	2,6	8,3	2,2	8,7	0,1	0,7	0,0	0,0	7,2
25-30	3,8	11,2	4,8	15,4	4,4	18,0	0,3	4,5	0,0	0,0	13,4	
30-40	17,1	49,7	16,9	54,5	11,4	46,5	3,7	51,3	0,3	11,7	49,5	
40-50	10,4	30,1	5,7	18,4	5,7	23,1	2,4	33,6	2,0	74,2	26,2	
50-70	0,7	1,9	0,9	2,9	0,9	3,7	0,6	8,9	0,4	13,8	3,5	
70-100	0,0	0,0	0,1	0,5	0,0	0,1	0,1	0,7	0,0	0,6	0,2	
Total global	34,5	100,0	31,0	100,0	24,6	100,0	7,2	100,0	2,7	100,0	100,0	

Eficiência da cultura do café (%)	< 20	%	20-30	%	30-40	%	40-50	%	> 50	%	Total global (%)	
	até 15	8,1	23,4	10,2	33,0	5,5	22,2	1,1	15,5	0,1	2,8	24,9
15-20	7,7	22,2	11,5	37,2	9,4	38,2	2,3	31,5	0,6	22,2	31,4	
20-30	16,3	47,1	6,6	21,5	8,4	34,2	2,6	36,4	1,4	50,0	35,3	
30-40	2,0	5,7	1,7	5,4	1,2	4,8	0,8	10,9	0,6	21,4	6,2	
40-50	0,3	0,7	0,6	2,0	0,1	0,4	0,3	4,1	0,1	2,7	1,3	
50-100	0,3	0,8	0,3	1,1	0,1	0,2	0,1	1,8	0,0	1,0	0,8	
Total global	34,5	100,0	31,0	100,0	24,6	100,0	7,2	100,0	2,7	100,0	100,0	

Tabela 6: Relação entre eficiência técnica e teor de alumínio trocável.

Teor de alumínio (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )										
Eficiência da cultura do arroz (%)	< 0,2	%	0,2-0,4	%	0,4-0,6	%	0,6-1,0	%	Total global (%)	
	0-25	1,4	4,8	3,7	7,7	2,2	9,9	0,0	0,0	7,2
25-30	5,4	19,2	6,7	13,8	0,8	3,7	0,5	25,9	13,4	
30-40	9,6	34,2	27,1	56,3	11,9	54,5	0,8	46,4	49,5	
40-50	9,9	35,0	9,0	18,7	6,9	31,4	0,5	27,7	26,2	
50-70	1,8	6,3	1,6	3,4	0,1	0,4	0,0	0,0	3,5	
70-100	0,2	0,6	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	
Total global	28,2	100,0	48,1	100,0	21,9	100,0	1,8	100,0	100,0	

Eficiência da cultura do café (%)	< 0,2	%	0,2-0,4	%	0,4-0,6	%	0,6-1,0	%	Total global
	até 15	5,3	18,9	14,3	29,7	4,4	20,2	0,9	48,9
15-20	10,5	37,2	16,7	34,6	3,9	17,9	0,4	20,1	31,4
20-30	9,9	35,2	12,8	26,7	12,3	56,3	0,2	13,0	35,3
30-40	1,7	5,9	3,1	6,5	1,2	5,3	0,2	11,6	6,2
40-50	0,5	1,6	0,7	1,5	0,1	0,3	0,1	5,4	1,3
50-100	0,3	1,1	0,5	1,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,8
Total global	28,2	100,0	48,1	100,0	21,9	100,0	1,8	100,0	100,0

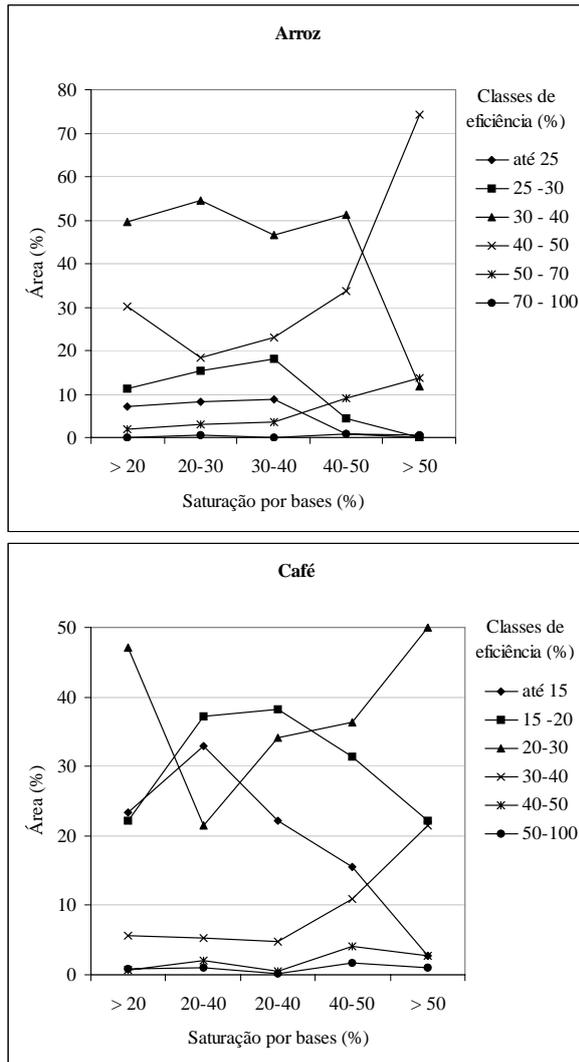


Figura 5: Percentual de área por classe de saturação por bases para diferentes faixas de eficiência técnica, para as culturas do arroz e do café.

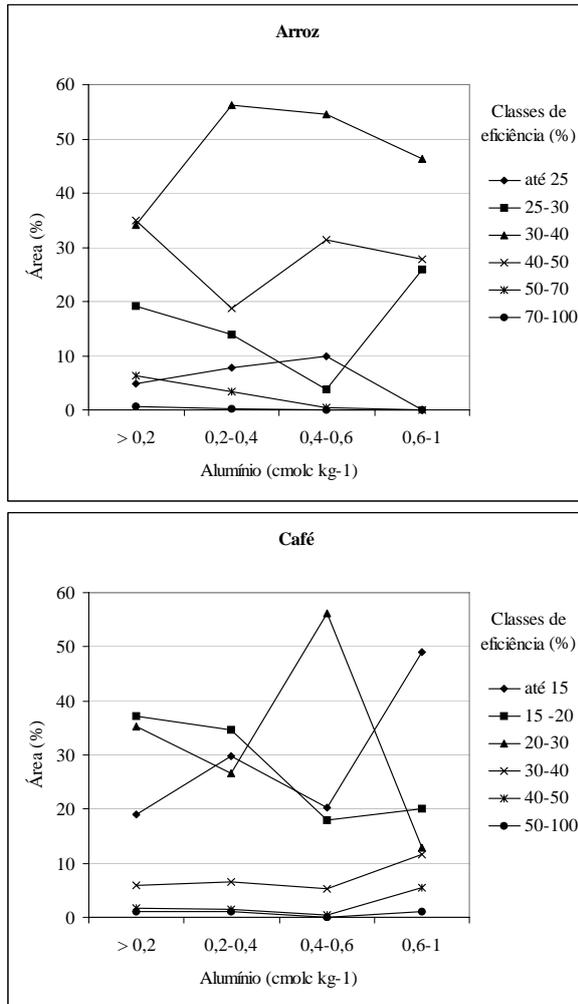


Figura 6: Percentual de área por classe de teor de alumínio para diferentes faixas de eficiência técnica, para as culturas do arroz e do café.

Estes resultados corroboram com a interpretação visual das Figuras 7 e 8, qual seja, a de que as eficiências mais baixas encontram-se em solos de menor fertilidade. Nessas figuras nota-se igualmente que na direção sudoeste-nordeste do PA Machadinho (principalmente na área a sudoeste) verificam-se maiores valores de eficiência, bem como maior percentual de saturação por bases e menores teores de alumínio tóxico dos solos, o que evidencia a relação entre essas características.

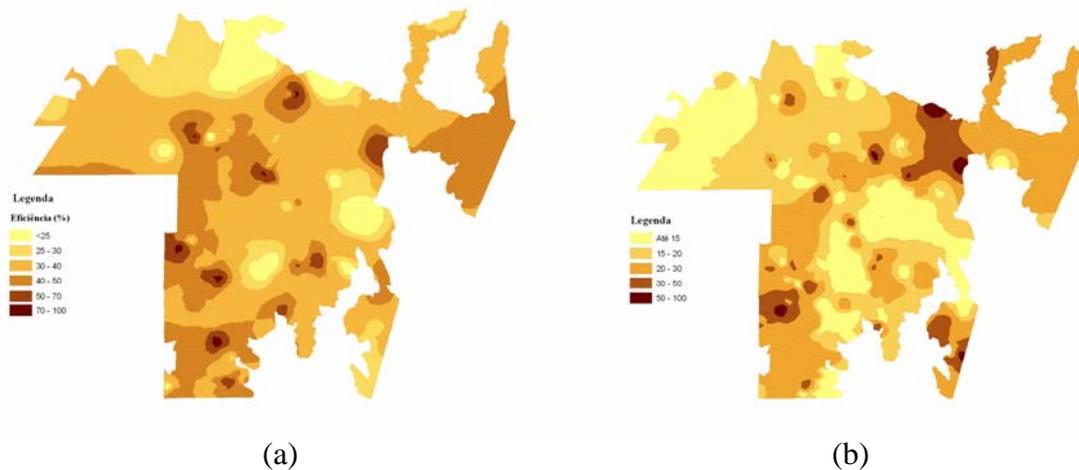


Figura 7: Interpolação dos valores de eficiência técnica para as culturas do arroz (a) e do café (b).

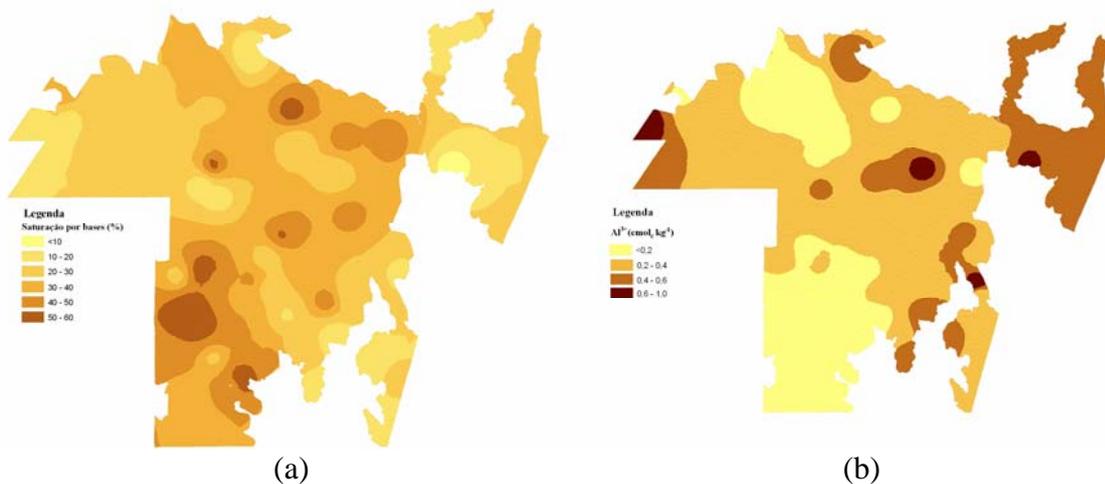


Figura 8: Interpolação dos valores de percentual de saturação por bases (a) e dos teores de alumínio trocável no solo (b).

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo, além de sugerirem uma linha de investigação bastante promissora, confirmaram a hipótese inicialmente colocada de existir relação entre o tipo de solo (aqui expresso por variáveis relacionadas à fertilidade) e a eficiência da agricultura. Como desenvolvimentos futuros, pretende-se usar outros métodos de interpolação, métodos estatísticos para validar a correlação entre as variáveis analisadas, outras características referentes aos solos (como pH e nutrientes) e outras culturas agrícolas. Análises do contexto socioeconômico e do uso e cobertura das terras ao nível da propriedade, do assentamento, do município e da região também devem ser incorporadas. Em relação à modelagem, os resultados de DEA podem ser bastante úteis se repassados aos agricultores, no sentido de promoverem sua eficiência. Nesse ponto, destaca-se que o uso de um modelo único que agregue as informações das diferentes culturas é também de interesse e, nesse caso, serão necessários dados de renda e de custo da produção. Finalmente, a integração entre resultados de outros modelos de pesquisa operacional, que avaliem não só a eficiência mas também a sustentabilidade agrícola, e mapas de solos é

igualmente importante e pode resultar em informações que auxiliem os agricultores em suas tomadas de decisão.

## 6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro, por meio do Edital CNPq 19/2004 – Universal, processo n.º 472838/2004-0.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGULO MEZA, L.; BIONDI NETO, L.; SOARES DE MELO, J.C.C.B.; GOMES, E.G.; COELHO, P.H.G. FSDA – Free Software for Decision Analysis (SLAD – Software Livre de Apoio à Decisão): A Software Package for Data Envelopment Analysis Models In: XII Congresso Latino-Iberoamericano de Investigación Operativa - CLAIO, 2004. La Habana, Cuba. **Memorias...**, 2004.
- BANKER, R.D.; CHARNES, A.; COOPER, W.W. Some models for estimating technical scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.
- BATISTELLA, M. **Landscape change and land-use/land-cover dynamics in Rondônia, Brazilian Amazon**. 2001. 367 p. Ph.D. Dissertation - Indiana University, Bloomington, 2001.
- BATISTELLA, M.; ROBESON, S.; MORAN, E.F. Settlement design, forest fragmentation, and landscape change in Rondônia, Amazônia. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing (PE&RS)**, v. 69, n. 7, p. 805-812, 2003.
- BOGNOLA, I.A.; SOARES, A.F. **Solos das "Glebas 01, 02, 03 e 06" do município de Machadinho D'Oeste-RO**. Campinas: Embrapa-NMA, nov. 1999. 7p., 1 mapa políc. (Pesquisa em Andamento, 10).
- CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, p. 429-444, 1978.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1.ed. 1999. 412p.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras em 100.000 hectares da Gleba Machadinho, no município de Arquemes, Rondônia**. Rio de Janeiro: Embrapa/SNLCS, 1982. 274p. (Boletim de Pesquisa, 16)
- GOMES, E.G. **Modelos de Análise de Envoltória de Dados com Ganhos de Soma Zero**. 2003. 139 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.
- GOMES, E.G., SOARES DE MELLO, J.C.C.B., BIONDI NETO, L. **Avaliação de eficiência por Análise de Envoltória de Dados: conceitos, aplicações à agricultura e integração com Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2003. (Documentos, 28).
- GOMES, E.G.; MANGABEIRA, J.A.C.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B. Eficiência técnica dos agricultores de Holambra. In: XLII Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, Cuiabá, 2004. **Anais...**, 2004.

- GONZÁLEZ-ARAYA, M.C. **Projeções não radiais em regiões fortemente eficientes da fronteira DEA: Algoritmos e Aplicações.** 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.
- MANGABEIRA, J.A.C.; DORADO, A.; MIRANDA, E.E.; FRANZIN, J.P. Avaliação da eficiência relativa e sustentabilidade dos sistemas de produção agrícolas: o caso de Machadinho D'Oeste. In: Workshop Concerted Action for the Evaluation of the Sustainability of Agricultural Systems in the Southern Cone of South America, 2., Rosario-Argentina, 1998.
- MANGABEIRA, J.A.C.; VALLADARES, G.S.; GOMES, E.G.; BATISTELLA, M. Relação espacial entre produtividade agrícola e fertilidade do solo com uso de imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. **Anais...**, 2005.
- MIRANDA, E.E.; MANGABEIRA, J.A.C. BOGNOLA, I.A.; SOARES, A.F. **Evolução da produtividade agrícola em floresta tropical úmida: o caso de Machadinho d'Oeste-RO.** Campinas: Embrapa-NMA, dez. 1999. 6 p. (Pesquisa em Andamento, 9). 1999a.
- MIRANDA, E.E.; MANGABEIRA, J.A.C.; GOMES, E.G.; BATISTELLA, M.; MIRANDA, J.R. **Café e coragem: 13 anos de colonização agrícola em Rondônia.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2002. 102 p. (Documentos, 17).
- MIRANDA, E.E.; MANGABEIRA, J.A.C.; PIRES, V.A.; FRANZIN, J. **Evolução agro-sócio-econômica dos agricultores e da agricultura de Machadinho d'Oeste em Rondônia, entre 1986 e 1999.** Campinas: Embrapa-NMA, out. 1999. 6 p. (Pesquisa em Andamento, 11). 1999b.
- MIRANDA, E.E.; MANGABEIRA, J.A.C.; MATTOS, C; DORADO, A.J. **Perfil agroecológico e socioeconômico de pequenos produtores rurais: o caso de Machadinho d'Oeste, Rondônia.** Campinas: Ecoforça/Embrapa-NMA, 1997. 117p. il.
- VALLADARES, G.S.; BOGNOLA, I.A.; GOVÊA, J.R.F. **Levantamento de reconhecimento de solos de média intensidade da Gleba Machadinho, RO.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2003. 92 p., il. (Documentos, 30).