

CAPÍTULO 6

OUTROS EQUIPAMENTOS E MÉTODOS

Clovis I. Biscegli¹, Carlos M. P. Vaz¹, Paulo E. Cruvinel¹, Ladislau M. Rabello¹, Paulo S. de P. Herrmann¹, Luiz A. Colnago¹, Silvio Crestana¹, Sérgio Mascarenhas¹, João de M. Naime¹, Álvaro M. da Silva¹, Antônio P. de Novaes², José A. Eiras³, Jerônimo A. Fávero⁴, Victor Bertucci Neto¹, Sérgio A. S. Machado⁵, Luiz H. Mazo⁵, Luiz A. Avaca⁵, Pedro M. da Silveira⁵, Ricardo Y. Inamasu¹

6.1 Introdução

Neste capítulo são apresentados resultados do desenvolvimento de outros equipamentos e métodos não-convencionais realizados pela EMBRAPA-CNPDIÁ e demais instituições colaboradoras, para atender às demandas julgadas importantes para o avanço da pesquisa agropecuária.

Cada equipamento ou método mostrado consta de uma introdução ao assunto, a abordagem do problema, uma breve descrição de como o equipamento ou método contribuiu para a solução, incluindo resultados e recomendações. O texto é ilustrado por figuras, diagramas e fotos, evitando-se o aprofundamento detalhado do tema, o que pode ser obtido pelas referências mencionadas para cada tópico tratado. Esta colocação mais abrangente tem por objetivo mostrar o potencial que os instrumentos aqui apresentados dispõem para enfocar e resolver problemas com o uso de equipamentos e métodos não-convencionais.

6.2 Medidor de espessura de toucinho em suínos vivos por ultra-som

O princípio básico do melhoramento genético se fundamenta na seleção, isto é, na escolha dos indivíduos que apresentam o melhor desempenho em uma ou mais características de interesse econômico.

¹ Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária - CNPDIA-EMBRAPA, Cx.P. 741, CEP 13560-970, São Carlos-SP

² Centro de Pesquisa de Pecuária do Sudeste - CPPSE-EMBRAPA, Cx.P. 339, CEP 13560-970, São Carlos-SP

³ Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, Cx.P. 676, CEP 13560-970, São Carlos-SP

⁴ Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves - CNPSA-EMBRAPA, Cx.P. 21, CEP 89700-000 Concórdia-SC

⁵ Instituto de Química de São Carlos - USP, Cx.P. 369, CEP 13560-970, São Carlos-SP

Na suinocultura, a espessura dorsal de toucinho é uma das características mais importantes, pois apresenta uma alta correlação negativa (-0,75 a -0,85) com o percentual de carne na carcaça. Isso significa dizer que, na medida em que se diminui a espessura de toucinho (medida nos animais vivos), aumenta-se a quantidade de carne nas carcaças dos suínos. Além de apresentar uma correlação favorável para o objetivo fim da suinocultura, a espessura do toucinho é uma característica de alta herdabilidade, ou seja, é transmitida com grande probabilidade dos pais para os filhos, o que reforça ainda mais a necessidade de selecionar reprodutores com baixa espessura de toucinho para produzir filhos com carcaça de melhor qualidade.

A utilização de equipamentos de ultra-som no melhoramento genético de suínos tem contribuído muito para o sucesso dos programas de seleção, pois permite determinar a camada dorsal de gordura nos animais vivos, de forma rápida, com boa precisão e sem causar nenhum dano à carcaça. Além de sua importância em programas de melhoramento genético, o ultra-som também é útil na escolha de reprodutores em granjas comerciais, na avaliação de animais destinados ao abate, na avaliação do estado nutricional de porcas e no monitoramento de experimentos (Hudson & Payne-Crostin, 1984).

Em relação aos produtores de animais terminados, é importante considerar que os abatedouros frigoríficos mais importantes do país não estão mais comprando suínos com base no peso vivo e sim adquirindo carcaças, cujo preço por quilo varia em função do percentual de carne que cada uma contém. Essa realidade do mercado de matéria-prima exige do produtor uma preocupação redobrada em relação à escolha do material genético a ser incorporado ao seu sistema de produção.

Um estudo recente desenvolvido por Irgang (1996) mostra que, para cada milímetro de redução da espessura de toucinho medida entre a última e a penúltima costela, estima-se um aumento de 0,66% de carne na carcaça, caracterizando mais uma vez a importância da determinação da espessura de toucinho dos reprodutores que irão produzir suínos terminados.

O princípio físico do aparelho de ultra-som se baseia na reflexão das ondas ultra-sônicas em uma interface. O transdutor emite um onda de ultra-som de 2MHz durante 2 μ s através do couro do animal, a qual atravessa as interfaces das duas camadas de toucinho e a interface da segunda camada e os músculos adjacentes. Cada interface reflete uma parte do pulso retornando ao transdutor, que atua como um microfone ao receber esses sinais. O aparelho foi projetado para medir o tempo necessário para o pulso ir e voltar ao transdutor, o qual é proporcional à distância entre o transdutor e a interface toucinho-músculo. Nos suínos a espessura total de toucinho consiste de duas camadas, que variam de acordo com a qualidade genética dos animais. O uso do aparelho de ultra-som possibilita uma leitura da espessura do toucinho em poucos segundos e mostra o valor na forma digital calibrado, em milímetros. A velocidade do ultra-som em sistemas biológicos apresenta uma pequena dispersão, o que significa que é independente da frequência para a maioria das aplicações. A calibração do aparelho está baseada na velocidade do ultra-som na gordura, que é de 1480m/s.

Para calibrar o aparelho, utiliza-se um simulador de toucinho de suínos, o qual consiste de um bloco de plástico feito a partir de um tarugo de acrílico de 20mm de diâmetro. Como a velocidade do ultra-som no acrílico é de 2680m/s ou 1,81 vezes mais rápida que no toucinho do animal vivo ($2680 \div 1480=1,81$), para uma leitura no acrílico de 22mm, arbitrariamente

escolhida, o bloco tem que ser maior do que 22mm, ou seja, tem que ter 40mm de comprimento (Biscegli & Eiras, 1996). A Fig.1 ilustra o equipamento construído e repassado à iniciativa privada para fabricação e comercialização (pedido de depósito de patente MU N° 7601260-3).

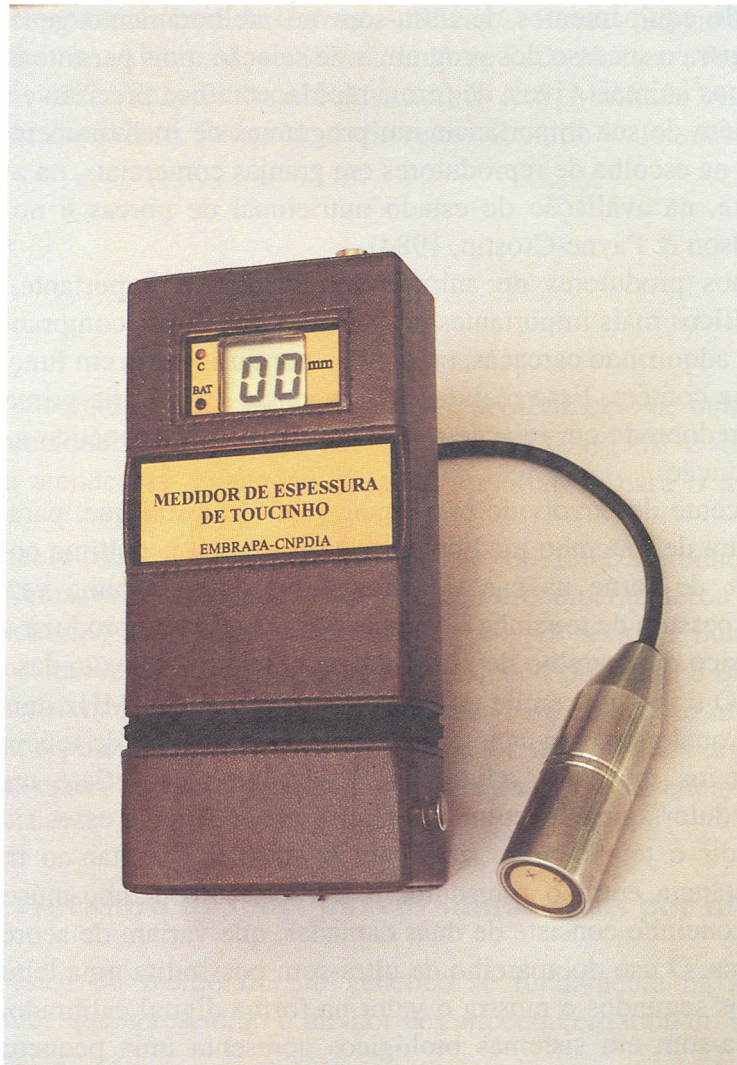


Figura 1 - Equipamento desenvolvido para medir a espessura de toucinho

O desenvolvimento de um aparelho de ultra-som para avaliação da espessura de toucinho em suínos vivos depende, essencialmente, das características do transdutor ultra-sônico.

Ambas, sensibilidade e resolução, afetam o desempenho do equipamento, e portanto é necessário encontrar a configuração ótima para o transdutor. O principal problema na construção de transdutores ultra-sônicos é a cerâmica piezoelétrica, a qual deve reunir características especiais para gerar pulsos de ondas mecânicas de curta duração, que são enviadas para dentro do corpo do animal.

Desde sua descoberta na década de 50, as cerâmicas piezoelétricas de $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$, (PZT) têm sido usadas em aplicações tecnológicas como sensores e atuadores piezoelétricos. As composições que apresentam melhor eficiência são aquelas com concentrações de $\text{Zr}/\text{Ti} \cong 1$ e dopadas com elementos doadores/aceitadores, dependendo da aplicação para as quais estão sendo projetadas. No Brasil, o Grupo de Cerâmicas Ferroelétricas do Departamento de Física-UFSCar é, praticamente, o único dedicado ao desenvolvimento de cerâmicas e transdutores piezoelétricos para uma variedade de aplicações.

Para ser portátil, leve, de pequenas dimensões e de baixo consumo, no módulo eletrônico do aparelho foram empregados circuitos integrados e componentes eletrônicos modernos. O módulo eletrônico é responsável por: fornecer os sinais elétricos para excitar o transdutor, amplificar e processar os pequenos sinais provenientes dos ecos das diferentes camadas de toucinho e mostrar o resultado, diretamente em milímetros, num visor digital de cristal líquido.

6.3 Equipamento para a manipulação de embriões

A pecuária de hoje, onde vacas e touros que valham o custo da criação são obtidos a partir da manipulação genética, é uma atividade que começa no laboratório. E não se trata simplesmente dos procedimentos conhecidos como “inseminação artificial”; as técnicas mais recentes e lucrativas, como a transferência de embriões, exigem aparelhos, tais como micromanipuladores importados, equipados com sofisticados controles eletromecânicos. O objetivo final para o desenvolvimento dessas técnicas é atender à crescente demanda por carne e leite. O uso de reprodutores (touros) e matrizes (vacas), selecionados segundo sua aptidão (pois há raças mais adequadas à produção de carne e outras à de leite), é a única forma de reduzir os custos, uma vez que a terra e os insumos imprescindíveis à pecuária oneram a produção. Para poder competir no mercado, as fazendas modernas devem aumentar a produção por área, utilizando a tecnologia como arma nessa batalha onde só leva vantagem quem tem o produto melhor e mais barato.

A inseminação artificial dos bovinos, usada desde 1950 para melhoramento dos rebanhos, foi um passo importante, principalmente no setor leiteiro, onde o sêmen dos reprodutores testados deu origem a filhas de alta produção, reduzindo os custos operacionais. Mais tarde, o método foi aprimorado com a transferência de embriões.

Em todo rebanho existem fêmeas que se destacam pela excepcional produção leiteira e são aproveitadas como doadoras de embriões. Essas fêmeas, quando superovuladas e inseminadas, produzem vários embriões, que podem ser transferidos para o útero de outras vacas, dando origem a diversos gêmeos de excelente produtividade. Os embriões podem,

ainda, ser bipartidos, sexados e congelados, de forma a serem transferidos no momento oportuno. Como eles medem cerca de $80\mu\text{m}$ ($0,08\text{mm}$) e só podem ser vistos sob microscópio, seu seccionamento e manipulação requerem instrumentos muito delicados, como micropipetas que fixam o embrião a ser cortado e controles que garantem precisão e suavidade a essas manipulações.

Tais aparelhos não são, contudo, fabricados no país, o que acaba elevando os custos para os produtores. O desenvolvimento de um sistema de micromanipulação de baixo custo e com desempenho similar aos importados, feito com material disponível no mercado, visa minimizar essa dificuldade (Novaes et al, 1990).

O micromanipulador consiste de dois sistemas iguais, que permitem movimentos lineares nas direções X, Y e Z. Um dos conjuntos serve para fixar a micropipeta; o outro para fixar a microlâmina, conforme mostra a Fig.2. Como o embrião é fixado e cortado sob microscópio e a grandes aumentos, os movimentos feitos com o micromanipulador devem ser isentos de vibrações. Um mecanismo hidráulico impede essas vibrações indesejáveis. Assim, a mesa fixadora desliza sobre rolamentos lineares e seus movimentos X, Y e Z são realizados por meio de pequenos pistões metálicos, com êmbolos de teflon ligados, através de um manguito plástico preenchido com óleo, aos sistemas macro e micro.

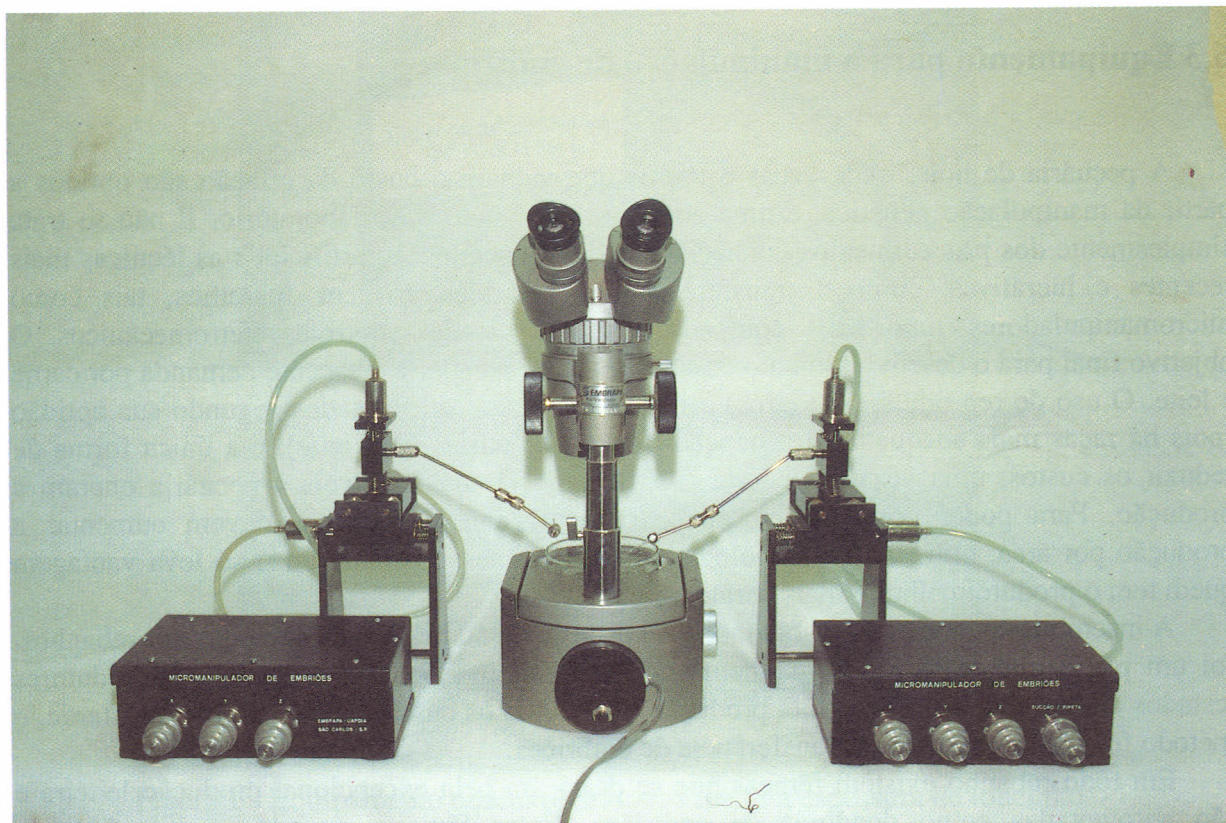


Figura 2 - Equipamento para manipulação de embriões

Este mecanismo, que permite ao operador colocar a micropipeta e a microlâmina na posição correta para fixar e seccionar o embrião, consiste de um pistão metálico com êmbolo também de teflon, acionado por dois parafusos concêntricos, com rosca de 20 fios por polegada para o movimento macro e de 40 fios por polegada para o movimento micro. Uma volta completa no botão de acionamento do movimento micro permite um deslocamento da mesa de 0,04mm (40 μ m) e até mesmo de 0,01mm, em qualquer uma das três direções (Biscegli et al, 1990).

A conjugação dos movimentos X e Y, no plano horizontal, e do eixo vertical Z permite posicionar os manipuladores em diversos ângulos e fixar o embrião na extremidade da micropipeta, que é movida com facilidade. O sistema de aspiração é feito com uma seringa de 3ml, comandada por um parafuso de rosca fina. Dessa forma, o embrião pode ser aspirado e fixado à extremidade da micropipeta sem causar danos à sua membrana pelúcida, o que é indispensável para o êxito da manipulação.

Os testes já feitos com embriões bovinos demonstram que o equipamento atende perfeitamente aos requisitos de precisão e suavidade dos movimentos, bem como de facilidade da operação. Trata-se de uma tecnologia pronta para ser utilizada por pecuaristas, centros de inseminação artificial, universidades e institutos de pesquisas que trabalham normalmente com transferência de embriões.

6.4 Aparelho de ultra-som para diagnóstico de prenhez de bovinos e eqüinos

O diagnóstico da prenhez de bovinos e eqüinos é de extrema importância econômica porque viabiliza o descarte dos animais improdutivos e contribui, dessa forma, para minimizar os custos de produção. A idade do feto que permite o diagnóstico influi no manejo do rebanho, onde as fêmeas prenhes são separadas em pastos de melhor qualidade, pois representam o componente produtivo do rebanho. Assim, quanto mais cedo ocorrer o diagnóstico, maior a oportunidade para dar a esses animais o tratamento adequado.

O método tradicional de detecção de prenhez, chamado de toque retal, requer que o perito faça a apalpação nos cornos uterinos, através das porções finais do reto, para verificar alterações fisiológicas de volume e textura no útero e vesícula amniótica. As alterações constatadas levam o perito a concluir se o animal está ou não prenhe. Tal método requer um perito altamente treinado; é demorado, só é confiável após 60 dias da cobertura em bovinos, é oneroso para o produtor e não permite saber se o feto está vivo. Desse modo, uma falsa prenhez diagnosticada pelo método tradicional acarreta aumento de gastos para o produtor.

O aparelho proposto e construído pela EMBRAPA-CNPDIA e testado em animais do plantel da EMBRAPA-CPPSE (repassado à iniciativa privada para fabricação e comercialização - pedido de depósito de patente MU N° 7501905-1) substitui com vantagens os inconvenientes acima mencionados, pois o emprego do ultra-som de ondas contínuas é simples, de fácil manejo, inócuo para o feto em formação, proporcionando um trabalho

rápido, altamente confiável e permite concluir se o feto está vivo ou não (Novaes et al, 1989), conforme ilustra a Fig.3.

O princípio de funcionamento se baseia no Efeito Doppler (Wells, 1977) das ondas contínuas, que se refletem nas artérias, veias, paredes, válvulas e cavidades cardíacas, como também nas hemácias do fluxo sanguíneo. Ondas mecânicas de frequência ultra-sônica (2,2MHz) e de baixa potência são enviadas para dentro do corpo do animal através de um transdutor e, após se refletirem nas artérias, veias, coração ou válvulas, retornam ao transdutor, produzindo sinais elétricos que são amplificados e um som equivalente ao batimento cardíaco fetal pode ser ouvido pelo perito.



Figura 3 - Aparelho de ultra-som para diagnóstico de prenhez

Este método permite a detecção da prenhez nos equinos após 22 dias da cobertura, com auscultação direta, com o transdutor colocado sobre a vesícula amniótica no útero. Nos bovinos, a presença constante de fezes com bolhas de gás nas porções finais do reto dificultam o diagnóstico (pois o ultra-som não se propaga em presença de gás). Emprega-se, então, um método indireto, com auscultação do frêmito da artéria uterina média, pois a palpação só é percebida aos sete meses de gestação. No entanto, com o transdutor colocado sobre essa artéria, ouve-se um som de “folha de zinco” sacudida no ar, indicando o aumento da pressão para atender o corno grávido aos 30 dias. Nas fêmeas não-grávidas, a auscultação permite ouvir somente um pulso normal. A varredura sobre o útero grávido, nos bovinos, permite auscultar a pulsação fetal, que é de 120 batimentos por minuto, após 45 dias de gestação, trazendo dias de antecedência na constatação da prenhez, o que acarreta redução de despesas. A colocação do transdutor do lado de fora do abdome do animal não produz nenhum resultado porque as alças intestinais, que contêm ar, impedem a passagem das ondas ultra-sônicas.

6.5 *Minirhizotron* - métodos e aplicações

A pesquisa do sistema radicular de plantas em condições de campo apresenta sérias dificuldades porque o solo limita o acesso às observações. Os métodos de campo para observação do crescimento de raízes são trabalhosos e requerem a destruição de extensas áreas nos locais onde são realizados os experimentos. Como consequência, a maioria das áreas onde são realizadas medições ficam inutilizadas para novos estudos e pesquisas por muitos anos. A dinâmica do crescimento de raízes no campo não pode ser estudada com os métodos convencionais porque a repetição de medidas no mesmo local é virtualmente impossível.

Pesquisadores de ciência do solo e biólogos desde há muito reclamam da impossibilidade da realização de estudos não-destrutivos do sistema radicular de plantas, seu desenvolvimento e suas interações com o solo e com outros organismos vivos no solo. Um aparelho que permite "enxergar" dentro da terra sem destruí-la foi desenvolvido e adaptado a partir de tecnologia usada em medicina e em processamento digital de imagens, conforme ilustra a Fig.4. Esse novo equipamento, não-convencional, chamado de “Endoscópio para Solo e Raízes” ou *Minirhizotron* (do Grego *rhizos*, que significa raiz e *tron*, que significa dispositivo de estudo), é composto por um sistema de detecção de imagem e monitor de vídeo, que acoplados a um videocassete possibilitam estudar o crescimento de culturas como milho, feijão, cana, entre outras (Taylor, 1987). Com o equipamento também podem ser analisadas a estrutura e a compactação do solo e, eventualmente, o movimento de fluidos, como água e solutos.

As aplicações do *minirhizotron* são muitas e permitem aos geneticistas compararem o desenvolvimento radicular de diversas culturas genéticas e procurarem por associações de tolerância à seca, tempo de infecção com patógenos de raízes ou simplesmente diferenças na profundidade e volume de raízes. Em ciência do solo, pode-se estudar o crescimento de raízes sob diferentes condições de solo ou diferentes tipos de solos ou a várias profundidades. Entomologistas e nematologistas podem observar os efeitos de seus organismos na escolha de

raízes e plantas.



Figura 4 - Equipamento *minirhizotron* desenvolvido na EMBRAPA-CNPDI

6.6 Sistema computadorizado para congelamento de embriões

A técnica de congelamento de embriões é largamente utilizada na pecuária de muitos países, e visa a escolha de matrizes e criação de bancos genéticos. Consiste, basicamente, da coleta, manipulação e resfriamento criterioso de embriões (retirados da fêmea que já foi previamente superovulada e inseminada) para posterior acondicionamento em temperaturas muito baixas, como as do nitrogênio líquido. Se os embriões forem inseridos em nitrogênio líquido imediatamente após a coleta, poderão sofrer ruptura na camada externa, devido à cristalização intracelular e assim morrerem. A literatura aponta vários trabalhos sugerindo, além das técnicas de manejo e preparo, os modos de se baixar a temperatura dos embriões sem danificá-los. Os métodos mais utilizados são os de Takeda (1984) e Schneider & Mazur (1984) que, basicamente, propõem um resfriamento pós-coleta, como o indicado na Fig.5, onde afirmam não ser importante a velocidade do decréscimo da temperatura ambiente até -5°C . A partir dessa temperatura, sim, afirmam ser importante a velocidade, sugerindo a taxa de $0,3^{\circ}\text{C}/\text{min}$. até -40°C , com precisão de $0,1^{\circ}\text{C}$.

Os equipamentos comerciais desenvolvidos para tal fim são direcionados, geralmente, para tipos específicos de embriões e não permitem maior flexibilidade na escolha da seqüência de rampas e patamares em baixas temperaturas (Cruvinel et al, 1993). Além disso, muitos deles utilizam sistemas complexos, como por exemplo, com injeção intermitente de nitrogênio líquido, tornando-os caros e sofisticados. Devido a essa falta de flexibilidade (geralmente possuem controladores de temperatura dedicados), não permitem que os pesquisadores da área de criobiologia possam desenvolver novas técnicas de congelamento de embriões para as espécies conhecidas ou de outras, tais como as de espécies em extinção.

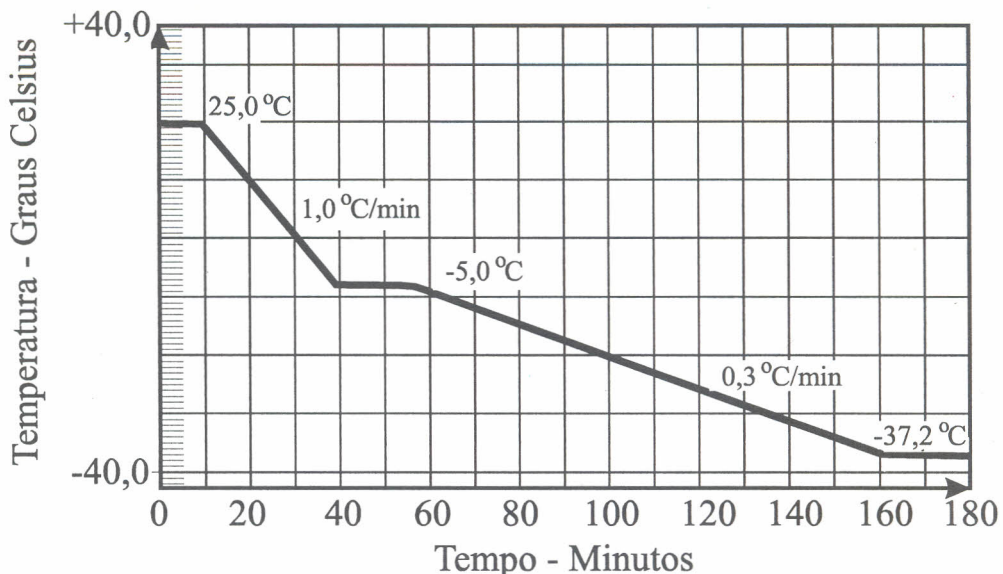


Figura 5 - Gráfico demonstrativo das duas rampas necessárias para o congelamento de embriões

Aqui é apresentado um sistema desenvolvido para congelamento de embriões, capaz de controlar a temperatura entre +40 °C e -40 °C, computadorizado, bastante flexível quanto à sua utilização e compacto quanto às suas dimensões (Rabello, 1993; Rabello et al, 1994).

6.6.1 Descrição do sistema computadorizado

Visando desenvolver um sistema compacto e de fácil manutenção, foi proposto como sistema de refrigeração um que se aproximasse mais dos refrigeradores domésticos, ou seja, com a utilização de refrigerante gasoso, exclui-se a necessidade de se armazenar nitrogênio, gás que se perde na atmosfera. Como se observa na Fig.6, um dos sistemas de refrigeração projetado é composto de evaporador, compressor, condensador e tubo capilar. O evaporador foi montado com 2 cilindros de aço inox 304, com aletas entre as paredes dos dois para formar um caminho helicoidal, de tal forma que o gás refrigerante possa circular em toda a área quando ocorrer a expansão. Uma camada de poliuretano foi colocada para realizar o isolamento térmico adequado. Como gás refrigerante, foi escolhido o R-502, sendo o compressor mais indicado um de fabricação da ELGIN MÁQUINAS S.A., modelo TCB 5-030E, geralmente utilizado em sistemas com capacidade frigorífica maior que as domésticas. O condensador é composto de 10 filas de tubos de cobre com diâmetro de 1/4" e 8 aletas por polegada ao longo de cada tubo, sendo que, como agente condensador, foi utilizado o próprio ar em ventilação forçada. Para controle do fluxo do refrigerante foi utilizado um tubo capilar com diâmetro interno de 0,3mm e comprimento de 1,6m.

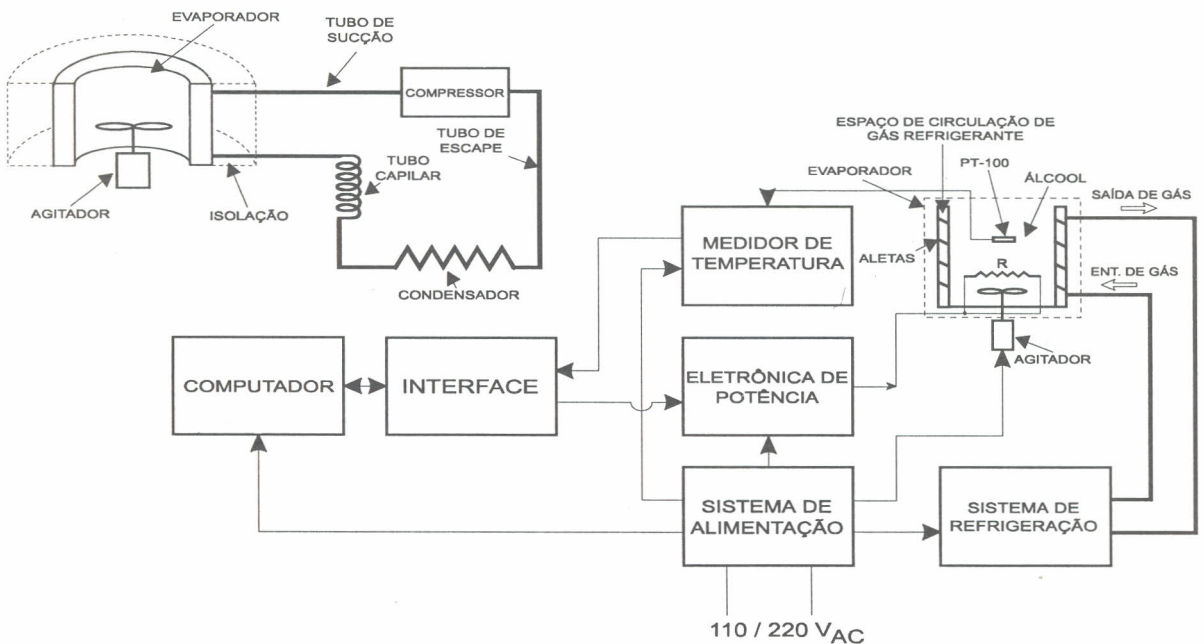


Figura 6 - Diagrama de blocos do sistema de congelamento de embriões

Conforme se pode observar na Fig.6, dentro do recipiente formado pelo evaporador foi enrolada uma resistência elétrica com potência dissipável máxima de 1000W, em forma helicoidal, de modo a atuar como elemento de aquecimento da câmara de congelamento. A temperatura interna da câmara é medida por um termorresistor de platina PT-100, cujo sinal é amplificado através de uma ponte de Wheatstone. O bloco indicado como eletrônica de potência atua como interface do sinal de controle enviado pelo computador para a resistência elétrica, tendo como elemento ativo um circuito integrado TCA 780, de fabricação SIEMENS, que controla o ângulo de disparo no *gate* de dois TRIAC's. O computador utilizado foi um IBM PC-XT, com placa de interface realizando as seguintes funções: conversão analógica-digital do sinal de temperatura medido e conversão digital-analógica do sinal de controle do computador para o bloco eletrônica de potência.

Como o ar não é um bom condutor de calor, o interior da câmara de resfriamento é preenchido com álcool etílico, agitado por meio de uma hélice localizada no fundo do recipiente. Assim, a temperatura ficará homogênea em toda a faixa de operação do sistema. O modelo computadorizado pode ser observado na Fig.7, onde é mostrada uma foto do sistema.

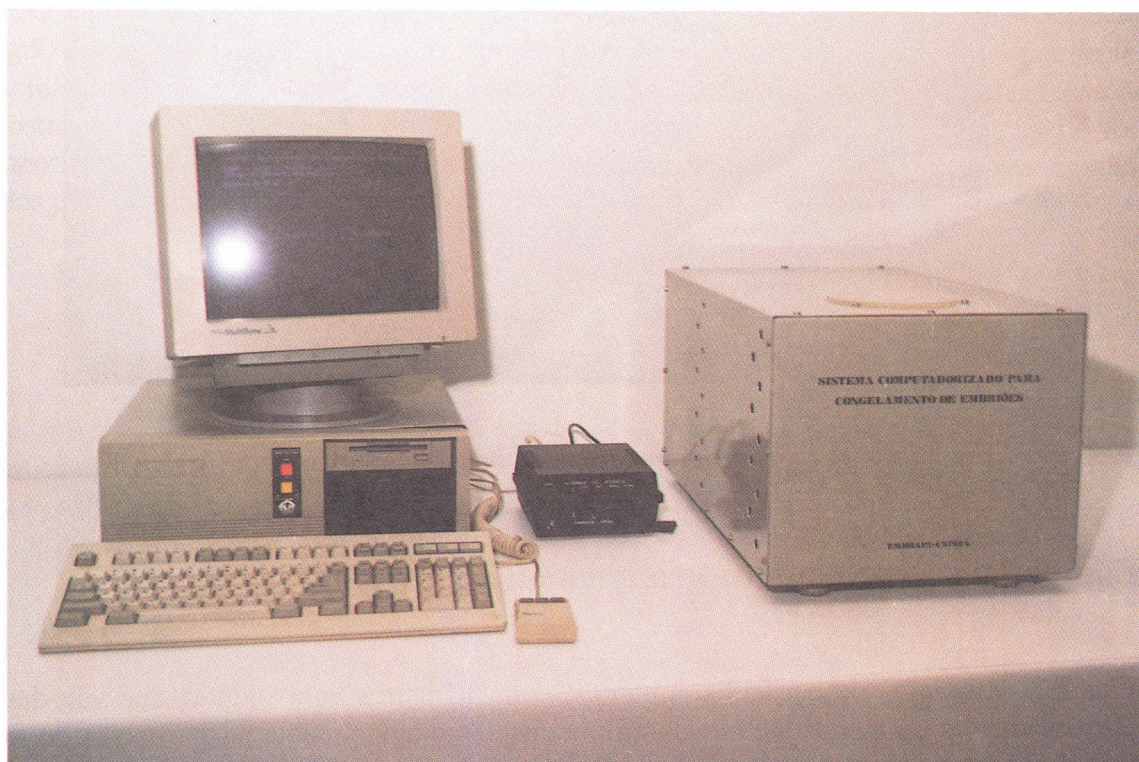


Figura 7 - Sistema de congelamento de embriões computadorizado

Devido a ser computadorizado, o sistema apresenta flexibilidade na programação para o auxílio no controle do processo de congelamento de embriões. Essa flexibilidade, em comparação a outros equipamentos para congelamento, possibilita a operacionabilidade

automática, tanto de protocolos conhecidos para o congelamento de embriões como também o de novos protocolos, viabilizando ações de pesquisa.

Outra versão de equipamento desenvolvido na EMBRAPA-CNPDIA é o que está apresentado na Fig.8. Trata-se de um sistema microcontrolado, com capacidade de programar até 4 rampas. Entretanto, não possibilita a flexibilidade do sistema computadorizado, no que tange ao seu uso em pesquisas.

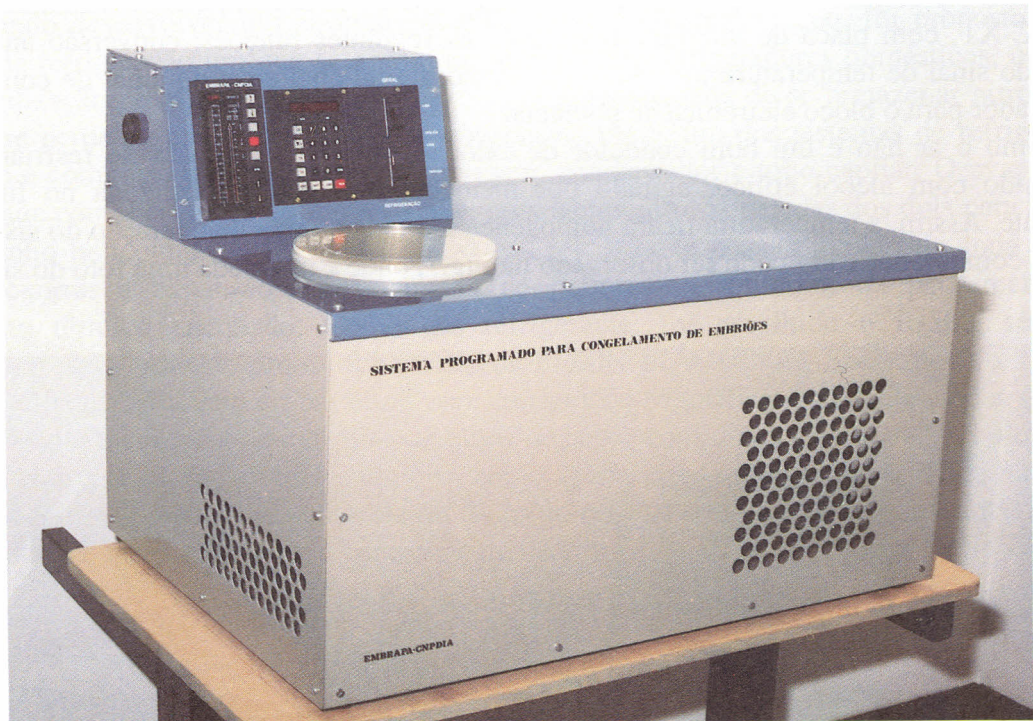


Figura 8 - Sistema programado para congelamento de embriões

6.7 Equipamento para análise granulométrica de solos

O solo é composto de partículas minerais, com diâmetros equivalentes que vão desde alguns micrometros ou menos até alguns milímetros. Tradicionalmente, as partículas do solo são classificadas, quanto ao tamanho, em três classes granulométricas: Argila (menores que $2\mu\text{m}^6$), Silte (entre 2 e $50\mu\text{m}^6$) e Areia (entre $50\mu\text{m}$ e 2mm^6). O conhecimento da distribuição do tamanho dessas partículas é de fundamental importância para a classificação e utilização dos solos, visando um manejo e a aplicação de insumos (fertilizantes, corretivos e pesticidas) de forma adequada.

⁶ limites estabelecidos pelo Departamento de Agricultura dos EUA - USDA

As principais técnicas de determinação dos teores de argila, silte e areia são os chamados Método da Pipeta e Método do Hidrômetro (Densímetro de Bouyoucos). Ambos utilizam o princípio da sedimentação de partículas sólidas em um meio líquido, conhecido como lei de Stokes. Essas técnicas são relativamente simples e de baixo custo, mas apresentam algumas limitações e desvantagens como: a) perturbam as partículas em sedimentação durante a amostragem; b) é necessária a secagem das alíquotas coletadas em estufa por um tempo mínimo de 24 horas (para o método da pipeta) e c) a areia é determinada à parte, por peneiramento.

Recentemente, foi desenvolvido um método de análise do tamanho de partículas, baseado na atenuação de um feixe de raios gama pelas partículas do solo em sedimentação (Vaz et al, 1992; Oliveira et al, 1996), que elimina os problemas dos métodos clássicos citados acima. Esse método fornece uma curva acumulada da distribuição do tamanho das partículas, possibilitando o cálculo das frações de areia, silte e argila dos solos. A seguir, apresentamos os princípios do método, uma descrição do equipamento desenvolvido e alguns resultados, mostrando o seu potencial de uso e aplicação de rotina em laboratórios de análise de solos e em pesquisa.

O equipamento desenvolvido a partir do método de análise do tamanho de partículas (Fig.9) é composto de uma fonte de Amerício-241 com feixe colimado em forma de fenda, sistema para detecção e contagem de radiação gama, motor de passo para movimentação da amostra, sistema eletrônico e software em linguagem C para controle, contagem de fótons, temporização das medidas, armazenamento dos dados em memória, cálculo e transmissão dos dados para computador, via interface RS232.

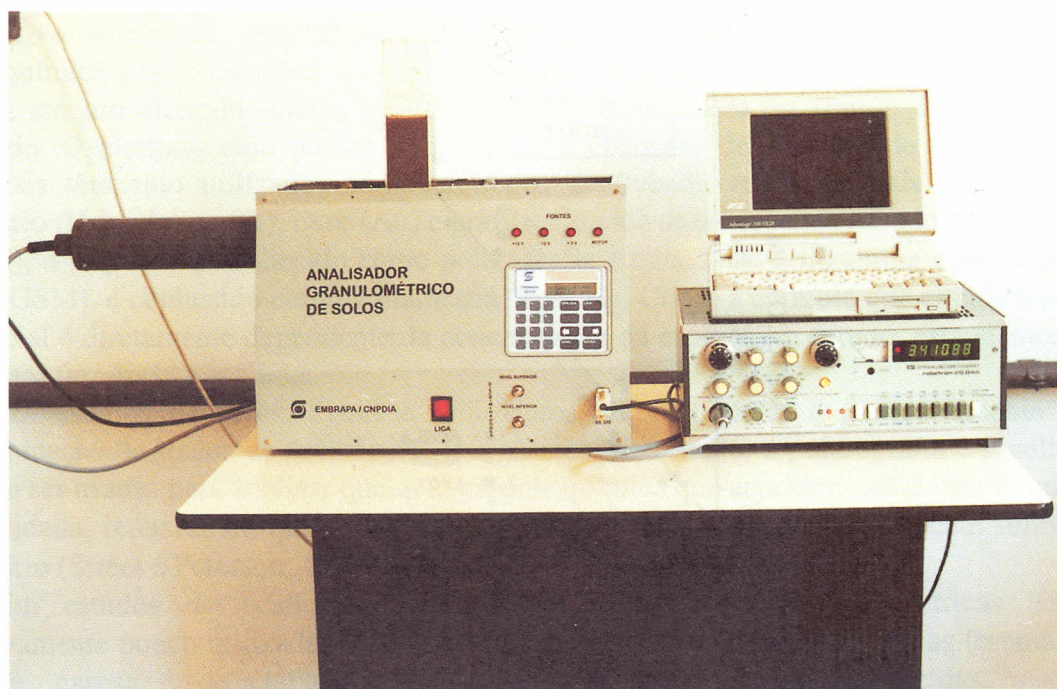


Figura 9 - Equipamento desenvolvido na EMBRAPA-CNPDIA para análises granulométricas

Através da medida da radiação atenuada em diversos instantes e alturas da coluna de sedimentação pode-se calcular as concentrações, por uma equação derivada da lei de Lambert-Beer, para a atenuação de um feixe de raios gama (Vaz et al, 1992, 1995). Uma vez conhecida a concentração total das partículas no líquido, obtêm-se as porcentagens das partículas. Os instantes e as alturas em que as medidas são feitas se correlacionam aos diâmetros das partículas pela lei de Stokes. Dessa forma obtêm-se, como resultado da análise, um gráfico da porcentagem acumulada em função dos diâmetros das partículas.

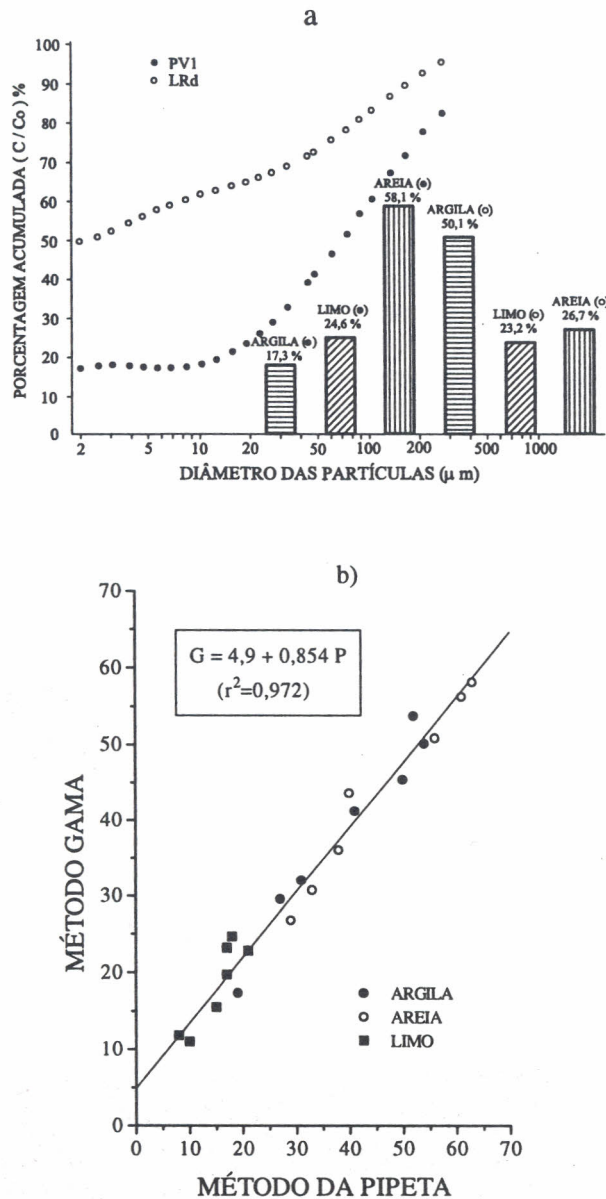


Figura 10 - Resultados obtidos com o método de raios gama para 2 solos de diferentes texturas (a) e comparação com o método da pipeta utilizando 7 solos (b)

A Fig.10a apresenta os resultados obtidos para dois solos: um Latossolo Roxo Distrófico, com alto teor de argila e um Podzólico Vermelho Amarelo com alto teor de areia, ambos da região de Santa Bárbara d'Oeste-SP. Uma análise completa, entre 2 μ m e 2mm, é realizada em cerca de 20 minutos. Os teores de argila silte e areia são calculados pelas porcentagens obtidas para os diâmetros de 2 μ m, 50 μ m e 2000 μ m em cada gráfico. Uma comparação entre o método apresentado aqui e o método da pipeta é mostrado na Fig.10b. Foram analisados 7 solos com diferentes texturas e a correlação obtida foi boa. Outros resultados obtidos para esferas de vidro (Vaz et al, 1995) e carbonato de cálcio floculado (Pasquel et al, 1992) mostraram a possibilidade de aplicação da técnica na medida de outros materiais particulados. A versão atual do equipamento permite a determinação da textura de cerca de 25 amostras/dia. Atualmente, está sendo desenvolvida uma nova versão que possibilite a análise de cerca de 100 amostras/dia.

Além das vantagens mencionadas acima, pode-se destacar ainda a possibilidade da automação completa do processo de medida, o que do ponto de vista dos laboratórios de análise de solos é um bom atrativo para a sua adoção. Na área de pesquisa, algumas aplicações das curvas de distribuição de tamanho de partículas são descritas por Tyler & Wheatcraft (1992). Segundo os autores, elas têm sido usadas para prever propriedades físicas dos solos, como retenção de água, densidade, permeabilidade e porosidade.

6.8 Voltametria para análise de pesticidas

A voltametria é uma técnica ou processo utilizado principalmente nas áreas de eletroquímica e química eletroanalítica, cujo princípio básico consiste na medida da corrente gerada em um eletrodo imerso em uma solução eletrolítica, em função do potencial nele aplicado. O eletrodo cujo potencial é varrido é chamado de eletrodo de trabalho. Muitos materiais têm sido utilizados como eletrodos de trabalho, mas os mais importantes são mercúrio (Hg), platina (Pt), ouro (Au) e grafite. Quando se utiliza um eletrodo gotejante de Hg (EGM), o processo é conhecido como polarografia e quando se utiliza uma gota suspensa de Hg (EGSM), é conhecido como voltametria sobre Hg. Como a corrente que circula a um dado potencial é diretamente dependente da concentração da espécie em estudo, esta técnica é uma poderosa ferramenta analítica.

Em estudos de solos, águas e sedimentos, a polarografia é particularmente útil na determinação de traços de substâncias inorgânicas. Entretanto, a polarografia e a voltametria podem ser usadas para analisar qualquer espécie química que seja eletroativa, isto é, que possa ser oxidada, reduzida ou que forme um complexo estável ou um sal levemente solúvel com mercúrio (Street e Peterson, 1982).

Em estudos de pesticidas, as técnicas polarográficas e voltamétricas têm sido relativamente pouco utilizadas, comparativamente às técnicas cromatográficas (cromatografia líquida, gasosa e de camada delgada), para determinações de herbicidas, inseticidas, fungicidas e outros. Bourque et al (1989) observaram que tais técnicas não têm sido largamente utilizadas para análise de pesticidas. Hance (1970) testou o

comportamento polarográfico de 38 pesticidas em cinco eletrólitos de suporte diferentes. Os resultados mostraram que, dentre os pesticidas testados, 16 apresentaram eletroatividade em mercúrio, sendo o herbicida Picloram o que apresentou melhor sensibilidade (limite de detecção de 80ppb em amostras puras). Vaz (1994) identificou, além dos estudados por Hance, mais 19 pesticidas possíveis de ser analisados por técnicas polarográficas. Atualmente, mais de 50 ingredientes ativos de pesticidas podem ser analisados por tais técnicas, conforme revisão de literatura realizada. Dentre esses pesticidas estão os herbicidas da classe das triazinas (por exemplo, atrazina, simazina, prometrina e simetrina), inseticidas carbamatos (pirimicarbe, aldicarbe e DNOC), organofosforados (parathion, methyl parathion e monocrotophos) e organoclorados (dieldrin e heptachlor), dentre outros.

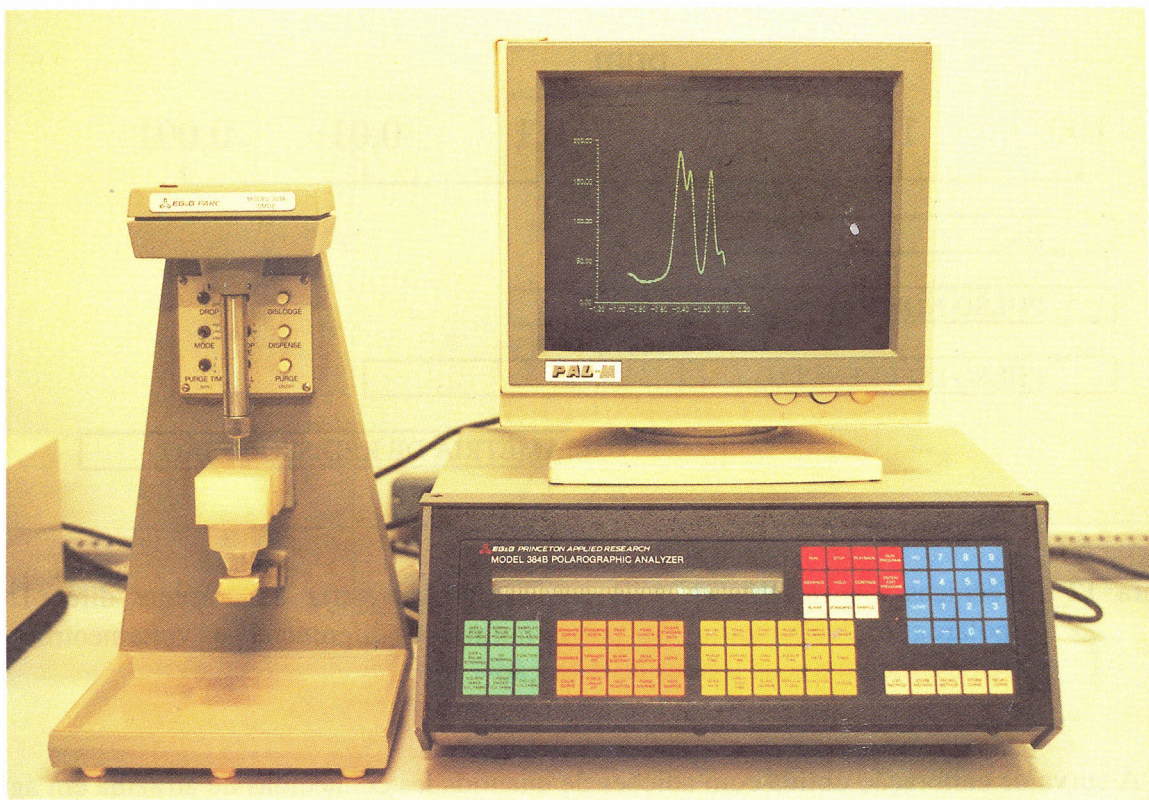
As principais vantagens das técnicas polarográficas, comparadas às cromatográficas, são sua simplicidade, rapidez e baixo custo. Outra vantagem é a possibilidade de se analisar soluções turvas, coloridas ou com partículas coloidais presentes, sem a necessidade de uma purificação ou extração química prévia (Zuman & Rupp, 1995). Como desvantagem têm-se, em alguns casos, baixa seletividade e sensibilidade (limites de detecção entre alguns $\mu\text{g/l}$ e $\mu\text{g/ml}$). A Fig.11 apresenta a foto de um equipamento comercial típico utilizado nas análises polarográficas (EG&G Parc, modelo 384B) e um detalhe de uma cela polarográfica de 3 eletrodos. Existem vários fabricantes de equipamentos comerciais, entre eles a EG&G Parc, Metrohm, Chemtris, Amel e Sargent Welch.

Diversos procedimentos de aplicação e varredura do potencial podem ser usados definindo, assim, métodos distintos com comportamentos e respostas diferenciadas. A Fig.12 mostra as técnicas eletroanalíticas mais utilizadas e seus limites de detecção usuais (Street & Peterson, 1982; Riley & Watson 1987).

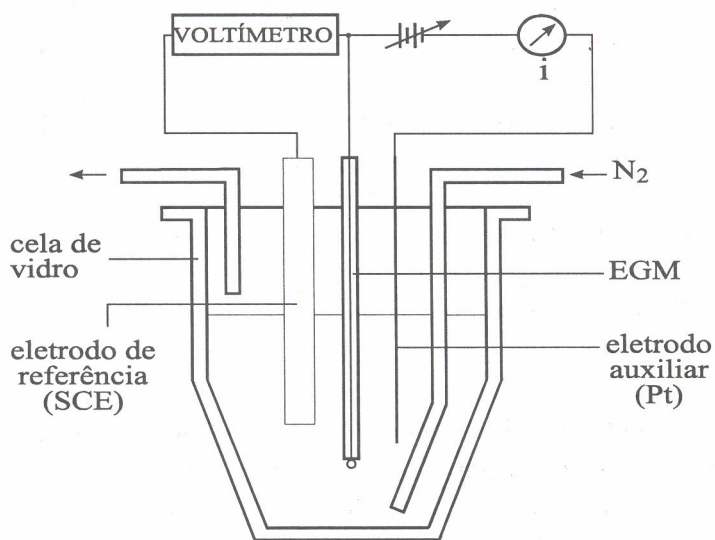
Quando a substância a ser analisada é eletroativa, isto é, apresenta um ou mais picos de redução ou oxidação, a corrente gerada no eletrodo será proporcional à concentração da substância na solução. O procedimento experimental para a análise do pesticida dependerá, em primeira instância, do conhecimento do seu comportamento eletroquímico. Em geral, há a necessidade de se testar a resposta da corrente de pico (ou onda) gerada em função do pH e do eletrólito suporte utilizado. Uma vez estabelecidas as condições ideais do meio para a obtenção de uma melhor definição, maior corrente e estabilidade do pico, pode-se determinar concentrações de amostras desconhecidas através de curvas de calibração obtidas para cada condição específica de amostra.

Como exemplo, apresentamos a seguir alguns resultados obtidos para o herbicida atrazina, mostrando as várias etapas que devem ser cumpridas visando estabelecer um procedimento analítico para a determinação de um dado pesticida por técnicas eletroanalíticas.

Inicialmente, observou-se que a atrazina apresentava 2 picos de redução com as técnicas de voltametria e polarografia de pulso diferencial, um mais catódico (principal) e um menos catódico (menor intensidade de corrente). Esses picos foram atribuídos à redução de formas protonadas da atrazina, com base na variação da corrente e potencial com o pH (Fig.13a). Para a realização de determinações analíticas, adotou-se como pH de trabalho o valor onde a corrente é máxima, ou seja, $\text{pH}=2,3$. A Fig.13b apresenta os voltamogramas obtidos com o EGSM em soluções com concentrações variáveis de atrazina e pH constante de 2,3.



a)



b)

Figura 11 - Foto do polarógrafo da EG&G Parc, modelo 384B (a) e esquema de uma cela eletroquímica de 3 eletrodos (b) utilizada no equipamento

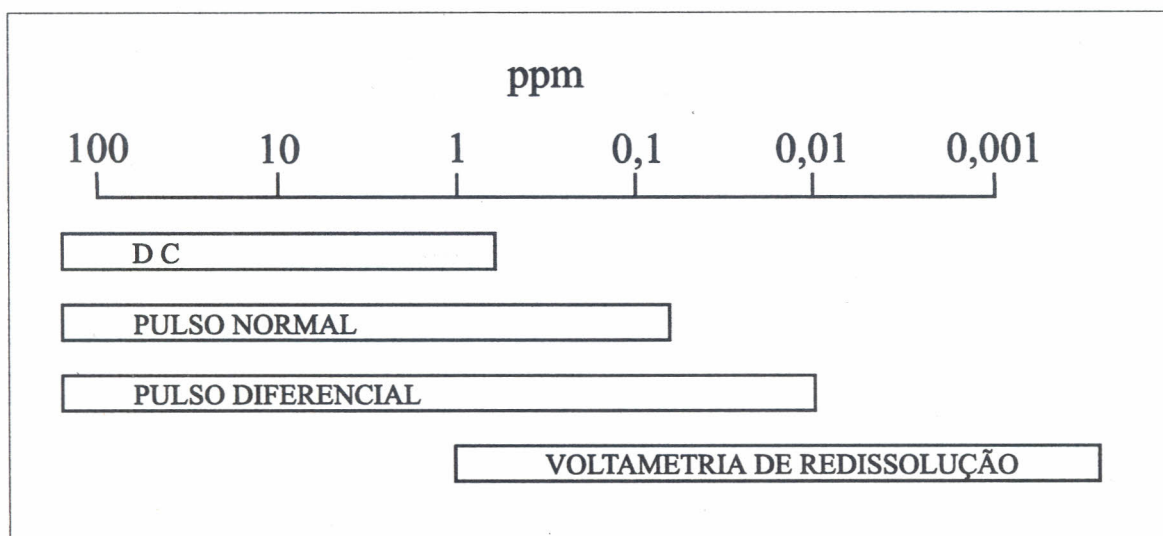


Figura 12 - Técnicas eletroanalíticas mais comuns (polarografia de corrente direta-DC, polarografia/voltametria de pulso normal e diferencial e voltametria de redissolução) e seus limites de detecção

A curva de calibração obtida com adições de quantidades conhecidas de atrazina em água pura e mantendo o pH constante em 2,3 é apresentada na Fig.14a. Comparando os resultados obtidos para o EGM (polarografia) e EGSM (voltametria), observa-se que o eletrodo gotejante possui uma região maior de linearidade (até cerca de $5\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$), devido à constante renovação da superfície da gota a cada estágio de aplicação do potencial. Por sua vez, o eletrodo de gota suspensa fornece maiores correntes para baixas concentrações, o que se reflete num menor limite de detecção para a técnica. Nesse caso, foi obtido um limite de detecção mínimo de $2\mu\text{g/L}$ (Vaz et al, 1996) para a voltametria de Hg (EGSM). A escolha entre um ou outro eletrodo dependerá do tipo de estudo que se quer realizar. A seguir é apresentado um estudo, como exemplo, onde a polarografia (EGM) diferencial de pulso foi a técnica eletroanalítica mais adequada.

Em estudos de adsorção de pesticidas é necessário determinar concentrações numa faixa entre algumas dezenas de ppb ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) e dezenas de ppm ($\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$). O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA, 1990) sugere que o estudo seja realizado numa região entre 0,1 e 30 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$. Nessa região a polarografia de pulso diferencial apresenta, no caso da atrazina, 2 regiões de linearidade, uma até $5\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ e outra acima desse valor (Vaz et al, 1995). A Fig.14b mostra alguns resultados de um estudo para determinar a adsorção de atrazina em alguns solos do Estado de São Paulo (Vaz et al, 1995). São apresentados as isotermas de adsorção de Freundlich e os coeficientes de adsorção K_F ($\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$) para cada solo. As principais características desses solos estão apresentadas na Tabela 1, juntamente com os valores de K_F . Pode-se observar uma tendência de aumento da adsorção com o aumento do teor de matéria

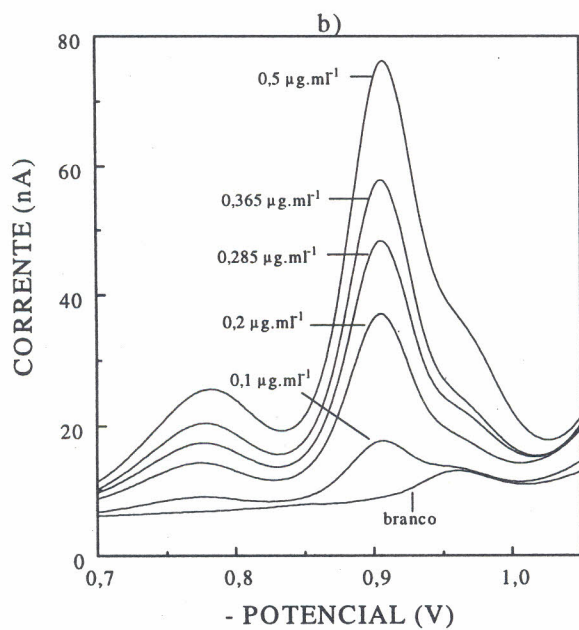
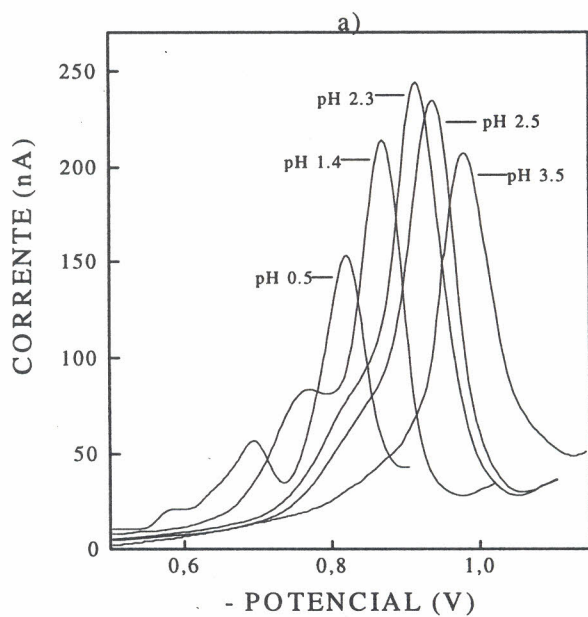


Figura 13 - Voltamogramas de pulso diferenciais obtidos para diversos valores de pH e concentração de atrazina de $4,3 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ (a) e para diversas concentrações de atrazina com pH constante igual a 2,3 (b)

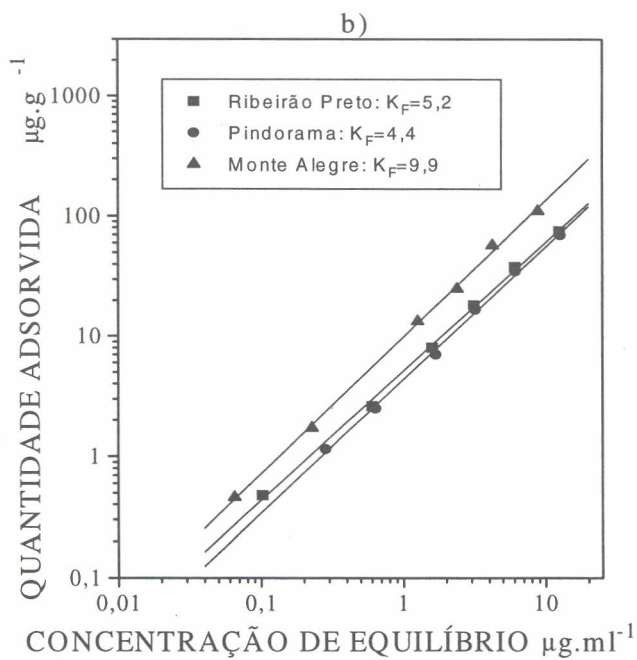
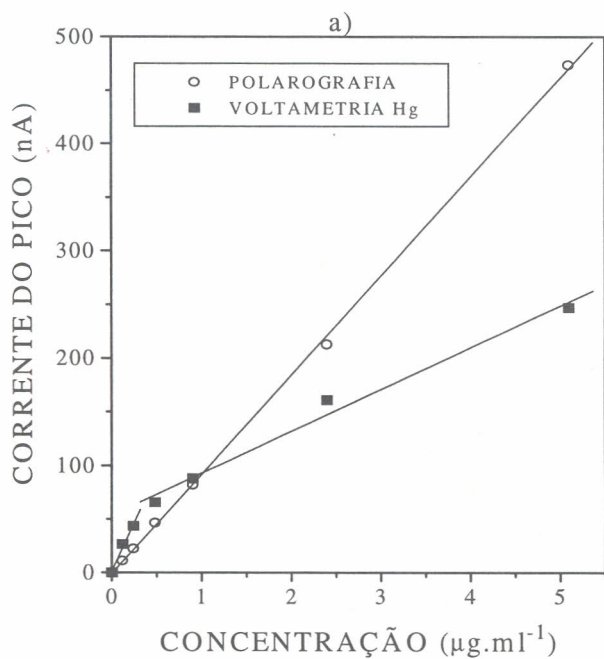


Figura 14 - Curva de calibração da atrazina em água para o EGM e EGSM (a) e isothermas de adsorção de Freundlich para 3 solos do Estado de São Paulo

orgânica e a presença de um mineral de argila tipo 2:1 (vermiculita). Esses resultados estão bastante coerentes com dados da literatura para solos com características similares aos aqui apresentados.

Tabela 1 - Características dos solos e coeficientes de adsorção de Freundlich obtidos. M.O.= matéria orgânica, K=caulinita, G=gibbsite, M=mica, Q=quartzo e V=vermiculina

SOLO	M.O. %	ARGILA %	MINERAIS	pH	K _F (mL g ⁻¹)
Pindorama	2,7	19	C,G,M,V	6,4	4,4 ± 1.0
Monte Alegre	3,7	37	C,G,M,Q,V	5,7	9,9 ± 1.0
Ribeirão Preto	4,0	49	C,G	6,0	5,2 ± 1.0

Dessa maneira, uma técnica eletroquímica de análise, a polarografia (ou voltametria) de pulso diferencial, foi utilizada com sucesso na determinação de atrazina em matrizes naturais e em estudos de adsorção em solos. As vantagens oriundas do baixo custo da técnica, rapidez de análise, mínimo tratamento das amostras, dentre outras, tornam esta aplicação extremamente útil, tanto para o monitoramento ambiental como para determinação de parâmetros de interação entre o pesticida e solos.

6.9 Equipamentos para medidas da taxa de difusão de oxigênio (TDO) e potencial de oxirredução do solo *in-situ*

Uma das principais dificuldades para a cultura do feijão, milho e trigo em solos de várzeas é o excesso de água, comum nesses solos. O excesso de água na região das raízes reduz a quantidade de oxigênio disponível, o que pode levar à morte das plantas. Para caracterizar o grau de aeração do solo têm sido usados alguns parâmetros, como o espaço poroso ocupado pelo ar, composição gasosa, taxa de difusão de oxigênio e potencial de oxirredução do solo (Silveira et al, 1987; Callebaut et al, 1981).

Para isso, foi construído um equipamento visando a medida da taxa de difusão de oxigênio e potencial redox do solo, em um único módulo e usando os mesmo sensores. A TDO é mais usada para solos ricos em oxigênio e o potencial redox para solos pobres nesse elemento. A parte eletrônica foi construída em duas versões, uma versão com circuitos discretos e outra acoplada a um coletor de dados.

A Fig.15 mostra o circuito básico para medição da TDO e o potencial de oxirredução proposto por Herrmann et al (1995), onde se pode observar que o sistema consiste de pelo menos um sensor de platina (sensor de leitura (b)) e um sensor de calomelano (sensor de

referência (a)). Esses sensores são introduzidos no solo e pode-se selecionar o módulo TDO ou potencial redox com a chave Ch1.

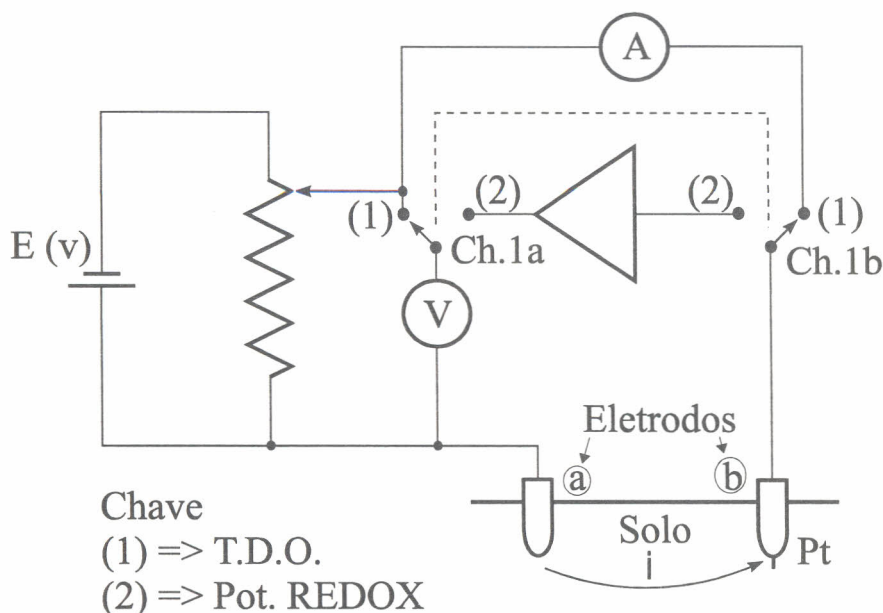


Figura 15 - Circuito básico para a medida de taxa de difusão de oxigênio (TDO) e potencial redox no solo, em campo

A TDO é medida através de um microamperímetro, uma vez que está relacionada à corrente que circula entre um eletrodo de platina e o de calomelano. O microamperímetro desenvolvido trabalha na faixa de 0 a $19,99\mu\text{A}$. A medida do potencial de oxirredução é obtida pela diferença de voltagem entre o sensor de leitura e o de referência. O milivoltímetro construído opera na faixa de $\pm 200,00\text{mV}$.

O eletrodo de referência utilizado (calomelano) foi adquirido comercialmente, modelo Analion R 682. Os eletrodos de platina foram construídos com fio de platina de 0,35mm de diâmetro e comprimento total de 10mm. Desse fio apenas 4mm ficam expostos ao solo e os restantes ficam imersos no corpo do eletrodo, onde é fundido a um fio de cobre.

A primeira versão foi construída com circuitos discretos e os resultados são apresentados em display LCD. Os sensores e as funções TDO-Redox são selecionados por chaves mecânicas (Fig.1-chave Ch1). As leituras obtidas têm que ser registradas pelo operador. Com o advento dos microcontroladores da família 535, os sistemas de coleta de dados, em campo, ganharam novas características, em termos de redução do tamanho físico, no consumo de energia e capacidade de memória. Sendo assim, construiu-se, também, uma versão microprocessada (Herrmann et al, 1995), onde os dados podem ser armazenados automaticamente.

Esse sistema utiliza, além do microcontrolador 80C535, outros dispositivos de controle e periféricos com tecnologia de baixo consumo. Para reduzir ainda mais o consumo

de energia e permitir maior tempo de coleta em campo, o equipamento é energizado automaticamente somente nos períodos programados para coleta de dados. No restante do tempo, apenas o circuito do relógio calendário permanece ativo, consumindo uma corrente muito baixa. A capacidade de memória desse instrumento é de 32 Kbytes.

O software residente para controle e aquisição de dados foi estruturado para armazenar os valores dos dois parâmetros, em três intervalos distintos de tempo, 10, 20 ou 30 minutos, a ser escolhido pelo operador. Com baterias de NiCd de 9V e 0,25 Ampère-hora, o sistema opera por um período de mais de uma semana. No caso de necessidade de maior tempo de coleta, pode-se acoplar bateria de maior porte. Após a coleta, os dados podem ser transferidos para qualquer computador, através de interface RS232.

O diagrama em blocos do coletor de dados com microcontrolador para medidas da TDO e potencial de oxirredução é mostrado na Fig.16. Na Fig.17 uma foto da versão microcontrolada.

Os equipamentos já foram testados em laboratório e no campo experimental do CNPAF-EMBRAPA, em Goiânia-GO, e os resultados foram similares aos obtidos com equipamento de TDO e potencial redox comerciais.

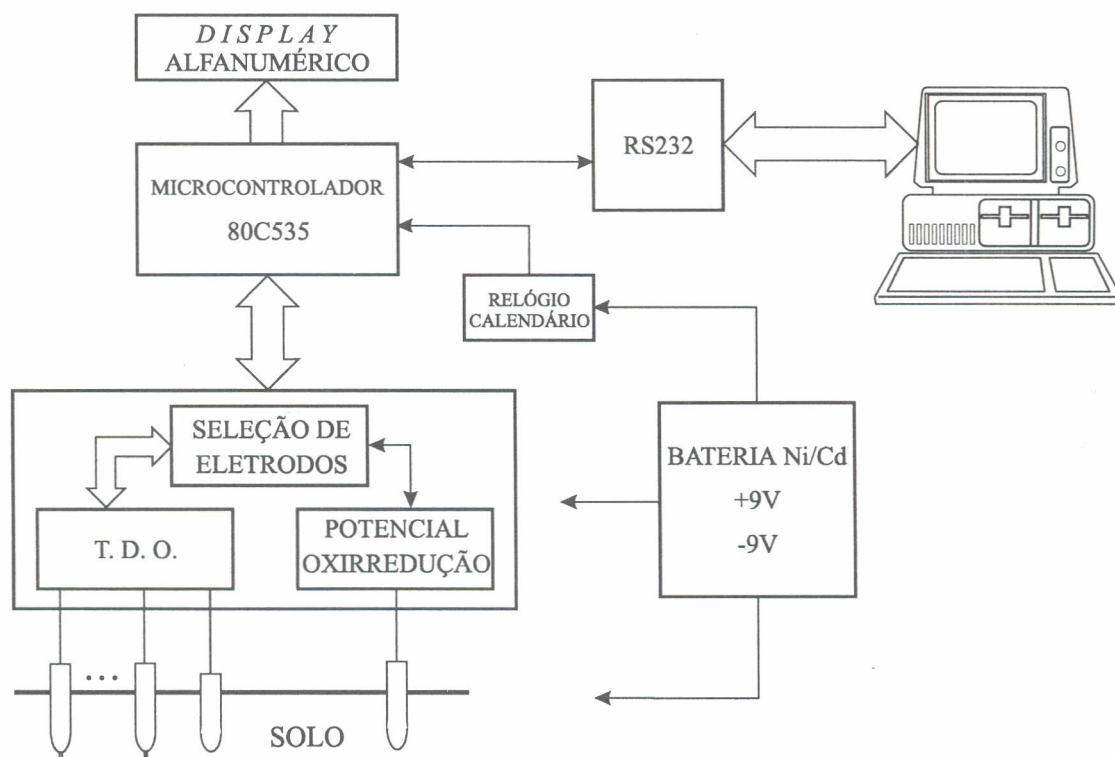


Figura 16 - Diagrama de blocos do sistema proposto para coleta de dados desenvolvido para obtenção das medidas da TDO e do potencial REDOX, no campo



Figura 17 - Equipamento TDO - potencial REDOX na versão microcontrolada

6.10 Instrumentação para medida da umidade do solo através da atenuação de microondas

A importância em adquirir conhecimento sobre o sistema água-solo pode ser medida não apenas pela ênfase que se dá no entendimento desse campo, nas diversas áreas que estão envolvidas com este estudo, mas também pelo crescente número de novas técnicas e instrumentos que a ciência e a tecnologia vêm propondo e aplicando para extrair informações qualitativas e quantitativas do binômio água-solo.

A interação de comprimentos de onda específicos do espectro de radiação de ondas eletromagnéticas com a água e o solo está sendo detalhada através de modelos e experimentos. Muito vem sendo feito para caracterizar a interação de microondas, raios gama e nêutrons com o sistema água-solo.

A utilização de técnicas na faixa de frequência de microondas vem se mostrando proeminente nesse tipo de aplicação. Isso se deve à potencialidade das técnicas, como também à redução de custos e consumo dos dispositivos envolvidos para geração, detecção e análise do sinal de microondas, como os satélites com baixo consumo de potência e os radares. Esse avanço se deu, basicamente, nas décadas de 70 e 80, devido à introdução da tecnologia de arseneto de gálio (GaAs) empregada, por exemplo, nos osciladores do tipo Gunn.

Os processos físicos, tais como transmissão, reflexão e atenuação, entre outros, são importantes no estudo de ondas eletromagnéticas, como é o caso específico de microondas.

Nesta seção é apresentada a medida da atenuação do sinal de microondas e sua correlação com a umidade. A montagem do arranjo experimental utilizado para realizar as medidas e o respectivo diagrama de blocos são mostrados nas Figs.18 e 19 (Herrmann, 1993).

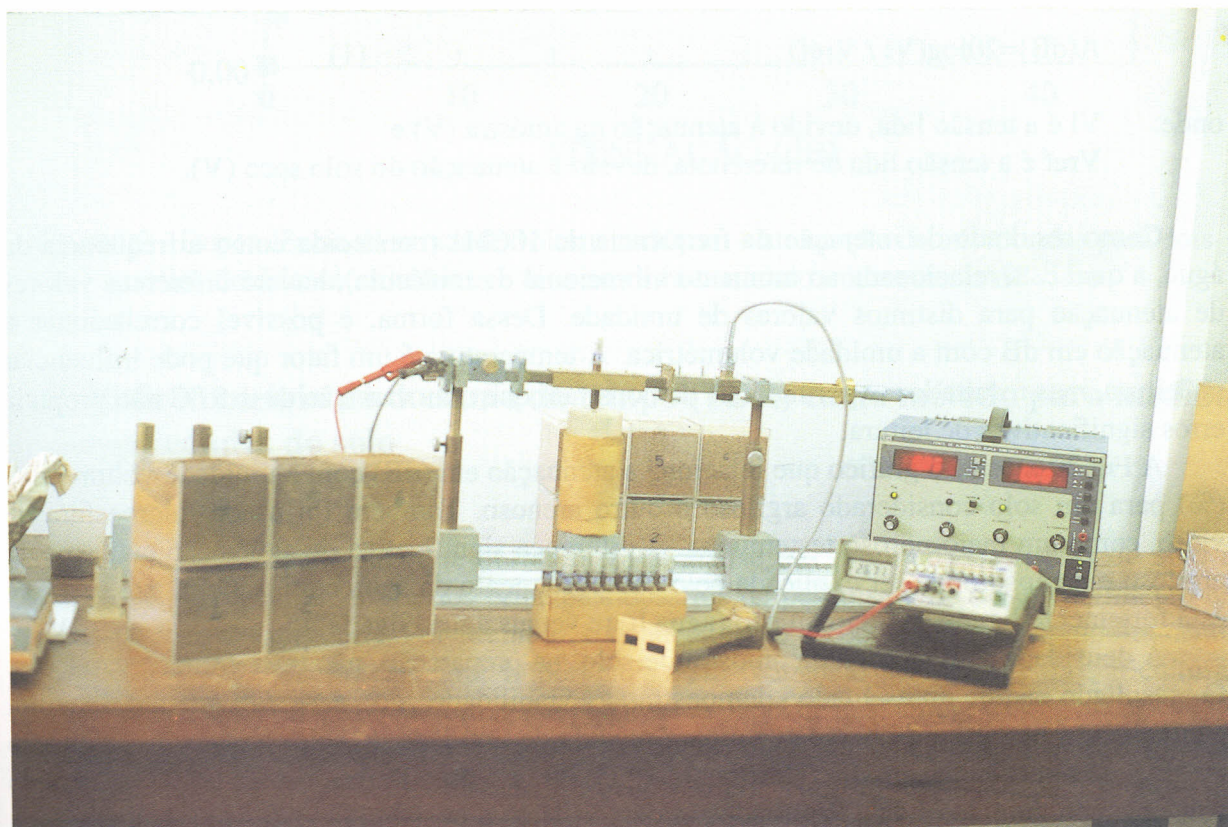


Figura 18 - Arranjo experimental para medida da umidade do solo com a técnica de microondas

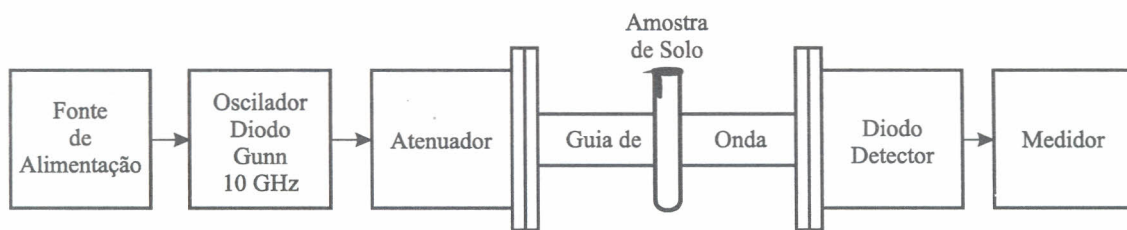


Figura 19 - Diagrama de blocos do sistema de atenuação de microondas para medida da umidade em amostras de solo

O gerador de microondas se constitui de um oscilador do tipo Gunn, na frequência de 10 GHz e potência de 25mW. Trabalha com 8V e corrente máxima de 650mA. Essas características possibilitam desenvolver um equipamento portátil. Em seqüência, pode ser visto um atenuador para controlar a potência transmitida e refletida, o guia de onda projetado para servir de porta amostra, o diodo detector e o voltímetro para leitura do sinal. A equação seguinte permite relacionar a atenuação do sinal (A) em dB, com a leitura do voltímetro:

$$A(\text{dB})=20\log(V_I / V_{\text{ref}}) \quad (1)$$

onde: V_I é a tensão lida, devido à atenuação na amostra (V) e V_{ref} é a tensão lida de referência, devido à atenuação do solo seco (V).

Como resultado da interação da frequência de 10GHz (conhecida como a frequência da água, a qual está relacionada ao momento vibracional da molécula), haverá diferentes valores de atenuação para distintos valores de umidade. Dessa forma, é possível correlacionar a atenuação em dB com a umidade volumétrica. A temperatura é um fator que pode influenciar na leitura, mas resultados experimentais demonstram que uma variação de $\pm 5^\circ\text{C}$ não propicia erros significativos de leitura.

A Fig.20 mostra o gráfico que relaciona a atenuação em (dB) com a umidade volumétrica (%) para um solo considerado argiloso e outro arenoso. Também foi usada microesfera de vidro, como um meio poroso testemunha. A diferença significativa de atenuação entre o solo argiloso e arenoso pode ser explicada pelo comportamento da água com o meio, isto é, se ela está fortemente ligada ao meio ou não (água livre versus água “ligada”).

A densidade volumétrica da amostra de solo, na preparação, não teve grandes variações. O resultado aqui apresentado demonstra a viabilidade do desenvolvimento de um equipamento portátil e de baixo custo para medida de umidade do solo, através da atenuação do sinal de microondas, *in-situ* (Herrmann, 1993). O princípio utilizado para porta-amostra do solo foi o de guia de ondas. Resultados já demonstram a possibilidade de se trabalhar com a transmissão no espaço livre com antenas *microstrips* para se obter a correlação da atenuação do sinal em dB com a umidade volumétrica (%).

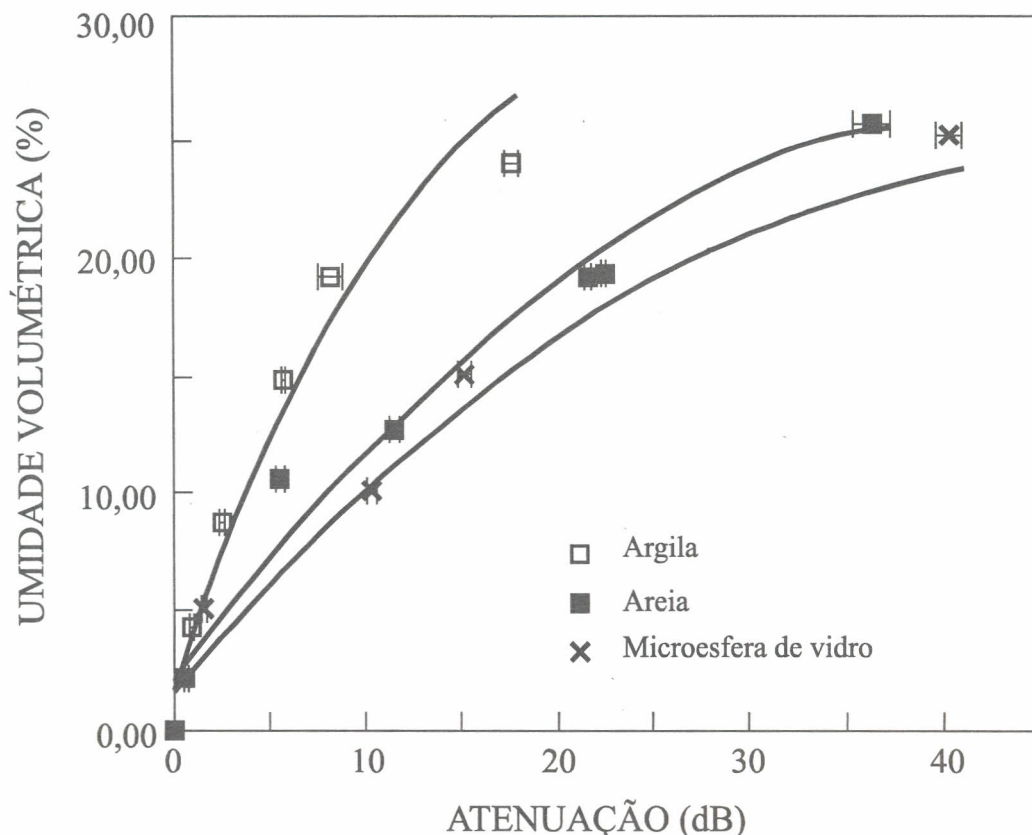


Figura 20 - Dependência da umidade volumétrica com a atenuação de microondas para dois solos de diferentes texturas e uma amostra contendo microesferas de vidro

6.11 Reflectometria do domínio do tempo (TDR) como método para medida de propriedades do solo

Métodos e equipamentos que possibilitem a análise das propriedades físicas do solo e medidas *in-situ* constituem um dos principais desafios da pesquisa e do desenvolvimento da instrumentação agropecuária. Por exemplo, o conhecimento do conteúdo e do comportamento da água no solo é de fundamental importância para o manejo sustentável da agricultura. Portanto, técnicas que se enquadrem nesse perfil terão papel de destaque.

A reflectometria no domínio do tempo (TDR) é uma das técnicas recentes que vêm de encontro a essa necessidade. O método foi proposto por Topp et al (1980) para medida da umidade do solo, utilizando equipamento já existente para diagnosticar discontinuidades em cabos e linha de transmissão de redes telefônicas (Fig.21).

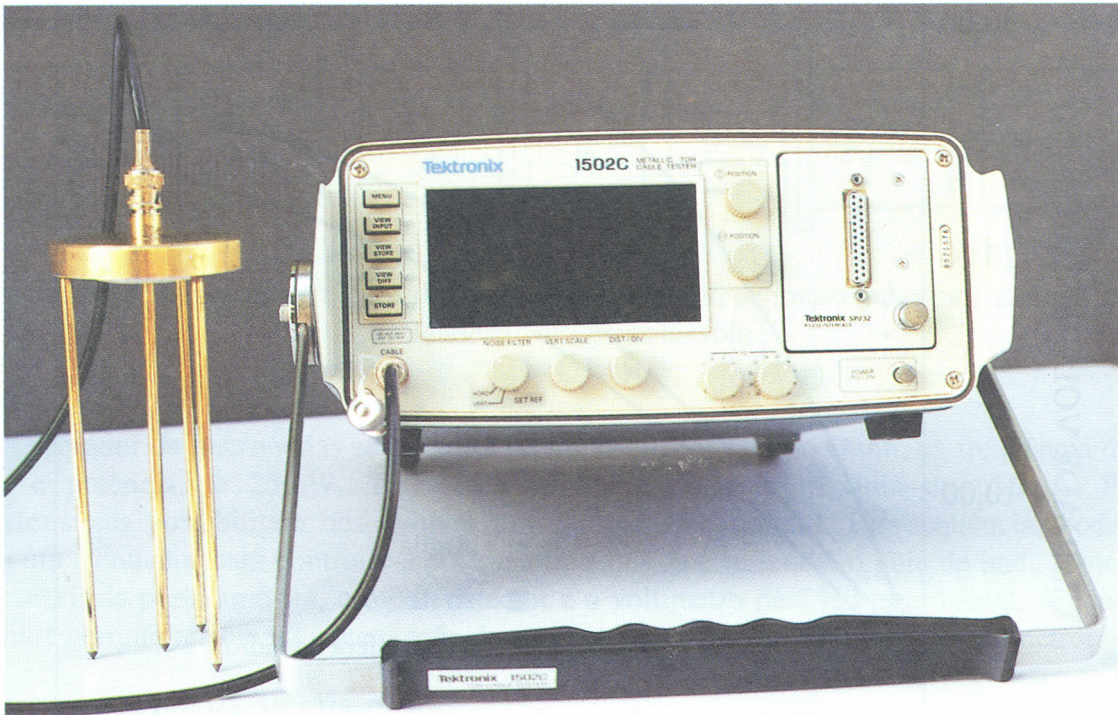


Figura 21 - Equipamento para medida do tempo de propagação da onda na linha de transmissão

Medindo o tempo de propagação da onda na linha de transmissão e, conseqüentemente, a constante dielétrica (ϵ), conseguiu correlacionar a umidade do solo com (ϵ). A equação que descreve a relação de (ϵ) com o tempo de propagação (t) é apresentada em seguida:

$$\epsilon = (c.t / 2.L)^2 \quad (2)$$

onde: ϵ = a constante dielétrica do meio
 t = tempo de propagação da onda (medido pelo TDR)
 L = comprimento da linha de transmissão
 c = velocidade da luz no vácuo.

O regime, em frequência, da técnica TDR está na faixa de microondas ($\sim 1,2\text{GHz}$). Nessa faixa, há uma forte interação da onda eletromagnética com o movimento vibracional da molécula de água. Assim sendo, o tempo de propagação do pulso (medido entre a inserção na linha de transmissão (L.T.) e a reflexão, devido à descontinuidade no fim da L.T.) irá variar de acordo com a quantidade de água no meio. A condutividade elétrica é outro parâmetro que pode ser obtido com o TDR.

Há diferentes valores de ϵ para diferentes materiais. Para se ter uma idéia desses valores, tem-se: $\epsilon = 1$ para o ar, $\epsilon = 2$ a $4,5$ para um solo seco e $\epsilon = 81$ para a água. Todos esses valores estão condicionados a uma dada frequência e temperatura (no caso a temperatura ambiente).

Para se medir o conteúdo de água no solo através do TDR é necessário fazer uma calibração do sistema. Topp et al (1980) estabeleceram a equação universal (1) como independente da densidade global. No entanto, isso nem sempre é verdade e deve ser lembrado, também, que a constante dielétrica é, em geral, sensível à presença de materiais magnéticos e de solutos no solo. A Fig.22 ilustra o fato, no caso de um solo brasileiro. A interação entre a água adsorvida (ou ligada) parece realmente influenciar nas medidas de umidade com emprego do TDR. Dessa forma, as curvas de calibração umidade - constante dielétrica vão ser afetadas pela textura do solo.

A versatilidade da técnica TDR e a portabilidade do testador de cabos mostrado na Fig.21 permitem realizar medidas tanto no campo como no laboratório. O método vem sendo aplicado tanto para caracterizar a água como também a salinidade no solo, a água líquida em solos congelados, o movimento de solutos e a condutividade hidráulica não-saturada, entre outros.

Para realizar a medida é necessário a inserção de uma "sonda" ou antena (L.T.) no solo. A "sonda" deve ser projetada para emular uma linha de transmissão de dois fios ou cabo coaxial. As equações seguintes permitem projetar a "sonda" nas duas configurações (Davis & Annan, 1977; Herrmann, 1993):

$$Z_0 = (120 / \epsilon^2) \ln (2.s / d) \tag{3}$$

e

$$Z_0 = (60 / \epsilon^2) \ln (2 s / d) \tag{4}$$

onde: d é o diâmetro da haste, s é o espaçamento entre as hastes e Z_0 é a impedância da L.T.

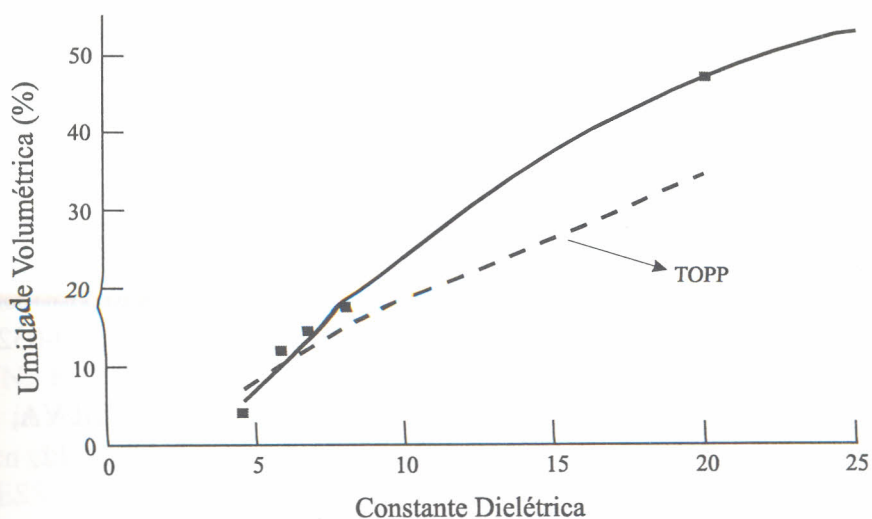


Figura 22 - Curva de calibração do solo colapsível e que foi utilizada no experimento de campo. A comparação com a curva proposta por Topp, em 1980, pode ser vista. A diferença mais significativa é observada na condição de maiores umidades. O distanciamento das curvas está relacionado, em grande parte, com a questão da água livre e pode ser explicado pelo alto grau de porosidade do solo

Uma "sonda" que emula um cabo coaxial tem a vantagem de apresentar menor perda de sinal na linha e também do lóbulo de irradiação da onda ficar confinado, basicamente, ao volume da antena (parâmetro importante para medir a umidade volumétrica). Herrmann et al (1995) propuseram o desenvolvimento de uma "sonda" coaxial segmentada para medida de umidade de solos colapsíveis, em diferentes perfis de profundidade, mas com a mesma haste. Isso possibilitou reduzir os erros de leitura devidos à variabilidade e acompanhar a frente de molhamento no mesmo local (Conciani et al, 1995).

A técnica TDR, como um método recente de medida de parâmetros do solo (Zegelin et al, 1989), vem sendo discutida com muita ênfase na literatura especializada. Algumas questões, do ponto de vista metodológico, para melhor utilização da técnica estão sendo e deverão ser respondidas, tais como: novos projetos de "sonda", quantificação do erro de leitura da velocidade de propagação, a influência espacial do lóbulo de irradiação do pulso no meio, a influência da permeabilidade magnética na medida do tempo de propagação devido à alta concentração de óxido de ferro presente nos oxissolos e a presença de solos expansivos que apresentam rachaduras (Roth et al, 1992; Baumgartener et al, 1994; Cassel et al, 1994; Larrosa et al, 1995).

Desse modo, considerando-se as vantagens inerentes da técnica (portabilidade, utilização de radiação não-ionizante, entre outras) e adicionando o que já foi feito nesses 16 anos de trabalho com TDR, pode-se afirmar que o método é uma alternativa viável e promissora para medida de parâmetros físicos da água e de solutos no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAUMGARTNER, N.; PARKIN, G.W.; ELRICK, D.E. Soil water content and potential measured by hollow time domain reflectometry probe. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.2, p.315-318, 1994.
- BISCEGLI, C.I.; EIRAS, J.A. Development of a portable ultrasound equipment for backfat evaluation of live pigs. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PHYSICS AND INDUSTRIAL DEVELOPMENT: BRIDGING THE GAP, 2, Belo Horizonte-MG, July 1996. **Abstracts...** Belo Horizonte: UFMG, 1996. não-paginado. ref. FQ-032.
- BISCEGLI, C.I.; NOVAES, A.P.; BUGNER, M.; TAMBASCO, A.J.; SILVA, A.E.D.F. da. Manipulação de embriões para pecuária. **Ciência Hoje**, São Paulo, v.12, n.69, p.68-69, dez. 1990.
- BOURQUE, C.L.; DUGUAY, M.M.; GAUTREAU, Z.M. The determination of reducible pesticides by adsorptive stripping voltammetry. **International Journal of Environmental and Analytical Chemistry**, London, v.37, p.187-197, 1989.

- CALLEBAUT, F.; GABRIELS, D.; DE BOODT, M. Times responses of sugar beet germination, oxygen diffusion and redox potencial to crust formation, polyacrylamide stabilization and peroxide fertilization. **Geoderma**, Amsterdam, v.25, p.275-283, 1981.
- CASSEL, D.K.; KACHANOSKY, R.G.; TOPP, G.C. Practical considerations for using TDR cable tester. **Soil Technology**, Cremlingen, v.7, n.2, p.113-126, 1994.
- CONCIANI, W.; HERRMANN, P.S.P.; SOARES, M.M. The time domain reflectometry to study matrix suction. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON UNSATURATED SOILS, 1, Paris-France, 1995. **Proceedings...** Paris: s.n., 1995. v.3.
- CRUVINEL, P.E.; RABELLO, L.M.; BERTUCCI NETO, V.; BEM, A.R.; CASAGRANDE, J.F.; ALMEIDA, C.A.; QUEIROZ, F.H. **Sistema programado para congelamento de embriões**. In: ENCONTRO NACIONAL DE FÍSICA DA MATÉRIA CONDENSADA, 16, Caxambu-MG, maio 1993. **Resumos estendidos do Grupo de Instrumentação...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 1993. p.54-67.
- DAVIS, J.L.; ANNAN, A.P. Electromagnetic detection of soil moisture: progress report I. **Canadian Journal of Remote Sensing**, Ottawa, v.3, p.78-86, 1977.
- HANCE, R.J. Polarography of herbicides: a preliminary survey. **Pesticide Science**, Barking, v.1, p.112-113, 1970.
- HERRMANN, P.S.P. **Construção de equipamento para medida de umidade do solo através da técnica de reflectometria no domínio do tempo**. São Carlos: USP-IFSC, 1993. Dissertação Mestrado.
- HERMANN, P.S.P.; COLNAGO, L.A.; SILVEIRA, P.M.; CORONA JÚNIOR, N.; INAMASU, R.Y. Sistema microcontrolado para medidas da taxa de difusão de oxigênio e potencial oxi-redução do solo, "in situ" In: ENCONTRO NACIONAL DE FÍSICA DA MATÉRIA CONDENSADA, 18, Caxambu-MG, jun. 1995. **Anais do Grupo de Instrumentação....** São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 1995. p.183-185.
- HERRMANN, P.S.P.; CONCIANI, W.; SOARES, M.M.; CRESTANA, S. Medida de umidade, *in-situ*, através da técnica de reflectometria no domínio do tempo (RDT), do perfil de um meio poroso, colapsível, com uma única antena segmentada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 23, Maringá-PR, out. 1995. **Programação e resumos...** Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 1995. p.3-22.
- HUDSON, J.E.; PAYNE-CROSTIN, A. A comparison of ultrasonic machines for the prediction of backfat thickness in the live pig. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, Melbourne, v.24, p.512-515, 1984.

- IBAMA. **Manual de pesticidas para avaliação da ecotoxicidade de agentes químicos**. 2.ed. Brasília, 1990. parte E. não-paginado.
- IRGANG, R. Avaliação e tipificação de carcaças de suínos no Brasil. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO E INDUSTRIALIZAÇÃO DE SUÍNOS, 2, Campinas-SP, 1996. **Anais...** Campinas: ITAL, 1996. p.67-85.
- LARROSA, C.G.; BELLINI, J.A.; PRATA, A.T. Medição do conteúdo de umidade de solos artificiais usando a técnica de reflectometria no domínio do tempo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 23, Maringá-PR, out. 1995. **Programação e resumos...** Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 1995. p.2-13.
- NOVAES, A.P.; BISCEGLI, C.I.; BUGNER, M.; KLUGE, G. Ultra-som de onda contínua para diagnóstico de gestação de grandes animais. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v.32, n.2, p.425-432, jun. 1989.
- NOVAES, A.P.; BISCEGLI, C.I.; BUGNER, M.; TAMBASCO, A.J.; SILVA, J.B.F. da. Equipamento simples para a micromanipulação de embriões. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v.33, n.2, 345-351, ago. 1990.
- OLIVEIRA, J.C.M.; VAZ, C.M.P.; REICHARDT, K. Soil particle size analysis through gamma-ray attenuation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 1996. (aceito para publicação em julho/96).
- PASQUEL, A.; GASPARETTO, C.A.; VAZ, C.M.P. Perfil de concentrações na região de compressão da sedimentação em batelada. In: ENCONTRO SOBRE ESCOAMENTO EM MEIOS POROSOS, 19, Campinas-SP, out. 1991. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 1992. p.593-606.
- RABELLO, L.M. **Sistema computadorizado para congelamento de embriões**. São Carlos: USP-EESC, 1993. Dissertação Mestrado.
- RABELLO, L.M.; CRUVINEL, P.E.; BERTUCCI NETO, V. A automação de um sistema para o congelamento de embriões. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 10; CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CONTROLE AUTOMÁTICO, 6, Rio de Janeiro-RJ, set. 1994. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Automática, 1994. v.1, p.454-458.
- ROTH, C.H.; MALICKI, M.A.; PLAGGE, R. Empirical evaluation of the relationship between soil dielectric constant and volumetric water content as the basis for calibration soil moistures by TDR. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.43, p.1-13, 1992.

- SCHNEIDER, U.; MAZUR, P. Osmotic consequences of cryoprotectant permeability and its relation to the survival of frozenthawed embryos. **Theriogenology**, Stoneham, v.21, n.1. p.68-79, 1984.
- SILVEIRA, P.M.; FERNANDES, B.; HENRIQUES, P.H. Montagem do medidor e avaliação da taxa de difusão de oxigênio (TDO) no solo. **ITEM: Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n.29, p.37-39, 1987.
- STREET, J.J.; PETERSON, W.M. Anodic stripping voltammetry and differential pulse polarography. In: **METHODS of soil analysis: part 2**. 2.ed. Madison: SSSA, 1986. (Agronomy Monography, 9). Cap.7, p.133-148.
- TAKEDA, T. Equipment for cooling embryos. In: **COLORADO STATE UNIVERSITY. Embryos Transfer Laboratory Animal Reproduction. Techniques for freezing mammalian embryos**. Denver, 1984. p.51-55.
- TAYLOR, H.M., ed. **Minirhizotron observation tubes: methods and applications for measuring rhizosphere dynamics**. Madison: American Society of Agronomy, 1987. (ASA Special Publication, 50).
- TOPP, G.C.; DAVIS, J.L.; ANNAN, A.N. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission line. **Water Resources Research**, Washington, v.16, n.3, p.574-582, 1980.
- TYLER, S.W.; WHEATCRAFT, S.W. Fractal scaling of soil particle-size distribution: analysis and limitations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, n.2, p.362-369, 1992.
- VAZ, C.M.P. **Metodologia eletroanalítica para medida de atrazina em águas e solução do solo**. Piracicaba: USP-CENA, 1994. Tese Doutorado.
- VAZ, C.M.P.; MACHADO, S.A.S.; MAZO, L.H.; AVACA, L.A.; CRESTANA, S. Análise de pesticidas por polarografia: determinação de isotermas de adsorção em solos. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25**, Viçosa-MG, jul. 1995. **Resumos expandidos...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.2393-2395. ref. IX39.
- VAZ, C.M.P.; MACHADO, S.A.S.; MAZO, L.H.; AVACA, L.A.; CRESTANA, S. Electroanalytical determination of the herbicide atrazine in natural waters. **International Journal of Environmental and Analytical Chemistry**, Amsterdam, v.62, n.1, p.65-76, 1996.

VAZ, C.M.P.; OLIVEIRA, J.C.M.; REICHARDT, K.; CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; BACCHI, O.O.S. Soil mechanical analysis through gamma ray attenuation. **Soil Technology**, Cremlingen, v.5, p.319-325, 1992.

VAZ, C.M.P.; SILVA, A.M.; INAMASU, R.Y.; MONTAGNOLI, A.N. Analisador granulométrico de solos por atenuação de raios gama. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, Viçosa-MG, jul. 1995. **Resumos expandidos...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.98-100. ref.I36.

WELLS, P.N.T. **Biomedical ultrasonics**. London: Academic Press, 1977.

ZEGELIN, S.J.; WHITE, I.; JENKINS, D.R. Improved field probes for soil water content and electrical conductivity measurements using time domain reflectometry. **Water Resources Research**, Washington, v.25, n.11, p.2367-2376, 1989.

ZUMAN, P.; RUPP, E. B. Polarography in the investigation of alkaline cleavage of lignin, soil organic matter and humic acids. **Chemia Analityczna**, Warsaw, v.40, p.549-563, 1995.