



Avaliação do deslocamento de minhocas (*Eudrilus eugeniae*) submetidas a pulsos elétricos controlados



Delly Oliveira Filho¹, Isnard D. Ferraz², José H. Martins¹, Luiz C. dos Santos³,
Osvaldo P. Ribeiro Filho³ & Douglas R. da Costa⁴

¹ DEA/UFV. Viçosa, MG, CEP 36570-000, Fone: (31) 3899-1897, E-mail: delly@ufv.br,

² Central de Desenvolvimento Agrário de Florestal, UFV, Fone: (31) 3536-2266, E-mail: iferraz@ufv.br, jmartins@ufv.br,

³ Dep. de Biologia Animal, UFV, Fone: (31) 3899 1305, E-mail: lcsantos@ufv.br, oribeiro@ufv.br

⁴ Mestrando em Eng. Agrícola, UFV, Fone: (31) 3899-1930, E-mail: douglascosta@vicosa.ufv.br

Protocolo 161 - 2/4/2004 - Aprovado em 30/3/2005

Resumo: Realizou-se este trabalho com o objetivo de determinar, em laboratório, os índices de deslocamento e de separação de minhocas gigante africana (*Eudrilus eugeniae*) do húmus, e definir as características elétricas dos pulsos elétricos que permitam melhor eficiência na separação de minhocas em escala piloto. Os testes realizados apresentavam as seguintes características: (i) tensão de 100 a 500 V; (ii) patamar de pulso de 2, 3 e 4 ms; (iii) frequência de 1 e 5 Hz; e (iv) tempo de exposição de 1, 2, 3 e 4 h. Verificou-se que as minhocas submetidas aos pulsos elétricos se deslocam, preferencialmente, no sentido do cátodo. Nas situações estudadas o maior valor de índice de deslocamento obtido foi de 78,18% e o índice de separação, de 62,37%. A utilização de pulsos elétricos controlados, para a separação de minhocas do húmus, gera um ganho médio, ao longo da vida útil estimada, de cerca de 26% de economia financeira.

Palavras-chave: características elétricas, separação de minhocas, pulsos elétricos na minhocultura

Evaluation of the displacement of earthworms (*Eudrilus eugeniae*) submitted to controlled electric pulses

Abstract: The objective of this work was to determine, in laboratory, the displacement index and the separation index of earthworms (*Eudrilus eugeniae*) from the humus, to define the characteristics of the electric pulses that allow better efficiency in the separation of earthworms in pilot scale. The tests presented the following characteristics: (i) tension – 100 to 500 V; (ii) pulse level – 2.3 and 4 ms; (iii) frequency – 1 and 5 Hz; (iv) exhibition time - 1, 2, 3 and 4 h. It was verified that the earthworms submitted to the electric pulses preferentially move towards the cathode. For the studied situations the highest value obtained for the displacement index was 78.18%, while the separation index was 63.37%. The utilization of controlled electric pulses for the earthworm separation from the substrate generate mean gain along the estimated useful life of, around 26% of economic savings.

Key words: electric characteristics, earthworm separation, electric pulses

INTRODUÇÃO

O papel desempenhado pelas minhocas nos solos, seja por suas galerias ou pelos excrementos, reveste-se de suma importância, de vez que sua intervenção é importante e decisiva para a formação do húmus natural, componente imprescindível às terras férteis. Elas modificam profundamente as características físicas do solo, misturando seus horizontes e aumentando a aeração, a drenagem e o poder de retenção de água e de substâncias úteis. Em suas dejeções, concentram-se nutrientes necessários ao crescimento dos vegetais, como

nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio, dentre outros (Mottet et al., 1990).

A criação de minhocas tem despertado o interesse de muitos produtores, em função do baixo investimento inicial, necessidade de pouco espaço físico e da possibilidade de proporcionar atraentes taxas de retorno. O húmus pode ser utilizado na própria propriedade ou, ainda, no paisagismo e jardinagem, floricultura, fruticultura e outros (Martinez, 1995). Os resíduos orgânicos gerados pelos sistemas produtivos, agropecuários, industriais e até pelas atividades domésticas, podem ser transformados pelo processo de vermicompostagem, em fonte de nutrientes,

tanto para a produção agrícola quanto para a produção de minhocas, que podem ser utilizadas na alimentação animal (Vieira, 1997).

Segundo Calvert (1979), o processo utilizado na coleta de minhocas, quando produzidas em larga escala, pode ser um fator limitante desta atividade. Na minhocultura comercial, o processo de separação é a etapa mais trabalhosa e deve ser feita com muito cuidado, em razão da fragilidade dos vermes, evitando injúrias e, mesmo, a redução drástica de sua população.

Os métodos mais usados são a separação manual, a migratória e a mecânica. A separação manual e a migratória são mais indicadas quando se pretende comercializar as minhocas como matrizes ou iscas, porém a separação manual é um processo que requer mão-de-obra intensiva, influenciando a atratividade econômica da minhocultura; e a migratória, apesar de resultar em menor índice de lesões, estresse e morte, requer um tempo maior na separação das minhocas, podendo chegar a dias e, ainda assim, não se obter pleno sucesso na separação, o que torna necessária a implementação de métodos complementares (Righi, 1989). A separação mecânica, apropriada para grandes produtores, não é indicada para coleta de matrizes ou de iscas vivas para pesca, pois as minhocas podem sofrer ferimentos ou até morrer, mas é recomendada, no entanto, para colheita destinada à alimentação animal e/ou produção de húmus, pois possibilita processar grande quantidade de substrato em menor tempo (SENAR, 1994).

Em locais inadequados à aplicação de produtos químicos, tem-se usado estímulos elétricos para fazer com que as minhocas subam à superfície. O método elétrico é menos nocivo quando comparado com o químico (permanganato de potássio e formalina) e se mostrou eficaz na retirada das minhocas do solo (Satchell, 1955). A utilização de pulsos elétricos controlados minimiza o tempo gasto na coleta, otimizando o uso da mão-de-obra, além de evitar danos físicos às minhocas; podem ser utilizados tanto na produção de húmus como de matrizes e iscas (Moraes, 1999).

Dentre as espécies de minhocas utilizadas comercialmente, a vermelha-da-califórnia (*Eisenia fetida*) e a gigante-africana (*Eudrilus eugeniae*) se destacam, despertando maior interesse entre os criadores. A primeira espécie, devido à sua capacidade de decompor rapidamente materiais biodegradáveis; a segunda, por se tratar de minhocas vorazes, capazes de consumir grandes quantidades de alimentos, equivalentes ao seu peso, por dia (Reinecke & Kriel, 1981).

A gigante-africana (*Eudrilus eugeniae*) é uma espécie da família eudrilidae, adaptada ao clima tropical, com temperatura ideal em torno de 20 a 25 °C, não suportando valores abaixo de 15 °C; apresenta comprimento médio de 20 a 22 cm, podendo chegar a 37 cm, e massa de 6,5 g, aos 130 dias de vida. São comercializadas como isca para pesca no tamanho de 13 a 15 cm (Almeida, 1999; Ávila, 1999; Martinez, 1995).

Bradway & Moore (1940), estudando a ação da corrente elétrica em minhocas e utilizando pilha elétrica produzindo 2 volts de tensão e 0,1 miliampères de corrente, verificaram que, quando a corrente elétrica flui transversalmente através do animal ou de um pedaço dele, os músculos respondem por uma contração unilateral para o cátodo. O resultado é que a minhoca

se curva em forma de U, apontando a cabeça e a cauda para o cátodo, mantendo a parte central mais próxima do ânodo. Os impulsos para o galvanotropismo são produzidos pelo cordão nervoso, enquanto a ação primária da corrente se dá nos elementos desse cordão. Constataram, ainda, que se a corrente flui através da minhoca com o cátodo na cabeça do animal (galvanotropismo catódico), ocorre a contração da musculatura circular e a minhoca se alonga ao máximo de seu comprimento. Quando a corrente é invertida, tal que o ânodo esteja na cabeça (galvanotropismo anódico), os músculos longitudinais se contraem, fazendo com que a minhoca diminua o seu comprimento durante o fluxo de corrente.

Em estudos de propriedades bioelétricas em minhocas *Eisenia fetida*, Kurtz & Schrank (1955) determinaram a distribuição longitudinal do potencial elétrico ao longo do lado dorsal de minhocas adultas cliteladas, cujas medidas mostraram que a cabeça é mais eletronegativa que a cauda e a parte mais eletronegativa é a região do clitelo. A diferença de potencial média, medida entre os extremos da minhoca, foi de 14 mV e da região do clitelo de 16 mV.

A separação de minhocas do solo é um dos maiores problemas técnicos em estudos de populações e na minhocultura. O método de captura em que se emprega eletricidade, sofre limitações básicas devido à não homogeneidade do solo, pois diferenças nas suas estruturas ou a distribuição de umidade, pode influenciar a ação do campo elétrico; logo, o teor de umidade do solo é um dos fatores de maior importância na eficiência da separação, devido à sua influência na resistividade do solo (Rusthon & Luff, 1984; Thielemann, 1986).

Quando submetidas ao efeito da corrente elétrica, as minhocas reagem à quantidade de carga por unidade de tempo e área que percorre seus corpos e provoca, nas células, uma distribuição das cargas ou até mesmo uma dissociação eletrônica (Thielemann, 1986):

$$\sigma = \frac{Q}{tS} \quad (1)$$

em que:

σ - densidade de corrente, A m⁻²

Q - quantidade de carga, C

t - tempo, s

S - área, m²

Na Eq. 1 está implícita a intensidade da corrente elétrica que, pela lei de Ohm, é proporcional à tensão e depende da resistência elétrica, significando que a intensidade da tensão para uma resistência do solo, provoca a respectiva ação na minhoca, razão por que Thielemann (1986) afirma que é preciso considerar, numa minhoca apenas, a diferença de potencial entre a cabeça e o fim do seu corpo; portanto, um mesmo sinal elétrico é sentido com menor efeito por um animal pequeno que por um animal grande.

Thielemann (1986) salientou que em um método elétrico efetivo de captura, precisa-se levar em conta os seguintes pontos: i) a produção de um campo elétrico homogêneo, de modo a predominar, em toda a área pesquisada, as mesmas

condições, e ii) a definição de uma área de concentração. Afirmou, ainda, que a área de influência do método elétrico descrito por Rushton & Luft (1984) não possui um campo elétrico homogêneo, de vez que a densidade linear do campo elétrico, uma medida relativa para a intensidade do campo por unidade de área, se altera proporcionalmente com o valor da distância para o eletrodo central. Dentro do campo elétrico as minhocas estão expostas, portanto, em função da posição, a diferentes tensões.

Moraes (1999), utilizando uma estrutura que permitia deslocamento máximo de 50 cm às minhocas submetidas aos testes, em uma camada de 3 cm de húmus, constatou o fenômeno da atração involuntária das minhocas submetidas aos pulsos elétricos. Avaliando o efeito do campo elétrico sobre o índice de deslocamento de minhocas produzido por sinais elétricos de corrente contínua (CC), corrente alternada (CA), onda pulsativa (OP) e pulsos controlados (PC) nas espécies *Eudrilus eugeniae* (gigante africana) e *Eisenia fetida* (vermelha da califórnia), constatou que a utilização de pulsos elétricos é viável tecnicamente para separação de minhocas do húmus. O melhor valor do índice de deslocamento utilizado para verificar a eficiência de separação, foi da ordem de 83,7% para a espécie *Eudrilus eugeniae* e de 93,5% para a espécie *Eisenia fetida*. Esses valores foram obtidos quando se aplicaram pulsos controlados com as seguintes características: (i) tensão de 100 V, patamar de pulso de 4 ms, frequência de 1 Hz e tempo de exposição de 20 min, para a espécie *Eudrilus eugeniae*; e (ii) tensão de 200 V, patamar de pulso de 3 ms, frequência de 1 Hz e tempo de exposição de 30 min, para a espécie *Eisenia fetida*.

Ante o exposto objetivou-se, com este trabalho, definir sobretudo as características dos sinais elétricos que permitam melhor eficiência na separação de minhocas em canteiros comerciais.

Especificamente, o presente estudo visou:

1. determinar o índice de deslocamento (I_D) e o índice de separação (I_S) de minhocas *Eudrilus eugeniae* (Gigante Africana) e submetidas a pulsos elétricos controlados.
2. efetuar a análise da viabilidade econômica da separação de minhocas do húmus com a utilização de pulsos elétricos controlados.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório da Área de Energia do Departamento de Engenharia Agrícola e no Setor de Piscicultura do Departamento de Biologia Animal, ambos da Universidade Federal de Viçosa. Utilizaram-se minhocas da espécie *Eudrilus eugeniae*, procedentes do minhocário do Setor de Piscicultura. O substrato utilizado foi esterco bovino, já vermicompostado, isento de minhocas e pré-secado, peneirado em malha de 2 mm.

Determinação dos índices de deslocamento (I_D) e de separação (I_S)

Dentro do recipiente de testes foram colocados os eletrodos na forma de tela de arame de aço com bitola de 3 mm, distanciados 0,90 m entre si deixando-se, em cada lado da caixa, uma região de escape de 0,10 m de comprimento por 0,50 m de

largura. Entre os eletrodos que se encontravam conectados ao aparelho, foi posto húmus até a altura de 0,30 m.

Próximo ao ânodo foi delimitada uma região de 0,10 x 0,50 x 0,30 m, denominada região de acomodação, onde foram colocadas 70 minhocas que ali permaneceram durante 30 min. Transcorrido esse tempo, era retirado o delimitador da região de acomodação e o aparelho era ligado, expondo as minhocas aos pulsos (Figura 1).

Depois da exposição durante 1, 2, 3 e 4 h, desligava-se o gerador de pulsos e eram inseridas quatro placas de aço galvanizado de 0,40 x 0,50 m na caixa de testes, dividindo-a em sete seções: quatro seções de 0,20 x 0,50 x 0,30 m e três seções de 0,10 x 0,50 x 0,30 m (Figura 2). Contava-se o número de minhocas por seção, incluindo as áreas de escape (seções 0 e 6).

A fim de se determinar os índices de separação e de deslocamento das minhocas quando submetidas a pulsos elétricos controlados, considerou-se o seguinte; para cada seção de comprimento 0,20 m, foi atribuído um peso, sendo zero para a região de acomodação (seção 1) e crescente de uma unidade até a seção 4. Às regiões de escape foram atribuídos pesos máximos (4) e, à região anterior ao cátodo (seção 5) peso 3,5, pois apresenta metade da largura das demais regiões.

Determinou-se o índice de deslocamento (I_D) utilizando-se a Eq. 2:

$$I_D = \frac{\sum_{s=0}^6 n_s P_s}{NP} \cdot 100 \quad (2)$$

em que:

n_s - número de minhocas da seção s depois da exposição aos pulsos

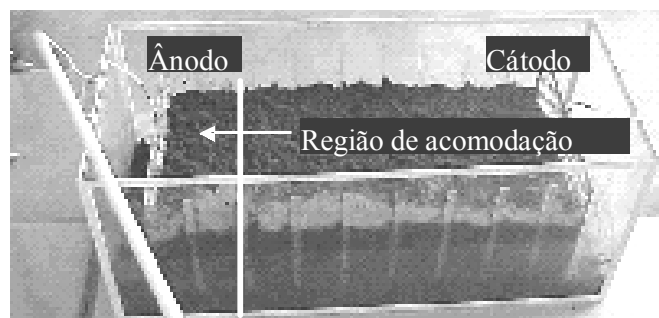


Figura 1. Estrutura de testes para aplicação do pulso

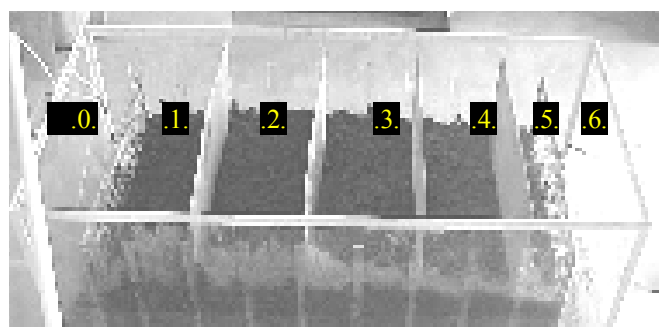


Figura 2. Estrutura de testes com a delimitação das seções

- p_s - peso da seção s
 N - número total de minhocas
 P - peso máximo atribuído

O índice de separação (I_s) foi determinado pela Eq. 3:

$$I_s = \left(\frac{n_0 + n_5 + n_6}{N} \right) 100 \quad (3)$$

em que:

- n_0 - número de minhocas na seção 0, região de escape anterior ao ânodo
 n_5 - número de minhocas na seção 5, região imediatamente anterior ao cátodo
 n_6 - número de minhocas na seção 6, região de escape posterior ao cátodo
 N - número total de minhocas utilizadas nos testes

A partir do posicionamento das minhocas ao longo da caixa de testes após a conclusão de cada repetição, fez-se uma simulação considerando-se a distribuição uniforme das minhocas ao longo da caixa e que apresentariam a mesma tendência de deslocamento observada nos testes determinando-se, em seguida, os índices médios de deslocamento e de separação.

Controle de sobrevivência

Ao final de cada teste, as minhocas foram contadas e colocadas em potes de plástico, com 2/3 de seu volume previamente preenchido com esterco curtido, apresentando teor de umidade em torno de 70 % base úmida. A cada sete dias procedia-se à contagem dos vermes em cada pote e se verificava o percentual de sobrevivência, o qual foi determinado fazendo-se a razão entre o número de minhocas contadas em cada observação e o número total de minhocas colocadas nos potes, ao final de cada repetição.

Testes em escala-piloto

Esses testes foram realizados em canteiro, objetivando-se comparar a eficiência da separação em escala-piloto com aquela obtida em escala de laboratório. Os testes seguiram a mesma metodologia dos testes em escala de laboratório. Foi delimitada, dentro do canteiro, uma região de 1,0 m de largura por 0,90 m de comprimento utilizando-se uma estrutura de madeira e tela de polietileno. Dentro dessa região foi colocada uma camada de 0,30 m de húmus. Os eletrodos de tela foram postos ao longo da largura do canteiro e apresentavam, em ambas as laterais, uma região de 0,25 m de comprimento. A Figura 3 mostra a estrutura montada para a realização dos testes em canteiro.

Ao serem acomodadas, as minhocas foram distribuídas uniformemente ao longo da região dos testes, a uma densidade de 2.000 minhocas por m^2 em seções delimitadas por chapas galvanizadas previamente inseridas na região. As chapas foram mantidas até o momento de aplicação do pulso para garantir a distribuição uniforme ao longo da região de testes; somente os pulsos elétricos que proporcionaram melhor eficiência de separação, em laboratório, foram testados (Figura 4).



Figura 3. Estrutura para a realização dos testes em canteiro



Figura 4. Visão geral do experimento realizado em canteiro

Mediu-se a tensão ao longo do substrato na região entre os eletrodos e nas bordas, a cada 0,06 m, a partir do cátodo em três diferentes profundidades (0,04; 0,15 e 0,28 m). Obteve-se, assim, o perfil do gradiente de tensão em função da profundidade e, conseqüentemente, em função do teor de umidade. Mediu-se, daí, a tensão, V , entre os eletrodos e a corrente no circuito, I , possibilitando determinar a resistência elétrica do substrato.

Análise estatística

Fez-se uma combinação de quatro tempos de exposição (1, 2, 3, e 4 h) e duas freqüências (1 e 5 Hz) para as espécies estudadas. Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente ao acaso, com três repetições, avaliando-se os efeitos dos tratamentos em relação aos índices de deslocamento (I_D) e de separação (I_s). Os dados foram interpretados por meio de análise de variância e regressão. Escolheram-se os modelos com base na significância dos coeficientes de regressão pelo teste "F", adotando-se o nível de 1% de probabilidade, e no coeficiente de determinação.

Análise econômica

Para a análise da viabilidade econômica de utilização de pulsos elétricos controlados em comparação com os processos tradicionais de separação, fez-se um levantamento dos valores do custo da mão-de-obra, da tarifa de energia elétrica (monômia rural), da produtividade para a separação por meio de catação e de iscas, do tempo de disponibilidade da mão-de-obra (dia-homem) para uma instalação típica de minhocultura (Lapponi,

1997; Camargo, 1998; Frizzone & Silveira, 2000). Nesta análise, procurou-se determinar o valor de comercialização do equipamento que viabilizaria a sua utilização. Foram analisados os seguintes métodos de comparação de opções de investimento: Relação benefício/custo (RBC), Tempo de retorno do capital (TRC), Análise do valor presente líquido (VPL) e Taxa interna de retorno (TIR).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados dos testes efetuados para a caracterização elétrica do substrato. Com esses dados é possível realizar o projeto de gerador de pulsos adequado para a minhocultura, pois se tem a estimativa de potência e de energia necessárias ao processo.

Tabela 1. Características elétricas do substrato

| Característica | Unidade | Testes | |
|--|------------|-------------------|--------------------|
| | | Corrente Contínua | Pulsos Controlados |
| Resistividade elétrica | Ω_m | 5,85 | - |
| Energia por pulso | J | - | 8,92 |
| Demanda pico a pico por eletrodo | W | - | 1.288,37 |
| Demanda média por eletrodo | W | - | 8,92 |
| Demanda pico a pico por metro linear de eletrodo | W | - | 2.576,70 |
| Demanda média por metro linear de eletrodo | W | - | 17,84 |

A demanda pico a pico, determinada a partir da energia por pulso e em função da frequência, indica o valor máximo de potência que deve ser demandada pelo gerador no período equivalente ao patamar do pulso gerado. O valor de demanda média está condizente com o decaimento exponencial da tensão, pois a tensão máxima é mantida durante 4 ms, enquanto no tempo restante, 996 ms, ocorre o decaimento. No intervalo de tempo igual a 23 ms o decaimento, aproximadamente exponencial, já ocorreu e, durante os restantes 973 ms, o sinal é nulo, implicando numa demanda média baixa.

Testes em laboratório

A Tabela 2 apresenta a análise de variância do índice de deslocamento (I_D) e do índice de separação (I_S) em função dos fatores frequência e tempo de exposição ao pulso, para a espécie *Eudrilus Eugeniae*. Observa-se efeito significativo ($p < 0,01$) de frequência, tempo de exposição e interação tempo de exposição x frequência para todas as variáveis. Com base nesses resultados, procedeu-se ao desdobramento da interação.

A Tabela 3 mostra as equações ajustadas para cada frequência estudada. O modelo quadrático foi o que melhor descreveu o comportamento dos índices de deslocamento e de separação, em função do tempo de exposição aos pulsos para cada frequência.

A Figura 5 indica as curvas de ajuste para o índice de deslocamento em função do tempo, para as frequências

Tabela 2. Análise de variância dos índices de deslocamento (I_D) e de separação (I_S) para minhoca *Eudrilus eugeniae*

| FV | GL | Quadrado Médio | |
|---------------------------------|----|----------------|--------------|
| | | I_D | I_S |
| Frequência | 1 | 1.561,7060** | 3.444,0110** |
| Resíduo (a) | 4 | 1,2520 | 3,4716 |
| Tempo de exposição | 3 | 286,0227** | 605,6238** |
| Tempo de exposição x Frequência | 3 | 66,9922** | 155,7049** |
| Resíduo (b) | 12 | 10,7520 | 19,5705 |
| CV(%) parcela | | 1,80 | 4,86 |
| CV(%) subparcela | | 5,27 | 11,54 |

Tabela 3. Equações de regressão ajustadas para os índices de deslocamento (I_D) e de separação (I_S), em função do tempo (T), para a espécie *Eudrilus eugeniae*, para as respectivas frequências (Hz) e os respectivos coeficientes de regressão

| Hz | Variáveis | Equação de Ajuste | R ² |
|----|-----------|--|----------------|
| 1 | I_D | $\square = 39,3917 + 20,2450^{**} T - 2,6417^* T^2$ | 0,96 |
| 5 | I_D | $\square = 34,4250 + 16,8283^{ns} T - 2,9917^{**} T^2$ | 0,82 |
| 1 | I_S | $\square = 3,9669 + 30,3767^{**} T - 3,9500^{**} T^2$ | 0,97 |
| 5 | I_S | $\square = 0,3417 + 21,8683^* T - 3,8250^* T^2$ | 0,86 |

* F significativo a nível de 5%; ** F significativo a nível de 1%; ns não significativo

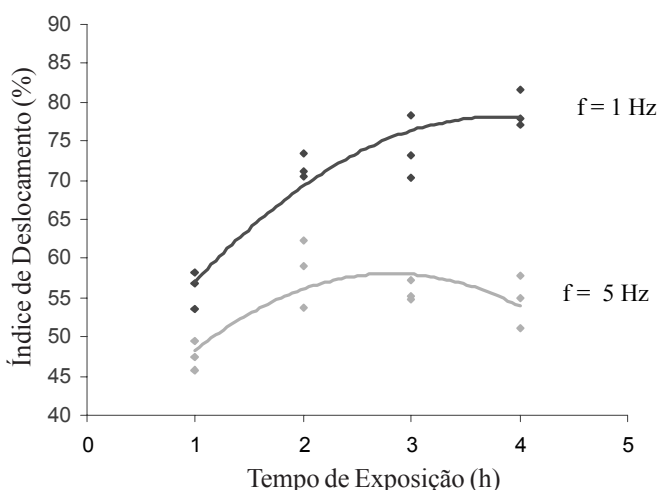


Figura 5. Estimativa do índice de deslocamento em função do tempo de exposição aos pulsos para minhocas *Eudrilus eugeniae* para as respectivas frequências (f)

estudadas. Observa-se que houve resposta mais expressiva aos pulsos, na frequência de 1 Hz, e o índice de deslocamento máximo, segundo o modelo, foi de 78,18% obtido para o tempo de exposição de 3,83 h.

A resposta apresentada na frequência de 5 Hz pode ser justificada em função do estresse que a seqüência de pulsos pode ter causado aos animais, tendo em vista que, para uma frequência maior, quando o animal está recebendo um novo pulso ele se encontra ainda sob o efeito do pulso anterior, não permitindo, desta forma, o relaxamento de sua musculatura. Para esta frequência, o índice de deslocamento máximo obtido, segundo o modelo, foi de 58,09% em um tempo de exposição de 2,81 h.

Para o índice de separação verifica-se comportamento semelhante ao descrito para o índice de deslocamento. Na Figura 6 tem-se as curvas de ajuste para o índice de separação, em função do tempo para as frequências estudadas, e a resposta para a frequência de 1 Hz é, também, mais expressiva em relação à frequência de 5 Hz, e o tempo no qual, segundo o modelo, se obtém o máximo índice de separação, 62,37%, está em torno de 3,85 h. Para a frequência de 5 Hz o índice de separação máximo está em torno de 31,60% em um tempo de exposição de 2,86 h.

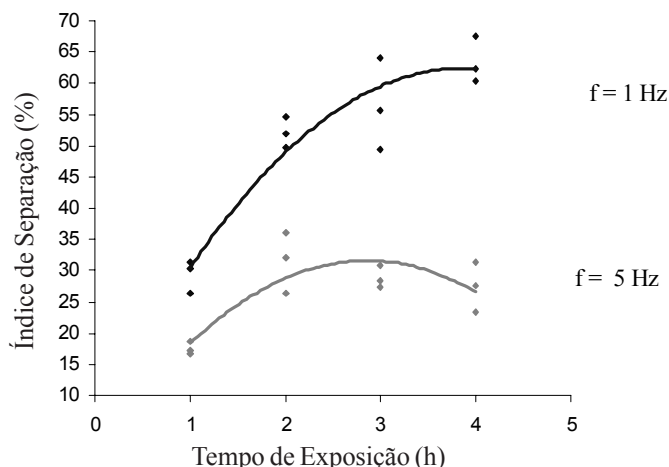


Figura 6. Estimativa do índice de separação em função do tempo de exposição aos pulsos para minhocas *Eudrilus eugeniae* para as respectivas frequências (f)

A Tabela 4 apresenta as médias dos índices de deslocamento e de separação em cada tempo de exposição nas frequências estudadas, para a espécie *Eudrilus eugeniae*. Consta-se, nesse quadro, que o maior valor, tanto do índice de deslocamento quanto do índice de separação, ocorreu na frequência de 1 Hz e em todos os tempos. A Tabela 4 mostra também a significância dos dados quando submetidos ao teste de Tukey.

Tabela 4. Média* dos índices de deslocamento e de separação em cada tempo de exposição nas frequências (Hz) estudadas para minhocas *Eudrilus eugeniae*

| Hz | Índice de Deslocamento (h) | | | | Índice de Separação (h) | | | |
|----|----------------------------|--------|--------|--------|-------------------------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 56,20a | 71,70a | 73,97a | 78,90a | 29,33a | 52,10a | 56,36a | 63,3a |
| 5 | 47,5b | 58,4b | 55,7b | 54,63b | 17,5b | 31,43b | 28,86b | 27,50b |

* As médias seguidas de mesma letra nas colunas, para cada tempo, não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

Os resultados de Moraes (1999) testes de minhocas das espécies *Eudrilus eugeniae* submetidas a pulsos semelhantes aos utilizados, mas com espessura de canteiro de cerca de 3 cm de húmus (cerca de um décimo do utilizado), devem servir de referência. Os melhores índices de deslocamento encontrados por Moraes foram da ordem de 83,7%. Ressalta-se que os tempos de exposição aos pulsos e o deslocamento máximo requerido pelos vermes, também foram diferentes.

Controle de sobrevivência

Analisou-se o percentual de sobrevivência das minhocas da espécie *Eudrilus eugeniae* após 7, 14 e 21 dias da exposição aos pulsos, em função das combinações de tensão, frequência e tempo de exposição.

O percentual de sobrevivência foi de 100% para os pulsos com frequência de 1 Hz, ou seja, todas as 70 minhocas utilizadas por repetição sobreviveram após os 21 dias de observação; para os pulsos com frequência de 5 Hz, o percentual de sobrevivência ficou em torno de 96,5%. O percentual de morte se deve à maior taxa de pulsos, pois quando o animal recebe um pulso ele ainda se encontra sob efeito do pulso anterior, não tendo tempo para que sua musculatura assimile a sequência de pulsos, levando o animal a fortes contorções provocando, inclusive, em alguns casos, perda de pedaços, principalmente da cauda. Portanto, não se recomenda o uso de frequências superiores a 1 Hz para separação de minhocas do húmus.

Análise econômica

Propuseram-se valores de comercialização do equipamento e se realizou o estudo da taxa interna de retorno (TIR), valor presente líquido (VPL), relação benefício/custo (RBC) e tempo de retorno do capital (TRC), para avaliar a possibilidade de investimento ou não. A Tabela 5 apresenta os dados relativos à produtividade, consumo de energia elétrica, tempo de utilização do equipamento gerador de pulsos, quantidade de matéria-prima e tempo de disponibilidade da mão-de-obra (dia-homem) para uma instalação típica de minhocultura. Nesta análise procurou-se estimar o valor do equipamento para verificar a viabilidade econômica de utilização de pulsos

Tabela 5. Dados relativos ao tamanho das instalações, ciclos de trabalho, consumo de energia elétrica, matéria-prima, produtividade e tempo de disponibilidade da mão-de-obra para uma instalação típica de minhocultura

| Item e Unidade | Método utilizado* | |
|---|-------------------|------------------|
| | CM e ACI | Pulsos elétricos |
| Tamanho da minhocultura - m ² | 200 | 200 |
| Comprimento de canteiro - m | 10 | 10 |
| Ciclo de trabalho - separação/mês | 1 | 0,86 |
| Funcionamento do equipamento - h/mês | - | 207,03 |
| Pot. média solicitada pelo equipamento - kW | - | 0,12 |
| Consumo de energia elétrica - kWh/ano | - | 295,47 |
| Quantidade de esterco consumida - kg/mês | 45429 | 54514 |
| Produtividade - m ² /h | 1,43 | 3,86 |
| Produção mensal de vermes - minh./m ² /ciclo | 2100 | 2100 |
| - minh./ciclo | 420000 | 420000 |
| Produção mensal húmus - kg/m ² /ciclo | 159 | 159 |
| - kg/ciclo | 31800 | 38160 |
| Horas de atividade - h/mês | 140 | 62 |
| Turno de trabalho - horas/dia | 8 | 8 |

*CM - Catação manual; ACI - atração com iscas

elétricos em comparação com o processo tradicional de catação e iscas.

Na Tabela 6 apresentam-se os dados referentes ao levantamento dos valores relativos à tarifa de energia elétrica (monômia rural), aos custos da energia elétrica, da matéria-

Tabela 6. Valores relativos a custos de energia, de mão-de-obra, de matéria-prima, preços de comercialização de produtos e índices para análise econômica

| Item e Unidade | Método utilizado* | |
|---|-------------------|------------------|
| | CM e com iscas | Pulsos elétricos |
| Tarifa da energia elétrica - R\$ kWh ⁻¹ | - | 0,15 |
| Custo da energia elétrica - R\$ ano ⁻¹ | - | 44,27 |
| Custo do esterco - R\$/kg | 0,10 | 0,10 |
| Mão-de-obra (sem encargos sociais) - R\$ hora ⁻¹ | 1,65 | 1,65 |
| - R\$ mês ⁻¹ | 231,64 | 102,85 |
| Preço do húmus - R\$ kg ⁻¹ | 0,15 | 0,15 |
| Preço das minhocas - R\$ kg ⁻¹ | 5 | 5 |
| Juros (custo de oportunidade) - % ano ⁻¹ | 15 | 15 |
| Aumento da energia elétrica acima da inflação - % ano ⁻¹ | - | 2 |
| Horizonte de planejamento - Ano | 15 | 15 |

*CM - Catação manual

prima, da mão-de-obra, preço de venda dos produtos (húmus e minhocas) e índices econômicos.

A Tabela 7 mostra a receita bruta da venda da produção gerada pelos dois processos analisados, em cuja análise foi suposto que o uso do gerador de pulsos proporcionaria diminuição na necessidade de mão-de-obra, de cerca de 55%.

Tabela 7. Receita mensal bruta em função da venda de húmus e minhocas

| Produto | Método de separação | | | |
|---------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Catação manual e atração com iscas | | Pulsos elétricos | |
| | Produção mensal (kg) | Receita mensal (R\$) | Produção mensal (kg) | Receita mensal (R\$) |
| Minhocas | 600 | 3.000,00 | 720 | 3.600,00 |
| Húmus | 31.800 | 4.770,00 | 38.160 | 5.724,00 |
| Receita bruta total | | 7.770,00 | | 9.324,00 |

Na Tabela 8 mostram-se os valores obtidos na análise e, nela, verifica-se que, a medida em que se aumenta o valor proposto para o equipamento, diminui-se a relação benefício/custo mas se aumenta o tempo de retorno do capital investido. Os valores presentes líquidos da utilização de pulsos elétricos (VPLpulsos) e da catação (VPLcatação) representam as receitas atuais em ambos os processos. Observa-se, então, que a utilização de pulsos elétricos na minhocultura gera um ganho médio, ao longo do horizonte de planejamento, de R\$ 55.313,54, ou seja, uma economia de cerca de 27%.

Analisando-se os dados da Tabela 8, percebe-se a variação da taxa interna de retorno do investimento em função do valor proposto para o equipamento e se verifica que, à medida que

Tabela 8. Valores presentes líquidos (VPL), taxa interna de retorno (TIR), relação benefício/custo (RBC) e tempo de retorno de capital (TRC) em função do preço do equipamento

| PG* (R\$) | VPLpulsos (R\$) | VPLcatação (R\$) | TIR (%) | RBC | TRC (mês) |
|-----------|-----------------|------------------|---------|-------|-----------|
| 1.000,00 | 261.409,77 | 204.096,23 | 999,3 | 58,31 | 1,20 |
| 2.000,00 | 260.409,77 | 204.096,23 | 499,6 | 29,16 | 2,28 |
| 3.000,00 | 259.409,77 | 204.096,23 | 333,0 | 19,44 | 3,12 |
| 4.000,00 | 258.409,77 | 204.096,23 | 249,7 | 14,58 | 3,72 |
| 5.000,00 | 257.409,77 | 204.096,23 | 199,8 | 11,60 | 4,44 |
| Média | 259.490,77 | 204.096,23 | - | - | - |

* PG - Preço gerador

se aumenta o valor do equipamento, ou seja, o valor a ser investido, ocorre a diminuição da taxa de retorno, mas para todos os preços propostos para o equipamento, a TIR acenou para possibilidade e viabilidade do investimento, pois os valores apresentados estão todos acima do valor do custo de oportunidade de 15% ao ano, para o qual foram feitas as análises. Para todos os preços considerados de geradores de pulsos elétricos, a taxa interna de retorno foi superior à taxa de juros, mostrando que o investimento na aquisição desses equipamentos é um excelente negócio, visto que remuneração do capital investido que este equipamento trará, seria de aproximadamente 11 a 58 vezes maior durante o horizonte de planejamento, se este mesmo capital fosse aplicado em um investimento que remunerasse o capital investido em 15% ao ano.

CONCLUSÕES

1. Em geral, as minhocas submetidas aos pulsos elétricos controlados se deslocaram preferencialmente no sentido do eletrodo positivo (cátodo).

2. Os fatores frequência e tempo de exposição ao pulso apresentaram efeitos significativos sobre o índice de deslocamento e no índice de separação.

3. O maior valor, tanto do índice de deslocamento quanto do índice de separação, para a espécie *Eudrilus eugeniae*, ocorreu na frequência de 1 Hz e em todos os tempos.

4. O maior valor de índice de deslocamento para a espécie *Eudrilus eugeniae* foi de 78,9% para a tensão de 200 V, frequência de 1 Hz e tempo de exposição de 3,83 h; já o maior valor de índice de separação para esta espécie foi de 62,37% para tensão de 200 V, frequência de 1 Hz e tempo de exposição de 3,854 h.

5. É possível realizar projeto de gerador de pulsos adequado para a minhocultura para espécie *Eudrilus eugeniae*, pois se tem a caracterização dos pulsos elétricos, além da estimativa de potência e energia necessárias ao processo.

6. Para a situação estudada, a utilização de pulsos elétricos controlados para a separação de minhocas do húmus, gera um ganho médio ao longo da vida útil estimada, de R\$ 55.314,54, ou seja, cerca de 27% de economia.

7. Para todos os preços propostos para o equipamento, a TIR acenou para a viabilidade do investimento, pois os valores

apresentados estão todos acima do valor proposto como custo de oportunidade, ou seja, 15% ao ano.

LITERATURA CITADA

- Almeida, P.C.C. Minhocultura, Cuiabá: Edição SEBRAE, 1999. 114p.
- Àvila, U. Criação de minhocas sem segredo, Guaíba: Editora Agropecuária, 1999. 72p.
- Bradway, W.E.; Moore, A.R. The locus of the action of the galvanic current in the earthworm, *Lumbricus terrestris*. Journal of Cellular Comparative Physiology, New York, v.15, 1940. p. 47-54.
- Calvert, C.C. Use of animal excreta for microbial and insect protein synthesis, Journal of Animal Science, Philadelphia, v.48. n.1, 1979. p.178-191.
- Camargo, I.M. de T. Noções básicas de engenharia econômica: aplicações ao setor elétrico. Brasília: FINATEC, 1998. 160p.
- Frizzone, J.A.; Silveira, S.F.R. Avaliação e custos de projetos de irrigação. In: Curso Seminário Energia na Agricultura, 1, 2000. Uberaba. Anais... Uberaba: CEMIG, 2000. p.1-87.
- Kurtz, I.; Schrank, A.R. Bioelectrical properties of intact and regenerating earthworms, *Eisenia foetida*. Physiological zoology, Chicago, v.28, p.322-330, 1955.
- Lapponi, J.C. Avaliação de projetos de investimento: modelos em excel. São Paulo: Lapponi Treinamento e Editora Ltda, 1996. 263p.
- Martinez, A.A. A grande e poderosa minhoca – manual prático do minhocultor. Guaíba: FUNEP, Editora Agropecuária, 1995. 137p.
- Moraes, M.J. de. Utilização de sinais elétricos para a separação de minhocas (*Eudrilus eugeniae* e *Eisenia foetida*) do húmus. Viçosa: UFV. 1999. 88p. Dissertação Mestrado
- Motter, O.F.; Kiehl, E.J.; Kawai, H.; Medel, L.E.; Yoshimoto, H. Utilização de minhocas na produção de composto orgânico. São Paulo: CETESB, 1990. 8p.
- Reinecke, A.J.; Kriel, J.R. Influence of temperature on the reproduction of the earthworm *Eisenia foetida* (*oligochaeta*), Journal of Zoology, London, v.16, n.2, p. 96-100, 1981.
- Righi, G. Minhocas de Mato Grosso e de Rondônia, Brasília: FAPEMIG AED, 1989.158p.
- Rossi, F.; Shimoda, E. Criação de minhocas – manual, Viçosa: Centro de Produções Técnicas, 1996. 29p.
- Rushton, S.P.; Luff, M.L. A new electrical method for sampling earthworm populations, Pedobiologia, New York, v.26, 1984, p.15-19.
- Satchell, J.E. An electrical method of sampling earthworm populations, In: Kevan, D.K. Mc. E. Soil Zoololy. London: Butterworths Scientific, 1955. p.356-364.
- SENAR - RS. Criação de minhocas e produção de húmus – Manual, Porto Alegre: SENAR, 1994. 25p.
- Thielemann, U. The octet-method for sampling earthworm populations, Pedobiologia, New York, v.29, 1986, p.297-303.
- Vieira, M.L. Produção de minhocas em dejetos suínos estabilizados e valor nutritivo da farinha de minhocas para suínos. Viçosa: UFV. 1997. 59p. Dissertação Mestrado