

BIODIGESTORES: UMA AVALIAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL¹

DANIEL ANDRADE RIBEIRO DE OLIVEIRA e MILTON DA MATA²

Resumo - O presente texto analisa o desempenho dos biodigestores instalados no Brasil, a partir de um levantamento de campo realizado pela EMBRATER em abril de 1984. A técnica estatística utilizada é a análise multivariada baseada no método *logit*. Os resultados obtidos sugerem maior cautela quanto ao ritmo de difusão do uso de biodigestores no meio rural, de forma a permitir à população rural uma absorção mais adequada das vantagens e desvantagens das tecnologias disponíveis.

Termos para indexação: biodigestores, Brasil.

BIOGAS PLANTS: AN EVALUATION OF THE PRESENT SITUATION

ABSTRACT - This article analyses the performance of the existing biogas plants in Brazil, based upon a field research carried out by EMBRATER in April, 1984. A multivariate analysis, centered on the *logit* method, has been the statistical approach utilized. The results indicate that the pace of the biogas programme should be slowed in the near future, so that the rural population could better absorb the advantages/disadvantages of the available technologies.

Index terms: biogas plants, Brazil.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da tecnologia da biodigestão através da fermentação anaeróbica, visando a transformar matérias orgânicas, especialmente dejetos e restos animais - em biogás e biofertilizante teve início no século passado, tendo começado a ser empregada em empreendimentos de grande porte a partir de 1930, especialmente no tratamento de esgotos de cidades americanas e européias³. Ao mesmo tempo, em diversas partes do mundo, foram iniciadas pesquisas para adaptar a técnica da biodigestão às necessidades das propriedades rurais.

Com o advento da 2ª Guerra Mundial a biodigestão foi bastante difundida entre os países europeus, usando-se o biogás em substituição aos derivados de petróleo, através da queima direta e do uso em veículos automotivos. Terminado o conflito, caiu substancialmente o uso desta tecnologia, com exceção da China, Índia e África do Sul, onde continuou o seu desenvolvimento em empreendimentos de pequeno porte.

¹ Recebido em 11 de abril de 1985.

Aceito para publicação em 18 de novembro de 1985.

² Respectivamente, Ph.D. em Economia e M.S. em Economia, Pesquisadores do IPEA/INPES - Av. Presidente Antonio Carlos, 51 - 17º andar - CEP 20020 - Rio de Janeiro, RJ.

³ Para uma revisão abrangente da evolução da tecnologia da biodigestão ver: UNESCO (1984).

A disseminação em larga escala da técnica da biodigestão para uso rural teve início na Índia, a partir da década de 60, e na China, cujo programa acelerou-se em 1972. Existem hoje alguns milhões de biodigestores operando nesses dois países, concentrando-se no último uma expressiva maioria deles.

O interesse pelos biodigestores no Brasil teve início com a crise resultante do segundo choque de preços do petróleo ocorrido em 1979. Entre as medidas adotadas pelo Governo visando a reduzir a dependência desse insumo importado destacava-se um amplo programa de investimentos voltado para substituição e conservação de derivados do petróleo⁴.

A efetiva disseminação dos biodigestores, a nível nacional, poderia implicar certa economia no consumo de GLP no meio rural e alguma redução no consumo de fertilizantes químicos. Deve-se notar, ainda, que para os consumidores de lenha e esterco *in natura*, a instalação de biodigestores representaria, certamente, uma melhoria de padrão de vida.

No período 1980-84 foram utilizadas diversas formas de estímulo à instalação de biodigestores. Em primeiro lugar, a EMBRAPA passou a pesquisar o assunto, com a finalidade de "aclimatar" os modelos disponíveis às condições locais. A EMBRATER atuou em várias frentes nesse período: instalação de unidades de demonstração, assistência técnica a proprietários rurais na instalação e operação, organização de encontros e seminários e indução junto às indústrias no sentido de adequar seus produtos ao uso do biogás. Além do papel "educativo" desses dois órgãos, foram concedidos estímulos materiais a bom número de interessados, seja através de financiamentos favorecidos ou mesmo de doações (fundo perdido) dos recursos necessários à instalação⁵.

Existem atualmente cerca de 3.000 biodigestores instalados no país, espalhados por todas as Unidades da Federação. O apoio oficial foi, inegavelmente, responsável pelo ritmo acelerado da disseminação observada. Predominam os modelos chinês e indiano, aparecendo a seguir o modelo desenvolvido pela Marinha, o de batelada e diversos modelos adaptados localmente como, por exemplo, o modelo capixaba⁶.

⁴ O PME - Programa de Mobilização Energética, criado em 1979, começou a operar no ano seguinte.

⁵ Para uma revisão da parte institucional do programa de biodigestores ver Silva (1983).

⁶ O modelo indiano contém uma campânula móvel, que desce ou sobe, dependendo da quantidade de gás existente no interior do biodigestor. Este componente, que regulariza a pressão do gás produzido, é geralmente de aço ou de fibra de vidro, o que torna elevada sua participação no custo total do biodigestor. O modelo chinês aboliu tal campânula, a fim de baixar o custo de construção; neste caso, para contornar o problema de variação de pressão do gás, faz-se necessária a instalação de dispositivos auxiliares. No modelo da Marinha a campânula é flexível, utilizando-se uma lona plástica como cobertura. Finalmente, existem vários modelos do tipo batelada; estes diferem dos modelos acima pelo fato de a carga e descarga do biodigestor serem descontínuas, realizando-se respectivamente no início e no final do processo de fermentação.

Nas publicações consultadas não foram obtidas estimativas consistentes sobre custos de construção. Para se ter uma idéia, em agosto/setembro de 1980, o Governo de Santa Catarina publicou um documento⁷ onde são indicados custos para a construção de biodigestores do tipo indiano que são duas vezes os estimados pela EMBRAPA na mesma época, para o mesmo tipo e capacidade⁸. Para um biodigestor indiano com a capacidade de 4m³/dia de biogás, o primeiro documento estima os custos de construção em 96 ORTN (2,9 milhões de cruzeiros em março de 1985) e a EMBRAPA estima em 52 ORTN (1,6 milhão de cruzeiros em março de 1985). Passando à capacidade de 10m³/dia os números seriam, respectivamente, 208 ORTN (6,3 milhões de cruzeiros) e 91 ORTN (2,8 milhões de cruzeiros). Suponhamos que 4,5 milhões de cruzeiros seja uma estimativa (março de 1985) razoável⁹ para a instalação de um biodigestor indiano com capacidade de produzir 10m³/dia de biogás; note-se que deveriam ser acrescentados vários outros custos, como tubulações para o gás, compra ou adaptação de equipamentos (fogão, geladeira, arandelas, etc.) para a efetiva utilização do biogás. Isto indicaria que os pequenos proprietários quererão estar seguros da viabilidade do projeto antes de desembolsar tais quantias que, embora não sejam astronômicas, podem pesar nos apertados orçamentos das pequenas propriedades.

Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados de uma pesquisa sobre o funcionamento dos biodigestores instalados no país. As seções 2 e 3 descrevem, respectivamente, a amostra utilizada e as principais características dos dados coletados. Os resultados de uma análise multivariada baseada no método **logit** são apresentados na seção 4. A seção 5 contém os comentários finais.

AMOSTRA

O presente estudo baseia-se em um levantamento de campo, realizado em abril de 1984, através de um questionário aplicado pela EMBRATER em colaboração com as empresas estaduais e as filiais.

Na falta de uma amostra-piloto capaz de permitir a determinação técnica do tamanho da amostra, com o objetivo de estimar um parâmetro previamente escolhido sob condições especificadas de estabilidade, optou-se por um procedimento empírico garantidor de um equilíbrio estatístico aceitável. Nessas circunstâncias, elegeu-se uma amostragem estratificada de 17,4% em relação à população global, garantindo-se a representatividade estatística a níveis estadual e por tipo de biodigestor¹⁰. Foi excluído previamente o Estado de São Paulo, por estar fora do âmbito

⁷ Ver Santa Catarina. Gabinete (1980).

⁸ Ver Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1981).

⁹ Aproximadamente a média entre as duas estimativas mencionadas.

¹⁰ A população global é considerada em termos dos biodigestores cadastrados pelo Sistema EMATER, cujo total era de 2552 quando da data da aplicação do questionário. Ainda que inexistam dados precisos, calcula-se que o total dos biodigestores existentes no país, incluindo São Paulo, atingia, naquela época, cerca de 3.000 unidades. O plano de amostragem foi definido por Jorge de Souza, a cuja desinteressada colaboração desejamos agradecer.

da atuação do Sistema EMATER.

Deveria ser levantada a situação de 444 biodigestores para o conjunto do país, mas na realidade foram preenchidos 469 questionários. Em 4 Unidades da Federação o número de questionários respondidos superou o previsto no plano de amostragem, ocorrendo o inverso em 5 Estados.

Por outro lado, não foi possível realizar o trabalho de campo no Mato Grosso do Sul, enquanto as 25 observações referentes ao Rio Grande do Norte tiveram que ser abandonadas em virtude de distorções observadas quanto ao preenchimento dos questionários.

Coincidentemente, restaram 444 questionários aproveitáveis. Para corrigir as distorções resultantes em relação ao plano inicial de amostragem foi feita uma ponderação dos dados, mantendo-se a representatividade ao nível das macro-regiões do país, permanecendo inalterado o número de graus de liberdade nas análises estatísticas efetuadas. Desta forma, os resultados apresentados podem ser considerados representativos do total do país excluindo-se os Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Norte. A menos que se suponha que estes três Estados sejam muito peculiares quanto ao estoque de biodigestores instalados, não há razões para rejeitar conclusões mais generalizantes em termos da realidade a nível do país.

INFORMAÇÕES COLETADAS

Descrição das características dos biodigestores

As cinco tabelas abaixo mostram as principais características dos biodigestores instalados no país.

TABELA 1. Distribuição regional dos biodigestores.

Região	Distribuição percentual
Norte	15,0
Nordeste	31,2
Sudeste	20,0
Sul	25,3
Centro-Oeste	8,5
Total	100,0

Fonte: Dados da pesquisa.

Número de observações válidas: 444

TABELA 2. Modelos dos biodigestores.

Modelo	Distribuição percentual
Chinês	16,7
Indiano	66,3
Batelada	1,8
Marinha	8,0
Outros	7,2
Total	100,0

Fonte: Dados da pesquisa.

Número de observações válidas: 442

TABELA 3. Origem dos recursos para a construção dos biodigestores.

Origem	Distribuição percentual
Financiamento	46,3
Recursos próprios	27,0
Fundo perdido	9,8
Combinação dos anteriores	16,9
Total	100,0

Fonte: Dados da pesquisa.

Número de observações válidas: 440

TABELA 4. Capacidade instalada de produção de biogás.

Capacidade (m ³ /dia)	Distribuição percentual
0 — 2,5	3,9
2,5 — 4,0	9,7
4 — 8,0	32,3
8 — 12,0	31,0
Acima de 12,0	23,1
Total	100,0

Fonte: Dados da pesquisa.

Número de observações válidas: 417

TABELA 5. Área das propriedades onde estão instalados os biodigestores.

Área (ha)	Distribuição percentual
0 — 20	15,4
20 — 100	40,5
100 — 500	30,8
Acima de 500	13,3
Total	100,0

Fonte: Dados da pesquisa.

Número de observações válidas: 388

As Tabelas acima resumem satisfatoriamente as principais características da amostra, sendo impossível apresentar as tabelas completas, devido a limitações de espaço. Algumas informações adicionais referentes às características da amostra são apresentadas no texto que se segue.

Modelos de biodigestores (BD)

O modelo indiano é predominante, representando 2/3 do total instalado. No entanto, a distribuição dos modelos a nível regional varia de forma sensível. Enquanto no Norte, Nordeste e Sul o modelo indiano representa cerca de 70% das unidades instaladas, esta proporção cai para 64,5% no Centro-Oeste e 51% no Sudeste. Cerca de 30% dos biodigestores instalados nesta Região são do tipo Marinha, o que corresponde a 74,1% do total existente deste modelo a nível nacional. Nota-se, por outro lado, uma relativa concentração de unidades do tipo chinês na região Nordeste, onde 22,4% dos biodigestores são deste modelo, representando 42,3% do total do país.

Modalidades de financiamento

Quase metade (46,3%) dos BD foi instalada **apenas** com recursos de financiamentos, atingindo quase 10% aqueles fornecidos gratuitamente para seus proprietários; 27% do total dos BD foram construídos **apenas** com recursos próprios. A grande maioria (70%) dos BD construídos com recursos a fundo perdido está localizada

nas regiões Norte e Nordeste. Esta última, aliás, foi a região mais aquinhoadada com recursos oficiais, sendo que 72% dos seus BD foram construídos exclusivamente com recursos de financiamentos; apenas 13% dos aparelhos foram construídos exclusivamente com recursos próprios¹¹. Esta situação se contrapõe à que se observa nas regiões Sudeste e Centro-Oeste onde, respectivamente, 41 e 53% dos BD foram instalados apenas com recursos de seus proprietários.

Cerca de 70% das unidades construídas com fundos governamentais sob a forma de financiamentos com retorno e a fundo perdido são do tipo indiano; mais de 60% dos BD deste modelo foram construídos exclusivamente com recursos oficiais, proporção que desce para 47% quando se considera o conjunto dos outros modelos de BD.

Tamanho da propriedade e porte dos BD

A maior parte dos BD instalados (63,2%) são de porte médio (entre 4 e 12m³/dia), cabendo 23,1% do total a unidades de maior tamanho. Cerca de 55% estão localizados em propriedades de até 100 hectares; BD em propriedades de grande porte (acima de 500 hectares) correspondem a 13,3% do total. Em termos regionais nota-se uma grande disparidade na distribuição dos BD de acordo com o tamanho da propriedade: enquanto no Sul cerca de 84% destes estão localizados em fazendas de até 100 hectares, no resto do país esta proporção cai para cerca de 47%. No Norte cerca de 1/3 dos BD estão em propriedades de mais de 500 hectares, o que provavelmente acompanha o perfil de distribuição das terras naquela região.

Por outro lado, enquanto 40% dos proprietários de grandes fazendas (acima de 500 hectares) arcaram inteiramente com os custos da instalação de biodigestores, sem utilizar qualquer forma de financiamento, esta proporção cai para a metade (20,7%) em propriedades de área inferior a 100 hectares. Cerca de 70% dos BD construídos exclusivamente com recursos a fundo perdido localizam-se neste último tipo de propriedade.

Insumos utilizados e forma de aproveitamento dos resultados da biodigestão

O esterco bovino é o principal resíduo utilizado para a biodigestão, chegando a 90% a proporção dos BD que o utilizam (75% usam apenas o esterco bovino). Do biogás produzido, 50% dos proprietários declararam aproveitamento total, 45% aproveitamento parcial e 5% disseram não fazer uso do biogás gerado. Predomina amplamente o uso residencial exclusivo do biogás, declarado por 73% dos proprietários, sendo que 9% o utilizam apenas para atividades econômicas e 17,5% fazem uso misto do mesmo. Quanto ao grau de aproveitamento do biofertilizante, 64,5% dos proprietários o utilizam totalmente, 25% declararam utilização parcial e 10,5%

¹¹ 62,3 e 9,7% dos BD do Nordeste foram, respectivamente, construídos com financiamentos com retorno e a fundo perdido.

não o utilizam. O uso do biofertilizante substitui total ou parcialmente a adubação química em 43% dos casos, a adubação orgânica em 37%, e uma combinação de ambas em 19%.

A avaliação dos proprietários é altamente favorável ao biofertilizante: 81% afirmaram ter obtido resultados superiores aos da situação anterior em termos de aumento de produtividade física das lavouras (kg/ha/ano), apenas 5% consideraram iguais os resultados, e 15% não tinham ainda resultados comparativos; não houve uma única resposta que considerasse a adubação com biofertilizante pior que a situação anterior^{1 2}.

Avaliação dos resultados operacionais dos biodigestores

Nesta seção é examinada a situação operacional dos BD, vista sob três ângulos complementares: a) grau de utilização da capacidade instalada; b) condição de funcionamento no momento do levantamento; c) paralisações imprevistas.

O grau de utilização da capacidade instalada é definido como a razão entre a quantidade de biogás produzida na semana anterior ao levantamento e a capacidade instalada. Os resultados apresentados abaixo devem ser interpretados com certo cuidado, devido às dificuldades de uma medição precisa da produção de gás, já que são raros os biodigestores instalados que dispõem da instrumentação necessária para tal fim. Desta forma, a produção da (última) semana foi calculada com base em uma estimativa da utilização dos equipamentos movidos a gás.

Os dados da Tabela 6 mostram as médias regionais do grau de utilização dos biodigestores^{1 3}; as menores médias são encontradas nas regiões Norte e Sudeste. Como estes resultados são altamente influenciados pelo número de equipamentos paralisados, os mesmos foram recalculados considerando-se somente os biodigestores em operação normal (coluna B). Neste caso o grau de utilização médio para o total do país sobe substancialmente, passando de 55,5% para 73,1%. Diminui também, de forma considerável, as discrepâncias observadas a nível regional, passando as regiões Sudeste e Sul a ser aquelas onde é verificado o pior desempenho.

As duas variáveis descritas nas Tabelas 7 e 8, quais sejam, a condição de funcionamento e o número de paralisações imprevistas, são utilizadas de forma modificada

^{1 2} Este resultado pode ser considerado fortemente positivo, mesmo levando-se em consideração que em 27% dos questionários da amostra não houve resposta a este quesito.

^{1 3} São computadas as médias aritméticas por região do grau de utilização dos biodigestores. Assim, as proporções mostradas não representam a taxa de utilização da capacidade total a nível regional. A escolha deste tipo de medida decorre da ótica deste trabalho, que é voltado para a identificação das condições de funcionamento dos biodigestores a nível individual. Desta forma, são evitadas as distorções causadas pela paralisação de alguns biodigestores de grande porte, principalmente na região Sudeste.

na análise **logit** apresentada na seção seguinte como indicadores de desempenho dos BD. Sendo estatisticamente mais robustas que a variável relativa ao grau de utilização dos BD, prestam-se melhor ao tipo de análise multivariada apresentada neste trabalho.

TABELA 6. Grau de utilização: média por região.

Região	(A) Todos os BD (%)	(B) Somente os BD em operação normal (%)
Norte	43,9	81,4
Nordeste	58,6	72,3
Sudeste	46,8	70,3
Sul	61,2	70,6
Centro-Oeste	66,1	79,3
Brasil	55,5	73,1

Fonte: Dados da pesquisa.

Número de observações válidas: coluna A, 424; coluna B, 317.

TABELA 7. Condição de funcionamento dos biodigestores no momento do levantamento.

Condição	Distribuição percentual
Operação normal	76,1
Funcionamento ocasional, para demonstração	2,1
Temporariamente paralisado	12,8
Pensando em abandonar	8,4
Abandonado	0,7
Total	100,0

Fonte: Dados da pesquisa.

Número de observações válidas: 444

TABELA 8. Paralisações imprevistas dos biodigestores. *

Número de paralisações	Distribuição percentual
Nenhuma	64,7
Uma	23,6
Duas ou mais	11,7
Total	100,0

Fonte: Dados da pesquisa.

Número de observações válidas: 390

- * A pergunta referia-se aos últimos seis meses e pedia que fossem informadas as causas das paralisações. Diversos questionários foram preenchidos erroneamente, colocando como imprevistas as paralisações para reabastecimento; estes casos, quando detectados, não foram computados; é possível, no entanto, que alguns tenham sido indevidamente considerados.

Cerca de 76% do total dos BD encontravam-se em condições normais de funcionamento, enquanto 64,7% não apresentaram paralisações imprevistas nos últimos seis meses. Tais taxas apresentam grandes variações entre as diferentes regiões e modelos existentes.

Encontravam-se operando normalmente quando o questionário foi aplicado 58,2% dos BD da região Norte, 81,0% dos da região Nordeste, 65,8% dos da região Sudeste, e 83,9% dos da região Centro-Oeste. As regiões Norte e Sudeste situavam-se significativamente abaixo das outras a este respeito. No outro extremo da escala aparecem os BD abandonados; estes chegaram a 10,9% na Região Norte, 1,4% no Nordeste, 16,2% no Sudeste, 5,0% no Sul e 12,9% no Centro-Oeste. Temporariamente paralisados foram registrados 21,8% dos BD no Norte, 15,6% dos do Nordeste, 15,3% dos do Sudeste, 5,0% dos do Sul e 3,2% dos do Centro-Oeste. Nota-se, novamente, indícios de que as regiões Norte e Sudeste são as duas que vêm tendo maiores problemas com seus estoques de BD.

Os modelos chinês e indiano mostraram proporções semelhantes de BD operando normalmente, cerca de 78 a 79%, os de batelada vêm logo abaixo com cerca de 72%; os tipos da Marinha e outros ficaram abaixo, no patamar dos 60%. Os BD abandonados representaram 5% e 7%, dos modelos indiano e chinês, respectivamente, 15,5% dos da Marinha e batelada e 28% da categoria outros. Temporariamente paralisados encontravam-se 13,7% dos BD tipo chinês, 12% dos indianos, nenhum de batelada, 22,9% da Marinha e 10% da categoria outros. Ou seja, os modelos chinês e indiano apresentam características semelhantes em relação à

condição de funcionamento; os outros 3 tipos apresentam desempenhos inferiores.

Com relação à variável paralisações imprevistas a região Sudeste é novamente a que apresenta piores resultados: 37% dos BD tiveram uma paralisação nos últimos 6 meses e 16,9% apresentaram duas ou mais. A região Centro-Oeste volta a apresentar os melhores índices, 15,2% dos BD com apenas uma paralisação e 11,5% com duas ou mais.

As regiões Nordeste e Sul ficaram no mesmo plano, com cerca de 2/3 dos BD sem registrar qualquer paralisação imprevista. Entre estas duas regiões e a Sudeste situa-se a região Norte, com 48% dos BD sofrendo pelo menos uma paralisação imprevista.

Os modelos chinês e indiano têm novamente resultados quase idênticos: cerca de 2/3 com nenhuma paralisação, aproximadamente 11% com duas ou mais. O modelo da Marinha apresenta as piores marcas: 30% com nenhuma paralisação, 42,2% com apenas uma e 27% com duas ou mais paralisações.

A ANÁLISE LOGIT

O desempenho dos BD, avaliado aqui em função de sua condição de funcionamento e da incidência de paralisações imprevistas, está relacionado a uma série de variáveis entre as quais destacam-se o próprio grau de desenvolvimento técnico e qualidade do equipamento, adequação das instalações e do manejo, condições climáticas além de causas totalmente fortuitas.

Devido às notórias dificuldades de se isolarem efeitos *coeteris paribus* através do uso das tabulações cruzadas, optou-se pelo emprego da análise **logit** multivariada, aconselhável no presente caso pelo fato das variáveis dependentes serem qualitativas¹⁴.

Para facilitar a interpretação dos resultados as variáveis dependentes são redefinidas de forma a se tornarem dicotômicas. Assim, os valores por elas assumidos indicam, alternativamente, bom ou mau desempenho dos biodigestores. As definições das variáveis dependentes e independentes incluídas na análise são apresentadas abaixo.

Definições das variáveis

Variáveis dependentes

A variável "Performance I", construída a partir das informações referentes à condição de funcionamento dos BD, assume o valor 1 no caso do equipamento

¹⁴ Para uma discussão de modelos estatísticos envolvendo variáveis dependentes qualitativas ver: Nerlove & Press (1973), Amemya (s.n.t.) e McFadden (s.n.t.; 1973).

estar operando normalmente e 0 (zero) caso esteja temporariamente paralisado, abandonado, ou se foi declarada a intenção de abandonar o seu uso. Foram excluídas da amostra nas estimativas com esta variável os BD utilizados exclusivamente para demonstração, dado o caráter intermitente de seu funcionamento.

A variável "Performance II", construída a partir dos dados sobre paralisações imprevistas, assume o valor 1 no caso de não ter ocorrido nenhuma nos últimos seis meses e 0 (zero) em caso contrário. Foram incluídas nas estimações com esta variável somente as observações referentes a BD que não tivessem sido abandonados, sendo ainda excluídas aquelas referentes a equipamentos de demonstração.

Variáveis independentes

Tipo de biodigestor: através desta variável tenta-se avaliar se existem diferenças significativas no desempenho dos diversos modelos de BD. Mais especificamente, procura-se testar a hipótese de que os modelos chinês e indiano, que representam, respectivamente, 16,6% e 66,1% dos BD instalados, apresentam um desempenho superior ao modelo da Marinha, que compreende 8,0% do total do país, mas que perfaz 30% dos BD amostrados na região Sudeste. Foram definidas 4 variáveis **dummy** representando, respectivamente, os modelos chinês, Marinha e outros. Devido ao pequeno número de observações (1,8% do total) dos BD do tipo bate-lada, estes foram incluídos na categoria outros, que compreende, assim, 9,3% da amostra. A variável referente ao modelo indiano é excluída das estimações; desta forma os efeitos medidos referem-se às diferenças de desempenho entre este tipo de BD e cada um dos outros^{1 5}.

Tipo de exploração: esta variável tem como objetivo captar eventuais diferenças no manejo dos BD relacionadas com o tipo de exploração agropecuária existente na propriedade. Construíram-se duas variáveis **dummy** indicativas de atividades de pecuária de corte e outras, sendo a última excluída da estimação. Esta definição baseou-se no fato de que o esterco bovino é o combustível mais utilizado nos BD, sendo presumivelmente mais difícil coletá-lo nos casos de pecuária de corte do que em propriedades dedicadas à atividade leiteira, à suinocultura, etc.

Modo de financiamento: procura-se aqui captar diferenças de manejo partindo-se da hipótese de que a pessoa que tenha incorrido em riscos, seja através da utilização de recursos próprios, seja através de empréstimos, terá maior empenho em utilizar o BD de forma adequada, a fim de recuperar o investimento realizado. Foram construídas duas variáveis **dummy**, a primeira referente aos BD construídos exclusi-

^{1 5} Em todos os outros conjuntos de variáveis **dummy** definidos abaixo, os efeitos líquidos são obtidos de forma semelhante.

vamente com recursos a fundo perdido e a segunda abarcando os outros casos.

Tamanho da propriedade: a hipótese a ser testada com esta variável é de que o manejo é mais bem cuidado nas pequenas propriedades. Estabelecimentos maiores geralmente têm outras alternativas energéticas e neles o custo de instalação do BD representa geralmente uma parcela muito pequena do investimento total; poderiam, assim, desistir mais facilmente de manter os biodigestores ou então, passar a operá-los de forma relaxada. Os pequenos proprietários, na medida em que tomem contato com uma fonte mais elaborada de energia, tenderiam a despender maior esforço para mantê-la (note-se que é mais provável que os pequenos proprietários residam no meio rural do que os grandes, levando os primeiros a maior interesse que os últimos pelo bom funcionamento dos BD). Foram definidas três variáveis **dummy** para propriedades pequenas (até 30 ha), médias (maiores que 30 ha e menores ou iguais a 100 ha) e grandes (acima de 100 ha)¹⁶.

Tamanho do biodigestor: esta variável foi incluída na suposição de que o desempenho dos biodigestores pode estar relacionado ao seu tamanho por razões ligadas tanto a parâmetros técnicos de desenho e construção quanto a questões de manejo. Optou-se por não se formular hipóteses **a priori** com relação ao comportamento desta variável, devido à dificuldade de se prever o resultado da interação desses fatores. Foram definidas três variáveis **dummy** correspondentes, respectivamente, a BD com capacidade diária de produção de biogás menor ou igual a 4m^3 , maior que 4m^3 e menor que 12m^3 e maior ou igual a 12m^3 .

Data do início do funcionamento: a hipótese a ser testada é a de que a idade dos BD influencie o seu desempenho devido a desgastes naturais e também à falta de experiência quando da construção dos primeiros aparelhos. Os dados da amostra cobrem todo o período do programa nacional de biodigestores, iniciado em 1979. Foi incluída na análise uma variável **dummy** com valor unitário para os anos 1979/80.

Região: a variável regional procura captar diferenças de natureza técnica e de manejo que possam existir entre diferentes Estados do Brasil resultantes de uma gama variada de fatores, ligados a diferenças no nível de escolaridade, padrões culturais, modalidades de assistência técnica, etc. Optou-se neste caso pela defi-

¹⁶ A transformação de uma variável contínua, no caso tamanho da propriedade, em um conjunto de **dummies** tem como objetivo captar efeitos não lineares em relação à variável dependente. Os pontos de corte para a definição deste conjunto constituem, na presente circunstância, uma questão puramente empírica. Assim, as definições dessas **dummies** resultaram de uma série de testes de sensibilidade da significância dos coeficientes estimados. Pode-se notar que a configuração final adotada difere dos cortes apresentados na parte descritiva desse trabalho.

nição de uma variável **dummy** com o valor 1 para as observações referentes à região Sul e 0 (zero) para as demais regiões.

Resultados das estimações

Os resultados estimados são mostrados na Tabela 9. As duas primeiras e as duas últimas colunas referem-se às variáveis Performance I e Performance II, respectivamente. Em cada uma das colunas são apresentados os coeficientes da função **logit** e os efeitos marginais da inclusão da variável **dummy**¹⁷. Estes podem ser interpretados como a variação na probabilidade condicional dos BD apresentarem bom desempenho, quando as variáveis dependentes a que se referem assumem o valor unitário.

O desempenho estatístico das funções estimadas pode ser considerado satisfatório. Os testes da razão de verossimilhança mostram que os conjuntos de variáveis dependentes incluídos em cada uma das equações são altamente significativos¹⁸.

As variáveis referentes ao tipo de BD apresentam um comportamento dentro do esperado. Os coeficientes referentes ao modelo da Marinha são estatisticamente diferentes de zero ao nível de significância de 10% em todas as funções estimadas. Os BD deste tipo apresentam uma probabilidade de não funcionar normalmente cerca de 10 a 14 pontos percentuais acima dos do tipo indiano (coluna 1 e 2)¹⁹. O mau desempenho deste tipo de BD é ainda mais acentuado com relação à variável Performance II, sendo estimada uma probabilidade de apresentar paralisações imprevistas 30% acima da do modelo indiano. O desempenho do modelo chinês não pode ser considerado estatisticamente diferente do do modelo indiano, já que os coeficientes desta variável apresentam nível de significância inexpressivos em todas as estimações realizadas. A variável referente à categoria outros é altamente significativa nas estimações referentes à variável dependente Performance I; os valores da estatística a ela associados caem sensivelmente com relação à outra variável, Performance II, sendo que em cada uma das funções estimadas não pode ser considerada diferente de zero ao nível de 10% (coluna 3). Os BD desta categoria têm uma probabilidade de funcionar normalmente cerca de 20% a 24% abaixo da do modelo indiano, apresentando também uma probabilidade de paralisações imprevistas 16% superior.

¹⁷ Como a função **logit** é não linear, os coeficientes apresentados não têm significado imediato em termos dos impactos sobre a variável dependente. Os efeitos marginais só foram calculados para os casos em que são significativamente diferentes de zero.

¹⁸ A estatística $\theta = -2 \log \lambda$, onde $\lambda = L_0/L_1$ e L_0 e L_1 são as funções de verossimilhança, maximizadas com e sem restrições, respectivamente; ela tem distribuição qui-quadrado em amostras de tamanho grande, sendo seus graus de liberdade iguais ao número de restrições impostas.

¹⁹ Todas as diferenças de probabilidade mencionadas no texto referem-se a pontos percentuais.

TABELA 9. Análise logit do desempenho dos biodigestores.

Variáveis explicativas	Performance I				Performance II			
	1		2		3		4	
	Coef. "Logit"	Efeitos Marginais						
Termo constante	1,805		1,937		0,763		0,689	
Tipo de biodigestor								
- Marinha	-0,743* (1,74)	-0,1440	-0,722* (1,68)	-0,1039	-1,261*** (2,70)	-0,3022	-1,268*** (2,85)	-0,3063
- Chinês	0,041 (0,12)		0,003 (0,01)		-0,198 (0,66)		-0,247 (0,84)	
- Outros	-1,180*** (3,03)	-0,2440	-1,249*** (3,17)	-0,2044	-0,629 (1,47)		-0,693* (1,67)	0,1671
Tipo de exploração								
- Gado de corte	-0,305 (0,94)		-0,315 (0,97)		-0,019 (0,06)		-0,009 (0,03)	
Modo de financiamento								
- Fundo perdido	-0,644* (1,65)	-0,1225	-0,747* (1,88)	-0,1081	0,038 (0,085)		-0,097 (0,22)	
Tamanho da propriedade								
- Média (30 ha — 100 ha)	0,843*** (2,69)	+0,1227	0,602* (1,69)	+0,0634	0,489* (1,65)	+0,1021	0,513* (1,74)	+0,1117
- Grande (> 100 ha)			-0,434 (1,45)		-0,165 (0,60)		-0,143 (0,52)	
Tamanho do biodigestor								
- Pequeno ($\leq 4 \text{ m}^3$)	0,053 (0,13)		0,027 (0,07)		-0,528 (1,60)			
- Grande ($\geq 12 \text{ m}^3$)	0,201 (0,67)		0,237 (0,78)		-0,048 (0,17)			
Data do início de funcionamento								
- 1979/80	-0,028 (0,06)		-0,083 (0,175)		-0,816** (1,97)	-0,1940	-0,847** (2,06)	-0,2053
Região								
- Todas as regiões exceto a Sul	-0,638** (1,97)	-0,0961	-0,466 (1,35)		0,008 (0,02)		0,014 (0,05)	
θ e n° de graus de liberdade	27,90(10)		30,05(11)		25,41(11)		22,47(9)	
Número de observações	436				398			

Fonte: Resultados do modelo.

Os números entre parênteses são os valores de t dos coeficientes estimados; ***, **, *, denotam significâncias estatísticas aos níveis de 1%, 5% e 10%, respectivamente.

A variável referente ao tipo de exploração, no caso a **dummy** referente à pecuária de corte, não apresentou coeficientes significativamente diferentes de zero em nenhuma das estimações. Tentou-se a inclusão de uma **dummy** referente à pecuária de leite (cujos resultados não são mostrados na Tabela 9), sem maior êxito. Pode-se, desta forma, concluir que a questão da maior ou menor facilidade na coleta do esterco não parece afetar o desempenho dos BD.

O nível de significância e o sinal dos coeficientes estimados nas equações 1 e 2 tendem a confirmar a hipótese de que os proprietários de BD financiados por recursos transferidos a fundo perdido demonstram menos empenho em manter os seus

BD em boas condições de funcionamento do que aqueles que se utilizam de recursos próprios ou de empréstimos. Os BD construídos através de doações apresentam uma probabilidade 11 pontos percentuais menor de funcionarem normalmente se comparados às outras categorias. Deve-se notar que esta variável não é estatisticamente significativa nas estimações onde a variável dependente refere-se a paralisações imprevistas (Performance II), o que é coerente com a hipótese de menor empenho. Isto parece indicar uma tendência maior - dos recebedores de doações - a, simplesmente, abandonarem o uso dos BD que apresentem dificuldades.

As variáveis relativas ao tamanho da propriedade apresentaram um comportamento diferente do esperado. A ser confirmada a hipótese de que o pequeno proprietário (até 30 ha) maneje melhor o seu BD, os coeficientes das **dummies** relativas às propriedades de tamanho médio (30 a 100 ha) e grande (acima de 100 ha) deveriam ser significativamente diferentes de zero e apresentar sinais negativos. Na realidade os resultados mostram claramente um desempenho superior nas estimações com ambas as variáveis dependentes, dos BD localizados em propriedades de tamanho médio, que apresentam probabilidade de funcionar normalmente e de não sofrerem paralisações imprevistas de 6 a 12 pontos percentuais maiores do que aqueles localizados em minifúndios. Inexiste diferença estatisticamente significativa entre o desempenho dos BD instalados nas grandes propriedades e aqueles instalados nos minifúndios. Uma explicação para este fenômeno seria a de que as hipóteses apresentadas para o melhor manejo pelos pequenos proprietários sejam válidas também para os médios, que, além do mais, dispõem de maiores recursos para manter os seus BD em condições de funcionamento satisfatórios.

O tamanho dos BD parece não estar relacionado com o seu desempenho. Esta é a conclusão que se pode tirar do fato de todos os coeficientes estimados das variáveis referentes a esta característica não serem significativamente diferentes de zero.

A idade dos BD parece influir no seu funcionamento em termos de aumentar as chances de paralisações imprevistas, sem contanto aumentar a probabilidade de que sejam abandonados temporária ou definitivamente. Esta conclusão, coerente com as hipóteses formuladas anteriormente, é confirmada pelos resultados da variável **dummy** relativa ao início do funcionamento em 1979/80. Seus coeficientes não são significativamente diferentes de zero nas duas primeiras equações, ocorrendo o inverso nas duas últimas (colunas 3 e 4). Dessa forma, os BD mais antigos têm probabilidade de 19% a 20% maior que os outros de apresentarem paralisações imprevistas.

A variável regional, no caso representada por uma **dummy** de valor unitário para todos os estados exceto os do sul do país, só apresenta resultado significativo na primeira equação relativa à variável Performance I. De acordo com essa estimativa os BD localizados fora da região Sul, têm uma probabilidade 9 pontos percentuais inferior de apresentarem um funcionamento normal. Este resultado deve, no entanto, ser encarado com cautela devido a problemas de multi-colinearidade com as outras variáveis incluídas na análise, que são particularmente agudos com relação

ao tamanho da propriedade. Como se pode verificar, a variável regional só é significativa quando se exclui da análise a **dummy** relativa às propriedades de tamanho grande (coluna 1). Este tipo de problema decorre naturalmente da concentração, fora da região Sul, das grandes propriedades rurais do país. Outras definições de variáveis **dummy** regionais foram tentadas, sem que surgissem resultados mais robustos.

COMENTÁRIOS FINAIS

O tempo decorrido entre a instalação de um biodigestor pioneiro em Brasília (1979) e a formação de um estoque próximo de 3000 unidades (início de 1984) parece ter sido insuficiente para permitir a realização de testes e a superação de todos os problemas operacionais em situação de campo. Ainda que a análise anterior tenha evitado detalhar a descrição dos problemas levantados, estes existem e não são desprezíveis. Alegando falta de assistência técnica, dificuldades com a mão-de-obra, baixa qualidade de certos materiais fornecidos, desinteresse (pelo BD) após a eletrificação, mudança de morador para a cidade, ou até incidentes triviais, o fato é que mais de 20% dos biodigestores pesquisados **não** funcionavam quando o levantamento foi realizado.

A adoção de uma tecnologia nova, por mais simples que seja, como é o caso sob análise, traz consigo, inevitavelmente, variadas dificuldades. Desta forma, a constatação do insucesso parcial na instalação de biodigestores não surpreende; o que se nos afigura surpreendente é o ritmo inicial das instalações, que foi muito acelerado diante do relativo desconhecimento quanto às potencialidades e limitações do uso de biodigestores no meio rural. Conclusão esta que é tardia em relação ao esforço já feito, mas que, se aceita pelos responsáveis pela continuidade do programa, poderá influir sobre seu andamento futuro.

Alguns resultados particulares, já descritos, merecem ser novamente citados. A fonte de recursos para financiar a construção dos biodigestores foi uma das variáveis explicativas examinadas e levou à conclusão de que doar as instalações **não** é prática salutar. A razão é simples: oferecida a doação, ela é aceita, independentemente do grau de interesse do beneficiado; instalado o BD, o único incentivo para mantê-lo funcionando é sua eficiência produtiva. Em princípio isto vale também para quem pagou pelo BD; há, no entanto, duas diferenças neste caso: em primeiro lugar, só resolve pagar quem está realmente interessado. Em segundo, após ter arcado com o custo inicial, o proprietário tende a ser mais persistente na tentativa de solucionar as dificuldades que surjam. Os piores resultados foram mostrados pelos BD recebidos em doação.

Os biodigestores instalados em pequenas e médias propriedades (30-100 ha) demonstraram melhor funcionamento do que os instalados nos minifúndios (até 30 ha); os coeficientes referentes às propriedades grandes (acima 100 ha) apresentaram sinais negativos — em comparação com os minifúndios — mas não

significativamente diferentes de zero (10% de significância). Tais resultados indicam que: a) as propriedades maiores não são o destino mais apropriado para esta fonte energética alternativa; b) dados os custos de implantação de instalações de boa qualidade, é provável que as micropropriedades sejam incapazes de enfrentá-los, optando por soluções inferiores, mais sujeitas a problemas de funcionamento.

Os modelos indiano e chinês mostraram desempenho superior ao dos demais e, por esta razão, deverão continuar sendo prioritários para a difusão futura. O modelo da Marinha apresentou problemas com maior frequência e, por isto mesmo, deveria ser feito um levantamento mais pormenorizado sobre as causas de seu fraco desempenho. Os demais modelos são pouco freqüentes e não precisamente caracterizados.

Voltemos, para finalizar, ao tópico inicial desta seção: parece recomendável reavaliar as potencialidades e as limitações dos biodigestores — EMBRAPA, EMBRATER — ao invés de prosseguir ampliando o estoque existente. Na retomada do programa, toda ênfase deveria centrar-se na assistência técnica, eliminando-se as benesses financeiras. Partir-se-ia, desta forma, para um esquema de mínimos riscos de abandono, de menores incidências de paralisações e de custeio das instalações pelos próprios beneficiados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à EMBRATER, através de seu servidor Normando Alves da Silva, pela eficiente colaboração na aplicação do questionário. Contribuíram para a elaboração deste: Ricardo Santiago, Francisco das Chagas Pereira, Jaime de Souza Terêncio e o próprio Normando Alves da Silva, aos quais os autores são gratos.

REFERÊNCIAS

- AMEMYA, T. Qualitative response models. In: ANNALS of economic and social measurement, 1976. s.n.t.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. **Construção e funcionamento de biodigestores**. Brasília, 1981.
- McFADDEN, D. Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. In: ZAREMBKA, P., ed. **Frontiers in Econometrics**. s.l., Academic Press, 1973.
- . Quantal choice analysis: a survey. In: ANNALS of economic and social measurement, 1976. s.n.t.
- NERLOVE, M. & PRESS, S. J. **Univariate and multivariate log-linear and logistic models**. s.l., The Rand Corporation, 1973. (R - 1306 - EDA/NIH).

SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. **Como construir seu gerador de biogás.** Florianópolis, 1980.

SILVA, N. A. da. **O biogás e o fertilizante no balanço energético do Brasil.** s.l., EMBRATER, 1983.

UNESCO. **Análisis tecnológico de la generación de biogás.** Montevideo, ROSTALC, 1984.