

PERDA DE NUTRIENTES POR LIXIVIAÇÃO EM
SISTEMA DE DRENAGEM SUBTERRÂNEA

Lawson Francisco de Souza Beltrame^{1/}

Dissertação apresentada como um dos requisitos ao Grau de Mestre em Hidrologia Aplicada, área de concentração Irrigação e Drenagem, Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre

Maio, 1978

^{1/} Engenheiro Agrônomo (UFRGS)



MINISTERIO DA EDUCACAO E CULTURA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRAULICAS

PERDA DE NUTRIENTES POR LIXIVIAÇÃO
EM SISTEMA DE DRENAGEM SUBTERRÂNEA

TRABALHO APRESENTADO COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

M E S T R E E M C I Ê N C I A S E M
H I D R O L O G I A A P L I C A D A

Autor: LAWSON FRANCISCO DE SOUZA BELTRAME

Orientador: FLÁVIO ANTÔNIO CAUDURO

Examinadores:

FLÁVIO A. CAUDURO

Flávio Antônio Cauduro

JOÃO MIELNICZUK

João Mielniczuk

JOHN C. TAYLOR

John C. Taylor

PAULO D.C. RAMOS

Paulo D.C. Ramos

PAULO S. CARMONA

Paulo S. Carmona

Data do exame: 21/06/78

Aprovado:

Paulo D.C. Ramos

Presidente da Banca

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Flávio Antônio Cauduro pela orientação e estímulo dados no decorrer do trabalho.

Aos Professores, Paulo Dias de Castro Ramos, John C. Taylor, João Mielniczuk pelo diálogo e sugestões recebidas e ao colega Pedro Luiz de Freitas pela contribuição empresta da na realização deste trabalho.

A Estação Experimental do Instituto Riograndense do Arroz, pela área utilizada e pelo auxílio material emprestados.

Ao Conselho Nacional de Pesquisas e a FINEP, pelo auxílio financeiro recebido.

Ao Corpo Docente e Funcional do Instituto de Pesquisas Hidráulicas que de uma forma ou outra contribuíram para a realização deste trabalho.

PERDA DE NUTRIENTES POR LIXIVIAÇÃO EM SISTEMA
DE DRENAGEM SUBTERRÂNEA^{1/}

Autor: Lawson F. de S. Beltrame
Orientador: Flávio Antonio Cauduro

SINOPSE

O presente trabalho teve como objetivo o estudo das perdas de nutrientes por lixiviação do solo com diferentes níveis de fertilidade.

A influência do volume de água percolado na magnitude destas perdas teve um interesse específico.

Este trabalho foi realizado em 1977, na Estação Experimental do Instituto Riograndense do Arroz, utilizando parcelas experimentais com sistema de drenagem subterrânea dimensionado para as necessidades reais da área.

As perdas de N, K, Ca e Mg foram determinadas através de medidas do volume de escoamento dos drenos e determinando a concentração dos nutrientes nas amostras de água drenadas. As perdas de nutrientes aumentam com o volume de percolação. Perdas de parcelas fertilizadas foram significantes ao nível de 5% para N, K e Mg mas não foram para Ca quando comparações emparelhadas foram feitas entre os tratamentos.

^{1/} Dissertação de Mestrado em Hidrologia Aplicada (Irrigação e Drenagem) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (73p.) - maio de 1978

LOSS OF NUTRIENTS BY LEACHING IN AN
UNDERGROUND DRAINAGE SYSTEM ^{1/}

Author: Lawson F. de S. Beltrame
Adviser: Flávio Antônio Cauduro

ABSTRACT

The purpose of the present work was to study the loss of nutrients, by leaching from a soil with different levels of fertility.

The influence of the volume of water percolating on the magnitude of these losses was of specific interest.

The study was carried out in 1977 at the Experimental Station of Instituto Rio Grandense do Arroz using an experimental field installed with an under drainage system designed for the area.

The losses of N, K, Ca and Mg were found by measuring the volume of drain outflows and determining the concentrations of the nutrients in samples for the drained water.

The loss of nutrients increased with the volume of percolation. Losses from fertilized plots were significantly higher at the 5% level for N, K, and Mg but not for Ca when a Paired Comparison was made between the treatments.

^{1/} Masters thesis in Applied Hydrology (Irrigation and Drainage) - Institute of Hydraulic Research Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre (73 p.)
May, 1978

SUMÁRIO

| | página |
|--|--------|
| 1. Introdução | 1 |
| 2. Revisão Bibliográfica | 3 |
| 2.1. Lisímetros de drenagem versus parcelas experimentais drenadas | 3 |
| 2.2. Fatores que interferem na lixiviação de nutrientes do solo | 4 |
| 2.2.1. Características físicas do solo | 5 |
| 2.2.2. Características químicas do solo | 7 |
| 2.2.3. Temperatura | 10 |
| 2.2.4. Cobertura vegetal | 12 |
| 2.2.5. Práticas de conservação | 14 |
| 2.2.6. Volume de água percolada | 15 |
| 2.3. Alguns valores de perdas de nutrientes do solo | 17 |
| 2.3.1. Nitrogênio | 18 |
| 2.3.2. Potássio | 20 |
| 2.3.3. Cálcio | 21 |
| 2.3.4. Magnésio | 22 |
| 3. Material e Métodos | 24 |
| 3.1. Localização e características da área experimental | 24 |
| 3.2. Descrição do solo | 24 |
| 3.3. Descrição do tipo de clima | 26 |
| 3.4. Tratamentos | 27 |
| 3.4.1. Parcelas drenadas e fertilizadas | 27 |
| 3.4.2. Parcelas drenadas e não fertilizadas.. | 27 |
| 3.4.3. Parcelas não drenadas e fertilizadas.. | 28 |
| 3.4.4. Parcelas não drenadas e não fertilizadas | 28 |
| 3.5. Dimensionamento da área experimental | 28 |
| 3.5.1. Coleta de dados básicos | 29 |
| 3.5.1.1. Levantamento plani-altimétrico | 29 |
| 3.5.1.2. Determinação da camada impermeável | 29 |
| 3.5.1.3. Condutividade hidráulica | 29 |
| 3.5.1.4. Levantamento do lençol freático | 30 |
| 3.5.1.5. Estimativa da recarga | 30 |

| | Página |
|--|--------|
| 3.5.2. Cálculo do espaçamento e profundidade dos drenos | 33 |
| 3.6. Delineamento experimental | 34 |
| 3.7. Tratos culturais | 36 |
| 3.8. Determinações | 39 |
| 3.8.1. Coleta e amostragem da água de precipitação e percolação | 39 |
| 3.8.2. Coleta e amostragem de solos | 41 |
| 3.8.3. Análises de solo | 41 |
| 3.8.4. Análise da água de precipitação e percolação | 42 |
| 4. Resultados e Discussão | 43 |
| 4.1. Número e quantidade de precipitações percoláveis e não percoláveis ocorridas durante o período experimental | 43 |
| 4.2. Perdas de nutrientes versus volume de percolação | 47 |
| 4.3. Quantidades de nutrientes perdidos por lixiviação no efluente de drenagem | 53 |
| 4.4. Lisímetros de drenagem versus parcelas experimentais drenadas | 60 |
| 4.5. Nitrogênio | 62 |
| 4.6. Contribuição da água da chuva | 64 |
| 5. Conclusões e Recomendações | 66 |
| 6. Bibliografia Citada | 68 |
| 7. Apêndices | 72 |

RELAÇÃO DE TABELAS

| | Página |
|---|--------|
| 1. Número e quantidade de precipitações ocorridas no período de amostragens, 13/08 a 02/11 de 77 E.E.A. - IRGA - R.S. | 43 |
| 2. Número e quantidade de precipitações percoláveis e não percoláveis durante o período de amostragens - 13/08 a 02/11 de 1977 | 45 |
| 3. Quantidade de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio em (g) perdido por precipitação em parcelas não fertilizadas | 55 |
| 4. Quantidade de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio em (g) perdido por precipitação em parcelas fertilizadas | 56 |
| 5. Quantidades totais de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio perdidos por lixiviação no efluente de drenagem no período de amostragens - 13/08 a 02/11/1977 | 57 |
| 6. Quantidades existentes, extraídas e lixiviadas do solo em kg/ha de nutrientes e percentagens do total existente, retirado pela cultura e perdido por lixiviação em parcelas fertilizadas no período de 13/08 a 02/11 de 1977 | 59 |
| 7. Concentrações de nitrogênio na forma amoniacal e de nitrato no decorrer do período de estudo . . . | 63 |
| 8. Concentração e quantidade de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio introduzida na área de estudo. . | 64 |

RELAÇÃO DE FIGURAS

| | Página |
|---|--------|
| 1. Mapa plani-altimétrico da área total | 31 |
| 2. Posição do lençol freático em 21/04/77 | 32 |
| 3. Distribuição esquemática do campo experimental . . | 37 |
| 4. Detalhes da estrutura de medições da água drenada. | 38 |
| 5. Relação entre percolação da água em função da <u>pre</u> <u>cipitação</u> | 46 |
| 6. Perda de nitrogênio em função do volume de água percolado | 49 |
| 7. Perda de potássio em função do volume de água <u>per</u> <u>colado</u> | 50 |
| 8. Perda de cálcio em função do volume de água <u>perco</u> <u>lado</u> | 51 |
| 9. Perda de magnésio em função do volume de água <u>per</u> <u>colado</u> | 52 |

RELAÇÃO DE QUADROS

| | Página |
|--|--------|
| 1. Normais de temperatura, precipitação, insolação, umidade relativa e evaporação de Porto Alegre nos <u>a</u> nos de 1945 a 1974 | 26 |
| 2. Quantidade de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio existente no solo na forma trocável no início do período de amostragem - 13/08/77 | 48 |

1. INTRODUÇÃO

Na última década, o Brasil vem sofrendo um desenvolvimento agrícola bastante acelerado, com o emprego de novas tecnologias e o uso intensivo de insumos, para fazer frente à grande demanda de alimentos observada.

O aumento na produção de alimentos, até alguns anos atrás, era obtido tão somente pelo aumento da área cultivada. Atualmente em vários estados brasileiros, como é o caso do Rio Grande do Sul, já existe certa limitação no aumento da área cultivada, razão pela qual o aumento da produtividade é o caminho mais lógico a ser seguido.

O primeiro passo dado para atingir o aumento na produtividade, foi o emprego de insumos agrícolas tais como fertilizantes, defensivos, sementes certificadas, etc...

O uso indiscriminado de um destes insumos, no caso os fertilizantes, resulta em perdas destes que oneram os custos de produção.

Utilizando um sistema de drenagem subterrânea procurou-se avaliar as perdas de alguns nutrientes do solo, provocadas pelo processo de lixiviação, e para tanto delineou-se o presente estudo que teve como objetivos principais:

- 1 - Determinar quantitativamente as perdas de nitrogênio, cálcio, potássio e magnésio;

- 2 - Quantificar o volume de água drenado;
- 3 - Avaliar a influência do volume de água drenada nas perdas destes nutrientes;
- 4 - Avaliar a influência do nível de fertilização nas perdas de nutrientes;
- 5 - Buscar informações quanto ao uso de sistemas de drenagem subterrânea neste tipo de investigação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Lisímetros de drenagem versus parcelas experimentais drenadas

Segundo MACKENZIE & VIETS (1974), a água que não escoar e nem evapora da superfície do solo, em áreas agriculturáveis, infiltra-se neste. Parte desta água é absorvida pelas camadas do solo, e parte irá aparecer em drenos e nascentes. O movimento de percolação da água através do perfil do solo transporta a solução do solo e os nutrientes nela contidos. Esta lixiviação constitui um dos principais canais de perdas destes nutrientes que depositar-se-ão em leitos de rios, lagos e reservatórios.

Muitas tentativas tem sido feitas para avaliar as perdas ocorridas com os nutrientes solúveis, aplicados ou contidos no solo, usando-se diferentes sistemas de medidas, procurando com isto obter dados cada vez mais reais e precisos. Dentre os sistemas mais usados temos os lisímetros de drenagem e parcelas experimentais a campo sobre drenos.

ALLISON (1959) cita que experimentos conduzidos em lisímetros de drenagem, apresentam o inconveniente de serem muito superficiais, conter pequeno volume de terra, baixa capacidade de armazenamento d'água e não permitem uma percolação mais profunda da água infiltrada. Kohnke citado por DREIBELBIS

(1946), revendo bibliografia, chama a atenção para os defeitos nas investigações realizadas com lisímetros, por causa das condições pouco naturais em que se realiza a percolação da água.

Os experimentos conduzidos sob condições de campo em parcelas experimentais, sobre sistemas de drenagem, não apresentam suficiente precisão, devido a diversos fatores. Estes fatores, tais como retiradas de nutrientes do solo pelas plantas e a variação que existe entre uma e outra parcela, não podem ser eliminados totalmente, mas assim mesmo apresentam melhores condições que lisímetros, pois conservam as condições naturais do solo.

2.2 Fatores que interferem na lixiviação de nutrientes do solo

Lixiviação é definida neste trabalho como o movimento de solutos de uma zona do solo para outra, através da água de percolação.

A quantidade total de cátions que são lixiviados de um solo depende da quantidade de água percolada e da concentração de cátions nela dissolvidos. A quantidade de água percolada é função da precipitação e das características físicas do solo. A concentração de cátions na solução depende da quantidade adsorvida e da capacidade da adsorção de cátions (CTC) e da presença de ânions. A lixiviação é um processo intrínseco para

que se possa na prática prever valores de perdas. Sob condições de campo, a determinação da quantidade de água percolada, proveniente do total de precipitação, é certamente a mais importante limitação.

Segundo TERRY and McCANTS (1970), a lixiviação de nutrientes do solo manifesta-se em intensidades variáveis, condicionada por diversos fatores tais como: características químicas e físicas do solo, volume de água percolada, práticas de conservação, cobertura vegetal e temperatura.

2.2.1. Características físicas do solo

De acordo com trabalhos de pesquisa realizados por DREIBELBIS (1946), a perda de nutrientes do solo por lixiviação varia consideravelmente com o tipo deste. Esta variação não é consistente, pois, em alguns anos, uma grande quantidade de um nutriente qualquer pode ser perdida em um determinado solo, e já em outro ano a quantidade perdida poderá ser mínima.

Entre os fatores físicos e hidrológicos do solo que interferem, de uma maneira ou outra, no processo de lixiviação por meio da percolação estão: textura, estrutura, profundidade do perfil, porosidade e permeabilidade.

Justificando a variação do volume de percolação de um ano para outro em um mesmo solo, DREIBELBIS (1946) diz que o

solo é uma estrutura dinâmica e portanto modifica-se a todo o instante, permitindo a passagem, por seu perfil, de um maior ou menor volume de água. Cita a permeabilidade como o fator hidrológico do solo mais importante no processo de percolação, pois é ela que condiciona o volume de água que passa a través do solo, juntamente com outros fatores físicos tais como a estrutura, textura, tratamentos superficiais, porosida de e velocidade de infiltração.

Diz ainda que se o volume de água precipitado sobre o solo for superior ao infiltrado, a diferença de volume fica rã depositada sobre o mesmo, sujeito a evaporar ou escoar pa ra um ponto mais baixo, dependendo do desnível do terreno e, como consequência disto, o volume de percolação será menor.

Confirmando o que diz Dreibelbis (1949), ALLISON (1965) afirma que o movimento descendente da água no solo, exclu in do aquele dos poros capilares, é mais rápido em solos com tex tura média que apresentam macroporosidade, assim como em so los desestruturados.

Mc GUINNESS & DREIBELBIS (1957), citam que quando a ve locidade de infiltração de um solo for muito alta, a água que percola através do mesmo flui muito rápida, evitando assim um contato mais prolongado com a massa de solo, quando exer ce a função de solvente, resultando disto uma menor perda de nutrientes.

2.2.2. Características químicas do solo

Das características químicas do solo que mais afetam a quantidade de cátions perdidos por lixiviação sobressaem-se a CTC que é dependente do pH do solo, a quantidade de cátions adsorvidos e a presença de ânions, ambos afetados pelo nível de fertilidade do solo.

KRAUSE (1965) acentua a importância do pH na lixiviação de K dos solos após estudos realizados em que obteve respostas positivas, quando trabalhou com diferentes valores de pH e diferentes taxas de fertilização. Quando o pH do solo foi mantido em torno de 4,3 as perdas de potássio, pelo processo de lixiviação, alcançaram valores de 1,7 a 2,4 vezes maiores do que quando o pH deste mesmo solo era mantido em 5,1. Quando o pH era elevado para 6,4 as perdas eram 2,5 a 3,5 vezes menores do que com o pH a 4,3. No entanto estudos mais recentes indicam que com a elevação pH há uma elevação da CTC e conseqüentemente maior adsorção de cátions, sendo portanto o efeito do pH indireto sobre a lixiviação de nutrientes.

De acordo com os resultados obtidos concluiu que com a elevação do pH do solo através da calagem e conseqüente aumento da CTC, aumenta a retenção do potássio no solo para lixiviação, diminuindo as perdas deste nutriente por este processo.

Em estudos da mesma natureza JUO & BALLAUX (1977) citam que as perdas de potássio do solo, através do processo de per

colação da água, permanecem estáveis não se alterando significativamente com a mudança de pH da solução do solo até o nível de 7,1. Já as perdas de nitrogênio e magnésio permanecem mais ou menos estáveis até valores de pH 6,5, alterando-se significativamente quando o pH atinge o valor de 7,1. Em relação as perdas de cálcio, estas comportam-se de uma maneira semelhante ao nitrogênio e magnésio, mas o total destas perdas não ultrapassa 1% do cálcio adicionado ao solo em forma de calcário. Concluem que as baixas perdas de nutrientes ocorridas podem ser devidas a alta eficiência de utilização deste pelas plantas.

Os teores das perdas de nutrientes do solo por lixiviação são elevados, na medida em que os solos para cultivo são fertilizados, não significando isto que aqueles não fertilizados não percam nutrientes através da percolação da água, pois mesmo em condições naturais de fertilidade estão expostos aos mesmos fatores que interferem neste processo.

Segundo BOLTON (1970), o aumento do nível de fertilidade do solo resulta em maiores perdas de nutrientes por lixiviação. A maior concentração desses nutrientes, nas águas efluentes de drenagem, é um reflexo da disponibilidade destes elementos no solo. A concentração desses nutrientes nas águas de percolação vai diminuindo após a aplicação dos mesmos ao solo e varia de acordo com as quantidades disponíveis e com o volume de água que passa através do solo.

ZWERMAN (1972) concorda com Bolton quando afirma que altas taxas de fertilização resultam em altas concentrações no efluente de drenagem, embora afirme não existir uma relação direta entre a concentração de nitrato na água de drenagem e a quantidade removida por unidade de superfície, mas confirma a existência de uma diminuição progressiva a medida que amenta o tempo a partir da data de aplicação dos fertilizantes.

O mesmo autor cita que a quase totalidade do nitrogênio perdido por este processo ocorre sob a forma de nitrato, sendo insignificantes as perdas na forma de amônia e nitrito. As perdas na forma de nitrato decorrem do fato de ocorrer rápida nitrificação do nitrogênio quando aplicado ao solo na forma amoniacal.

Objetivando determinar a eficiência de utilização de fertilizantes pelas plantas, JOHNSTON (1965), instalou parcelas experimentais drenadas à campo e constatou que, para o nitrogênio, as perdas por lixiviação variaram de 9 a 70 % do total aplicado, dependendo da cultura utilizada e da quantidade de água percolada. Verificou também que as maiores perdas ocorreram quando das primeiras precipitações.

Segundo SCHROEDER (1975), não há diferenças significativas entre parcelas fertilizadas e não fertilizadas, assim como não há influência do nível de adubação sobre a concentração do potássio nas águas de percolação. Já as concentrações de nitrogênio na água de percolação comportam-se de uma ma

neira diferente da do potássio, pois é grande a diferença entre as parcelas fertilizadas e não fertilizadas, ficando a concentração das parcelas não fertilizadas em torno de 0-2,5% do total aplicado. O nível de fertilização com nitrogênio também influi na concentração da água de percolação.

A primeira água de lixiviação após uma fertilização é a que maiores concentrações de bases (potássio, cálcio, magnésio) apresenta, sendo as lixiviações subsequentes de menor efeito. RANEY (1946), cita ainda que existe uma correlação bastante significativa entre o nitrogênio e as bases (K-Ca-Mg) removidos do solo por percolação da água. Esta correlação alcança valores de $r = 0,994$ para parcelas fertilizadas e $r = 0,902$ para parcelas não fertilizadas.

O nitrogênio removido por lixiviação está estreitamente correlacionado com o nível de fertilização do solo e devido a alta correlação existente entre nitrogênio e bases removidas do solo por lixiviação é possível que ocorra o mesmo com as bases (K-Ca-Mg).

2.2.3. Temperatura

A temperatura é um dos fatores que condiciona a lixiviação de nutrientes do solo.

RICHARDS et alii (1952) apresentam fatos evidentes de que com baixas temperaturas do solo na zona radicular efetiva das plantas a absorção de nutrientes fica inibida, diminuindo

significativamente. E, se a época de baixas temperaturas do solo coincidir com a época de altas precipitações, a perda de nutrientes por meio da percolação da água aumentará a níveis significativos, devido justamente a inabilidade das plantas retirarem do solo os nutrientes necessários a baixas temperaturas.

Em trabalho similar, AYRES & DOI (1963) avaliaram as perdas de nitrogênio e potássio do solo em lisímetros cultivados com cana de açúcar a diferentes temperaturas, 80 e 62°F (26,6 e 16,6°C). Os resultados obtidos demonstram que, à temperatura de 62°F, as perdas foram maiores tanto para o N como para o K. Concordam com outros autores quando dizem que a razão disto reside no fato de as plantas possuírem menor habilidade para retirar nutrientes do solo em temperaturas baixas. Os resultados obtidos com N e K provavelmente são extensivos a outros nutrientes minerais.

As estações do ano tem grande influência sobre estes resultados, pois durante os meses de inverno as temperaturas alcançadas pelo solo são mais baixas que durante outras estações e as precipitações normalmente são mais altas, ocorrendo assim condições ideais para as perdas de nutrientes do solo por lixiviação.

2.2.4. Cobertura vegetal

A presença de um cultura afeta, direta e indiretamente

a quantidade de nutrientes perdida pelo processo de percolação da água do solo. Diretamente pela maior ou menor taxa de remoção destes nutrientes pela cultura e indiretamente pela redução da quantidade de água percolada ALLISON (1965).

Revendo bibliografia, RANEY (1946), aponta uma grande divergência entre pesquisadores no que diz respeito aos diversos fatores que afetam a perda de nutrientes do solo por lixiviação. Mas, ao mesmo tempo há um consenso geral de que estas perdas devem ser atribuídas a dois fatores principais ou seja, a quantidade de água percolada associada com a presença do crescimento ativo de um cultura. O mesmo autor, utilizando dados coletados junto a lisímetros, obteve resultados que mostraram não ser a taxa de remoção de fertilizantes das culturas um fator altamente significativo estando as perdas mais estreitamente correlacionadas com a quantidade de fertilizantes adicionados ao solo. Isto indica a pequena confiança que se pode ter quando da escolha de um sistema de culturas para a redução das perdas dos nutrientes do solo por lixiviação.

A concentração média de nutrientes no efluente de drenagem reflete, principalmente, as culturas implantadas na área e a aplicação de fertilizantes. BOLTON (1970), utilizando parcelas experimentais, trabalhou com diversas culturas e diferentes níveis de adubação, obtendo as maiores perdas de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e fósforo quando culti

vou milho - *Zea mays*, L. - continuamente e milho em rotação. As menores perdas ocorreram quando cultivou Bluegrass sod continuamente. Com relação ao efeito das culturas sobre os elementos analisados, Bolton observou que não houve diferença entre os mesmos. Verificou também que as concentrações de N, Ca, Mg e P no efluente de drenagem, eram altas durante todo o período de observação para a cultura do milho e baixas para Bluegrass sod em parcelas não fertilizadas, com exceção do K.

O mesmo autor cita ainda, que o motivo principal das maiores perdas quando do cultivo do milho, reside no fato de que esta cultura permite uma maior área de solo descoberto devido as suas características, permitindo com isto um maior volume de percolação de água. A comprovação está nos dados coletados, pois enquanto na área cultivada com Bluegrass sod coletava-se em média 64,5 mm/ano de água proveniente dos drenos, na área cultivada com milho o volume coletado era de 155,7 mm/ano.

Segundo SCHROEDER (1975) as culturas em si não afetam as perdas de nutrientes por lixiviação, pois não existe uma relação rígida que estabeleça, a diferença entre a presença de uma cultura anual ou perene com relação a estas perdas. Mas deve-se ter em mente, que a absorção (quantidade e tempo) de nutrientes assim como os sistemas de manejo, divergem consideravelmente entre as culturas anuais e perenes, devido as

diferentes necessidades entre uma e outra.

2.2.5. Práticas de conservação

O preparo do solo através de lavrações, gradagens e o próprio plantio, afetam sobremaneira a estrutura do solo, aumentando assim a permeabilidade do mesmo para a água, resultando em um maior volume de percolação que redundará em maiores perdas de nutrientes do solo.

SCHROEDER (1975), observou que em solos com estrutura natural, aproximadamente 27% da água precipitada sobre o mesmo percolava, e que quando o solo era revolvido através de práticas culturais, o volume de água percolada aumentava para 50% da água precipitada sobre o solo. Em função disto, cita que as maiores perdas ocorrem em solos cultivados com culturas anuais e que não ocorrem diferenças significativas em solos revolvidos ou não, cultivados com culturas perenes.

Uma prática adicional de conservação seria o uso de culturas que não tenham a época de preparo do solo coincidente com o período de precipitações intensas ou mesmo o ajuste do preparo do solo, pelo menos adubação para a cultura, em um período de menores precipitações. Outra prática eficiente seria o uso de pastagens em solos muito permeáveis e com macroporosidade para diminuir o volume de água percolada (DREIBELBIS, 1946).

A grande complexidade de fatores que interferem na lixiviação dificultam o seu controle. O estabelecimento de um programa adequado de sistemas de cultivo e de conservação de solo, deve ser feito de acordo com a utilização do mesmo, segundo a sua capacidade de uso e com perfeito conhecimento da atuação de cada um dos fatores envolvidos no processo de lixiviação dos solos.

2.2.6. Volume de água percolada

A grande maioria dos autores são unânimes em afirmar que o volume de água que passa através do perfil do solo (solução do solo) atuando como meio de transporte, é o principal fator da perda de nutrientes pelo processo de lixiviação.

Segundo STAUFFER (1943), as perdas ocorridas com nutrientes do solo por lixiviação, dependem largamente do volume de água percolado, que por seu turno depende consideravelmente da quantidade de precipitação. Entretanto, o volume de percolação é influenciado por outros fatores que não a quantidade total de precipitação, tais como a distribuição e a intensidade desta.

STAUFFER & RUST (1954), analisando resultados obtidos em trabalhos anteriores realizados pelo primeiro, em oito diferentes tipos de solo, fizeram correlações para volume de água percolada e quantidade de nutriente perdido. Os resultados

tados obtidos foram altamente significativos ao nível de 1% para as correlações feitas.

Pode ser atribuído ao fator volume de água percolada, a maior influência nas perdas de nitrogênio e potássio do solo, mas as concentrações mais elevadas destes elementos nas águas de percolação ocorrem quando um menor volume de água é percolado, contudo, não é possível estabelecer uma relação clara entre o volume de água percolado e a concentração desta (SCHROEDER, 1975).

DREIBELBIS & Mc GUINNESS (1957), trabalhando com dois tipos de solo, obtiveram correlações altamente significativas entre volume de percolação e quantidade de perdas para potássio e cálcio, em ambos os solos. As correlações feitas para o nitrogênio mostraram-se significativas somente para um tipo de solo, ao passo que para o magnésio a correlação não foi significativa para ambos os solos. Os autores citam que, de uma maneira geral, o volume de água percolado através do perfil do solo é significativo para as perdas de nutrientes por este processo, mas o grau de significância está na dependência das características físicas e químicas de cada solo.

As perdas de nutrientes do solo são influenciadas, predominantemente, pelo volume de água que flui através do mesmo, em particular para cada tratamento utilizado, (BOLTON, 1970).

Segundo RANEY (1946), a quantidade de água assume menor importância na lixiviação de ions, baseando esta afirmação nos resultados pouco significativos obtidos nas correlações entre o volume de água percolado e a quantidade de nutrientes.

Os coeficientes de correlação obtidos para o cálcio, magnésio e potássio foram de 0,662 e para o nitrogênio o coeficiente de correlação foi igual a 0,604.

2.3. Alguns valores de perdas de nutrientes do solo

O estudo dos nutrientes perdidos por lixiviação é importante para um programa de conservação do solo e tem sido relativamente pouco estudado. Os teores destas perdas são elevados já que as terras de cultivo são normalmente adubadas, tendo pois razoáveis níveis de fertilidade.

As diferenças entre os resultados encontrados por diversos autores decorrem do grande número de fatores envolvidos no processo de perdas de nutrientes do solo por percolação da água, e da grande variação que ocorre entre estes fatores de um local para outro.

A grandeza destas perdas encontra-se na seguinte ordem decrescente: Nitrogênio, Cálcio, Magnésio, Potássio, estes resultados foram relatados por STAUFFER (1963), trabalhando com lisímetros de drenagem. Já Kilmer citado por DREIBELBIS (1946), cita que a ordem de grandeza das perdas é a seguinte

te: Cálcio, Magnésio, Enxôfre, Potássio. O próprio Dreibelis encontrou perdas que colocadas em ordem decrescente seriam: Cálcio, Magnésio, Potássio e Nitrogênio. BOLTON (1970), trabalhando em parcelas experimentais, cita perdas da mesma ordem das encontradas por Dreibelis, mas coloca as perdas na seguinte ordem decrescente: Cálcio, Magnésio, Nitrogênio e Potássio.

2.3.1. Nitrogênio

SCHROEDER (1975), cita valores de perdas de nitrogênio na forma de NO_3 que variam de 1,3 a 11,1 g/m^2 para culturas anuais cultivadas em solos sem estrutura natural, para culturas perenes onde o solo foi revolvido, estes valores variam de 0,08 a 0,39 g/m^2 e para solos cobertos com culturas perenes e com estrutura natural estes valores vão de 0,07 a 0,37 g/m^2 .

As perdas de nitrogênio para solos cobertos com gramíneas representaram 37% do total deste elemento aplicado ao solo e subiram para 58% quando o solo foi cultivado com uma consorciação de trevo subterrâneo e gramíneas, JONES et alii (1965). Já JUO & BALLAUX (1977), encontraram valores de perdas na forma de nitrato que variaram de 3,3 a 11,8% da quantidade total deste elemento aplicado ao solo, quando cultivado com milho.

Trabalhando com dois tipos de solo e com três tipos de cultura, DREIBELBIS (1946), obteve como média anual de perdas para nitrogênio valores que variaram de 3,0 a 5,2 kg/ha. O autor considerou somente o nitrogênio sob forma de nitrato pois as demais formas encontravam-se em quantidades insignificantes nas águas de percolação.

Elevadas taxas de perdas foram obtidas por STAUFFER & RUST (1954), em estudo similar realizado em lisímetros de drenagem, quando obtiveram uma média anual de 80 kg/ha com uma precipitação média anual de 1035 mm.

BOLTON et alii (1970), encontraram valores de perdas que variaram de 0,7 kg/ha/ano para bluegrass sod até 15,1 kg/ha/ano quando utilizou-se o milho como cultura teste. Segundo o mesmo autor, a quase totalidade das perdas se deram na forma de nitrato.

Utilizando parcelas experimentais irrigadas e drenadas à campo, JOHNSTON et alii (1965), avaliaram as perdas de nitrogênio na água de percolação e as concentrações variaram de 1,8 a 62 ppm para as diferentes culturas utilizadas. A concentração máxima de 62,4 ppm foi atingida 15 dias após uma irrigação em algodão, quando também ocorreu a maior perda diária de nitrogênio. As concentrações máximas não coincidiram com os picos de descargas dos drenos. Johnston também confirma que a maior parte das perdas de nitrogênio ocorreram na forma de nitrato, mas observa que logo após a aplica

ção de fertilizantes ao solo na forma amoniacal, ocorreram concentrações de amônia de até 7,1 ppm na água de drenagem.

2.3.2. Potássio

As perdas de potássio na água de percolação geralmente não são muito elevadas, apesar deste elemento ter grande mobilidade no solo (JUO & BALLAUX, 1977). Estes autores encontraram concentrações não muito variáveis de potássio em trabalho conduzido com diferentes níveis de fertilidade. A variação ocorrida situou-se entre 0,1 a 0,27 meq/l e as perdas deste elemento ficaram em torno de 0,7 a 1,9% do total aplicado.

DREIBELBIS & Mc GUINNESS (1957), referem-se a perdas anuais que vão de 5,5 a 16,3 kg/ha de potássio disponível, sendo as perdas mais altas para os níveis de fertilização mais elevados.

Segundo DREIBELBIS (1946), o conteúdo de potássio na água de percolação foi geralmente menor que o de cálcio e magnésio e as perdas deste elemento foram sempre maiores em solos com problemas de drenagem. Os valores variaram de 6,6 a 15 kg/ha/ano. MacIntire citado por este autor, revela que a aplicação de calcário ao solo tem efeito repressivo sobre as perdas de potássio por lixiviação.

Valores que variaram de 1,1 a 5,6 kg/ha/ano foram encon

trados por STAUFFER (1943), que diz serem os valores mais e levados correspondentes aos solos de maior permeabilidade. Utilizou-se de cobertura vegetal durante todo o decorrer do experimento.

SCHROEDER (1975), em trabalho conduzido com coberturas anuais, perenes com o solo em estrutura natural e trabalhado, encontrou valores de perdas de potássio da ordem de 2,48 a 6,11 g/m², 2,18 a 4,74 g/m² e 0,89 a 4,07 g/m² respectivamente, para os tratamentos utilizados.

A média anual de perdas de potássio na água lixiviada do solo é de 0,56 kg/ha para bluegrass sod e 1,48 kg/ha para o milho, em parcelas fertilizadas e de 0,12 e 1,02 kg/ha para bluegrass sod e milho, respectivamente, em parcelas não fertilizadas (BOLTON et alii, 1970).

2.3.3. Cálcio

De todos os nutrientes perdidos nas águas de percolação, o cálcio é aquele que em maiores quantidades é lixiviado embora nem sempre isto seja verdade (DREIBELBIS, 1946). Justifica estas altas perdas pela aplicação de elevadas taxas deste elemento ao solo na forma de calcáreo. A perda média anual de cálcio nas águas de percolação citada por este autor, está ao redor de 19 kg/ha.

BOLTON et alii (1970), encontraram valores extremos de

64 e 193 kg/ha/ano para as perdas de cálcio por lixiviação, quando cultivou bluegrass sod e milho respectivamente em parcelas fertilizadas. Utilizando parcelas não fertilizadas estes valores foram de 6 kg/ha/ano para bluegrass sod e 153 kg/ha/ano para o milho.

Trabalhando com diferentes solos, STAUFFER (1943), obteve valores máximos de perdas ao redor de 348 kg/ha/ano e mínimos de 12,9 kg/ha/ano. Atribui esta diferença às quantidades deste elemento distribuído no perfil do solo e, também, à diferença de permeabilidade entre os dois.

Segundo JUO & BALLAUX (1977), as perdas de cálcio por lixiviação não são muito elevadas, ficando em torno de 0,6 a 2,7% do total aplicado ao solo. Aproximadamente 80% deste total fica retido no solo na forma trocável, entretanto, muitas vezes este elemento é carregado a profundidades que ficam fora do alcance do sistema radicular efetivo das plantas.

2.3.4. Magnésio

As concentrações de magnésio na água lixiviada do solo apresentam-se mais elevadas após uma fertilização, embora este elemento não tenha sido adicionado ao solo. Em parcelas não fertilizadas e fertilizadas, cultivadas com bluegrass sod, as perdas foram de 2 e 48 kg/ha/ano, respectivamente.

Já para os mesmos níveis de adubação, variando a cober

tura vegetal do solo, no caso o milho, as perdas alcançaram valores de 100 e 104 kg/ha/ano, respectivamente (BOLTON et alii, 1970).

Segundo DREIBELBIS (1946), apesar de o conteúdo de magnésio ser maior que o de cálcio em ambos os solos que utilizou, as perdas do mesmo sempre foram menores que de cálcio. Diz ainda, que estas perdas devem-se mais a quantidade de água percolada do que a práticas culturais e níveis de fertilidade.

STAUFFER & RUST (1954), relatam perdas médias anuais de 55,3 kg/ha para o magnésio, embora não tenham sido aplicados fertilizantes que contivessem este elemento. A simples aplicação de fertilizantes ao solo, predispõe ao aumento das perdas de magnésio.

JUO & BALLAUX (1977), referem-se a perdas de magnésio por lixiviação da ordem de 2,2 a 5% do total aplicado, quando as taxas de calagem variaram de 0 a 6,5 toneladas por hectare.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e características da área experimental

O local escolhido para a realização do presente trabalho foi um solo característico das várzeas arroseiras do R. S., conseqüentemente, mal drenado e de topografia plana. Está localizado na Estação Experimental do Instituto Riograndense do Arroz (IRGA), no município de Cachoeirinha, R.S., cujas coordenadas geográficas são:

Latitude: S 29°55' Longitude: W 50°58'

3.2. Descrição do solo

O solo é um planosolo de textura média, relevo plano a suavemente ondulado apresentando substrato de sedimentos aluviais recentes, pertencente a unidade de mapeamento Vacacai I.

Apresenta como característica geral a presença de lençol freático elevado decorrente da má drenagem do solo condicionada ao relevo e, como conseqüência disto, ocorrem fenômenos de redução com o desenvolvimento de cores cinzentas no perfil e características de gleização.

A vegetação predominante é a de campo, muitas vezes mo

dificada, pois a maioria destes solos são cultivados intensamente com arroz. Brasil (1973).

A descrição do perfil deste solo é dada a seguir:

- A₁₁ 0-30 cm; bruno escuro (10 YR 3/3, úmido); franco arenoso; poroso, friável, ligeiramente plástico e pegajoso de transição clara e raízes abundantes.
- A₁₂ 30-45 cm; bruno amarelo escuro (10 YR 4/4 úmido) franco arenoso; poroso; friável; não plástico e pegajoso, transição clara, plana; raízes abundantes.
- A₂₁ 45-60 cm; bruno (10 YR 5/3, úmido) mosqueado pequeno distinto e bastante; bruno forte (7,5 YR 5/8, úmido); franco arenoso, poroso; friável, não plástico e não pegajoso, transição clara, plana; raízes comuns.
- A₂₂ 60-70 cm; cinzento claro (10 YR 2/2, úmido), mosqueado pequeno distinto e bastante; franco arenoso sem estrutura, poroso com alguns poros grandes; solto, não plástico, transição abrupta e plana, poucas raízes.
- B_{2g} 70-120 cm; cinzento (10 YR 5/1, úmido), devido aos "coatings", bruno amarelado (10 YR 5/4, úmido amassado) mosqueado grande abundante e proeminente, vermelho (10 YR 4/8, úmido) e bruno amarelado claro (10 YR 6/4, úmido) franco argiloso; pouco poroso, e extremamente duro, muito firme, plástico e pegajoso transição gradual e plana, poucas raízes.
- G 120-200 cm; cinza oliváceo claro (5 YR 6/2, úmido) mos

queado preto (N1/, úmido); franco argiloso, pouco poroso; firme sem raízes.

3.3. Descrição do tipo de clima

De acordo com o Sistema Internacional de Köppen, a área de estudo está localizada dentro da classe Cfa, clima temperado úmido sem estiagem. As normais de temperatura, precipitação, insolação, umidade relativa e evaporação de Porto Alegre nos meses de junho a novembro e anual estão contidas no Quadro 1. A área experimental dista 12 km de Porto Alegre.

Quadro 1. Normais de temperatura, precipitação, insolação, umidade relativa e evaporação de Porto Alegre nos anos de 1945 a 1974.

| Evento meteorológico | junho | julho | agost | setem | outub | novem | Média anual |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| Temp. média mensal °c | 14,6 | 14,2 | 15,1 | 17,0 | 18,9 | 21,3 | 19,5 |
| Média das temp. máximas | 19,9 | 19,8 | 20,9 | 20,1 | 24,2 | 27,1 | 25,1 |
| Média das temp. mínimas | 11,0 | 10,4 | 11,1 | 13,3 | 15,0 | 16,9 | 15,5 |
| Precipitação (mm) | 124 | 105 | 121 | 140 | 117 | 71 | 1242 |
| Insolação em horas | 146 | 163 | 178 | 154 | 213 | 240 | 203 |
| Unidade relativa % | 83,3 | 82,8 | 79,2 | 78,8 | 75,1 | 70,7 | 76,6 |
| Evaporação méd. mensal (mm) | 33,7 | 37,2 | 45,9 | 50,1 | 66,6 | 82,0 | 63,0 |

FONTE: Altoff (1977).

3.4. Tratamentos

Os tratamentos constaram da combinação de 2 níveis de fertilização em parcelas drenadas e não drenadas.

3.4.1. Parcelas drenadas e fertilizadas

As parcelas que sofreram este tratamento, foram drenadas durante o decorrer do experimento, sendo que a água lixiviada era originária da precipitação, indo depositar-se em caixas aferidas para medidas de volume, sendo posteriormente coletadas amostras para as análises necessárias.

Estas parcelas receberam calcáreo e fertilizantes conforme os níveis recomendados pelo laboratório de análise de solos da UFRGS. Tanto a adubação de manutenção como a de correção foram aplicadas na mesma época para poderem reagir com o solo.

3.4.2. Parcelas drenadas e não fertilizadas

Estas parcelas receberam um tratamento de drenagem idêntico ao anterior, diferenciando-se das mesmas no nível de adubação que foi igual a zero.

3.4.3. Parcelas não drenadas e fertilizadas

Estas parcelas não receberam drenagem artificial permanecendo com suas condições naturais de drenagem.

Os níveis de fertilização destas parcelas são idênticos aos das parcelas drenadas e fertilizadas, assim como a época de aplicação.

3.4.4. Parcelas não drenadas e não fertilizadas

As parcelas que receberam este tipo de tratamento foram mantidas nas condições naturais de drenagem e o nível de fertilização foi igual a zero.

Não foi possível avaliar as concentrações de nutrientes nas parcelas não drenadas, porque não ocorreu elevação do lençol freático.

3.5. Dimensionamento da área experimental

Dos cinco hectares escolhidos inicialmente para a implantação das parcelas experimentais a campo selecionou-se uma área experimental que foi localizada e dimensionada, para posterior implantação.

3.5.1. Coleta de dados básicos

3.5.1.1. Levantamento plani-altimétrico

Foi utilizado o método de nivelamento transversal, objetivando o reconhecimento da área, assim como a determinação da declividade e a escolha do ponto de descarga dos drenos.

A Figura nº 1 mostra o levantamento plani-altimétrico na escala 1 : 2000.

3.5.1.2. Determinação da camada impermeável

A camada impermeável foi determinada mediante a abertura de poços, com a ajuda de um trado em locais pré-selecionados e com base em determinações anteriores feitas no local, tendo sido utilizado o valor médio das determinações. Os locais dos poços, assim como o valor da profundidade da camada impermeável nestes pontos são mostrados na Figura nº 1.

3.5.1.3. Condutividade hidráulica

Utilizando-se alguns poços abertos para a determinação da camada impermeável, determinou-se a condutividade hidráulica pelo método de Auger-Hole descrito por MILLAR (1977). Os poços utilizados foram os de nº 1A-5A-7B que se encontram

na Figura nº 1. O valor utilizado foi a média aritmética das determinações feitas.

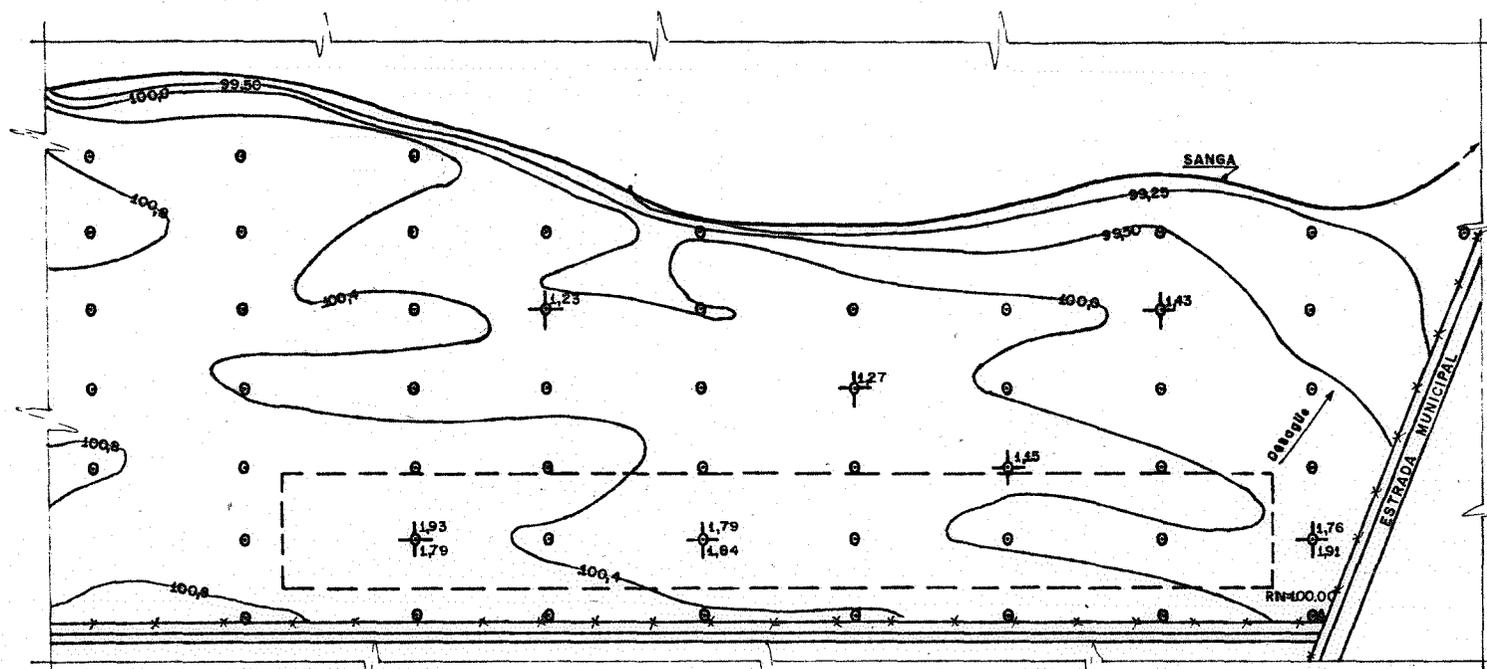
3.5.1.4. Levantamento do lençol freático

Com o objetivo de determinar o comportamento do lençol freático e a direção do fluxo d'água, assim como o comportamento do nível da mesma no córrego que serviu de ponto de descarga para a área em estudo, foram instalados 11 piezômetros e duas réguas linimétricas. O resultado das observações possibilitou estabelecer as cotas máximas alcançadas pela água do córrego, e estabelecer a direção do fluxo da água subterrânea. Vide Figura nº 2.

3.5.1.5. Estimativa da recarga

Esta foi estimada usando-se a relação proposta por Goodrich descrita por ALTOFF (1977). A série histórica utilizada abrangeu dados de precipitação de 10 anos. O resultado obtido para a recarga foi de 30 mm/dia, sendo este o valor utilizado para o cálculo do dimensionamento da rede de drenagem.

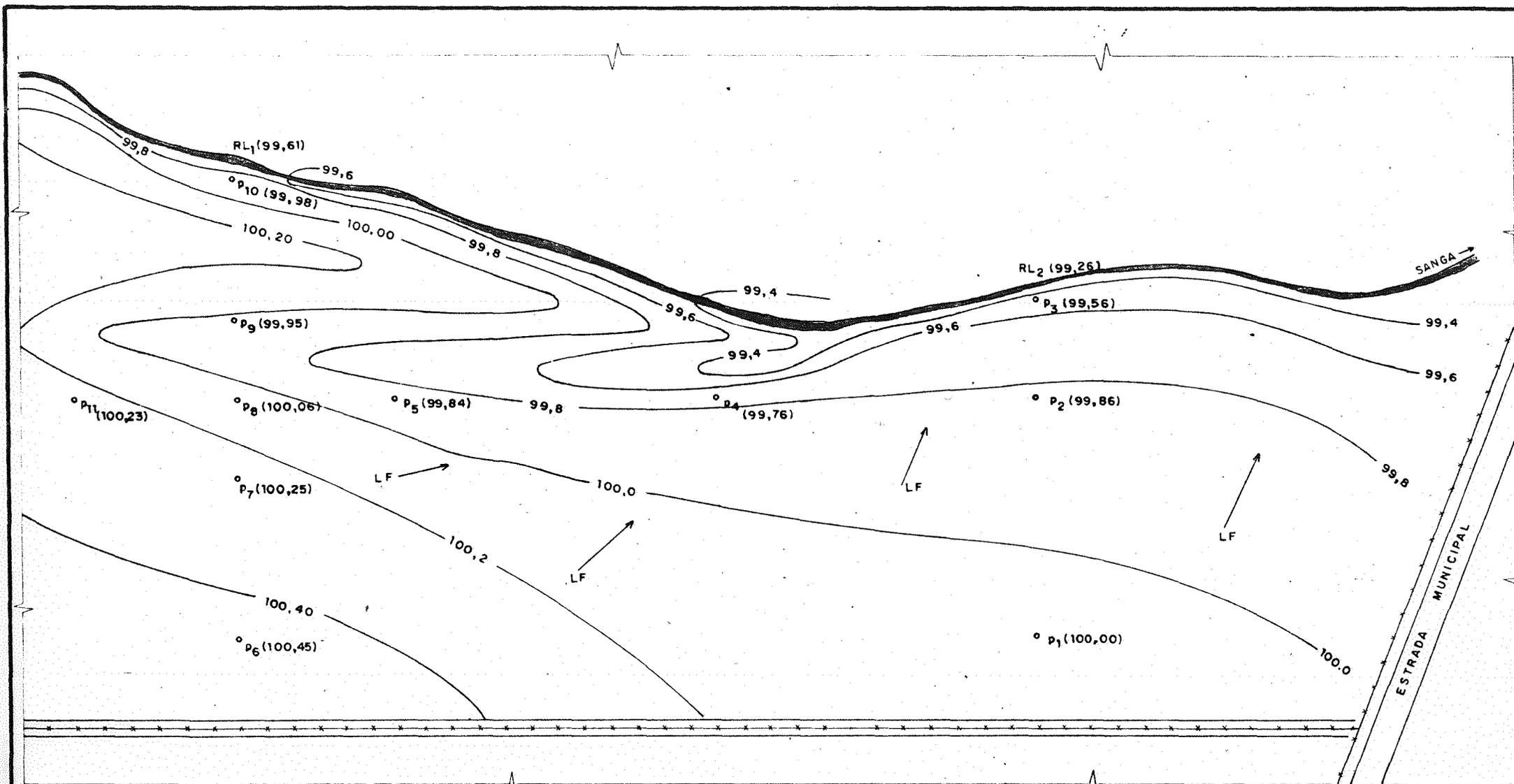
Figura nº 1— MAPA PLANI-ALTIMÉTRICO DA ÁREA TOTAL



Convenções:

- A = REFERENCIAL DE NÍVEL
- G = PONTO DE QUADRICULAÇÃO
- ⊕ = POÇO PERFURADO
- D = VALOR DA PROFUNDIDADE DA CAMADA IMPERMEÁVEL (m)
- CH = VALOR DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA E (m/d)
- ▭ = CAMPO EXPERIMENTAL

Escala: 1:2000



| LEGENDA | |
|-------------|--------------------------------|
| ○ | PIEZÔMETRO |
| RL | RÉGUA LINIMETRICA (cota em m.) |
| LF | LINHA DE FLUXO |
| — 100 — | CURVA ISOPIEZOMÉTRICA |
| ———— | CURSO D'ÁGUA |

Figura 2. POSIÇÃO DO LENÇOL FREÁTICO EM 21.4.77

3.5.2. Cálculo do espaçamento e profundidade dos drenos

O regime permanente com recarga é o que melhor se aplica ao presente caso, devido as condições existentes. Utilizou-se a fórmula de Hooghoudt para solos homogêneos no cálculo do espaçamento entre os drenos. A formulação da mesma é a seguinte:

$$L^2 = \frac{8 K d h}{R} + \frac{4 K h^2}{R} \quad \text{onde:} \quad (1)$$

L = espaçamento entre os drenos, em (m)

K = condutividade hidráulica, determinada em 1,85 m/dia

d = profundidade equivalente, em (m)

R = recarga estimada em 30 mm/dia

A profundidade equivalente é calculada através da seguinte fórmula:

$$d = \frac{D_o}{2,55 \times \frac{D_o}{L} \times \left(\ln \frac{D_o}{P} \right) + 1} \quad \text{onde:} \quad (2)$$

D_o = profundidade da camada impermeável a partir do nível de água nos drenos, para o caso 0,7 m

P = perímetro molhado, dado pela expressão $P = \pi \times r_o$ sendo que para o presente caso $r_o = 0,025$ m

Substituindo os valores em (2), teremos a seguinte relação:

$$d = \frac{0,7 \times L}{3,89 + L} \quad (3)$$

Por meio de tentativas chega-se ao valor L calculado da seguinte maneira: arbitra-se valores para L e calcula-se o valor de d, a seguir entra-se com este valor na equação (1) e tem-se o valor de L calculado. Assim sucessivamente até obtermos a melhor aproximação entre L calculado e L arbitrado. Para o presente caso o valor de d é igual a 0,374 e de L igual a 4,5 m que é o valor do espaçamento entre drenos.

A escolha da profundidade dos drenos é arbitrária e depende do sistema radicular efetivo da cultura a ser implantada na área. De acordo com isto fixou-se em 0,8 m a profundidade dos drenos, por ter sido a aveia a cultura utilizada. Esta atinge seu ponto ótimo de rendimento quando o lençol freático é mantido a uma profundidade de 0,7 m.

3.6. Delineamento experimental

Segundo DILEMAN (1974), o comprimento das parcelas de um experimento de drenagem deve ser no mínimo 5 vezes o maior espaçamento entre os drenos. De acordo com isto ficou estabelecido o valor de 30 m para o comprimento das parcelas.

Cada parcela drenada é composta por duas sub-parcelas, sendo uma fertilizada e outra não, estas por sua vez possuem

dois drenos centrais e dois drenos de bordadura, sendo um dos drenos de bordadura comum as duas sub-parcelas.

A área útil de cada sub-parcela perfaz um total de 9x30 m tanto para as fertilizadas como para as não fertilizadas. Toda a água caída sobre a área útil de cada sub-parcela é coletada pelos drenos centrais e enviada ao sistema de medidas.

A testemunha é composta de duas sub-parcelas de 9 x 30m com uma faixa de um metro entre as mesmas.

Cada bloco é composto de duas parcelas: dreno fechado e testemunha, sendo cada uma destas compostas por 2 sub-parcelas, fertilizadas e não fertilizadas perfazendo um total de 4 sub-parcelas por bloco.

Cada sub-parcela foi sorteada dentro do bloco assim como os blocos também o foram dentro da área experimental.

O coletor principal foi dimensionado e locado 10 m depois do fim das parcelas experimentais, para evitar sua influência sobre as mesmas, conforme Figura nº 3.

Toda a água caída sobre a área útil de cada sub-parcela drenada, chega aos drenos centrais desta, os quais conduzem a mesma até uma estrutura de partição. Esta estrutura divide o volume total da água que chega até ela em sete partes iguais, sendo que 1/7 parte é jogada dentro de um depósito que tem sua superfície conhecida e cuja altura de água é medida com o auxílio de um piezômetro e uma sonda elétrica. As 6/7 partes restantes são conduzidas por um dreno auxiliar a

té o coletor e daí eliminadas.

Os depósitos para armazenamento da água que escoam das parcelas foram dimensionados conforme a área das mesmas e de acordo com os dados de recarga. A Fig. nº 4 mostra em detalhes o sistema de condução, partição e armazenamento de água.

3.7. Tratos culturais

No início do trabalho, a área foi lavrada, gradeada e posteriormente foram feitas calagem, adubação de correção e de base, conforme resultados das análises químicas realizadas no laboratório de solos da UFRGS.

Devido as características do trabalho desenvolvido, a adubação de base foi aplicada na mesma época que a de correção e incorporada ao solo com grade para que houvesse tempo dos nutrientes reagirem.

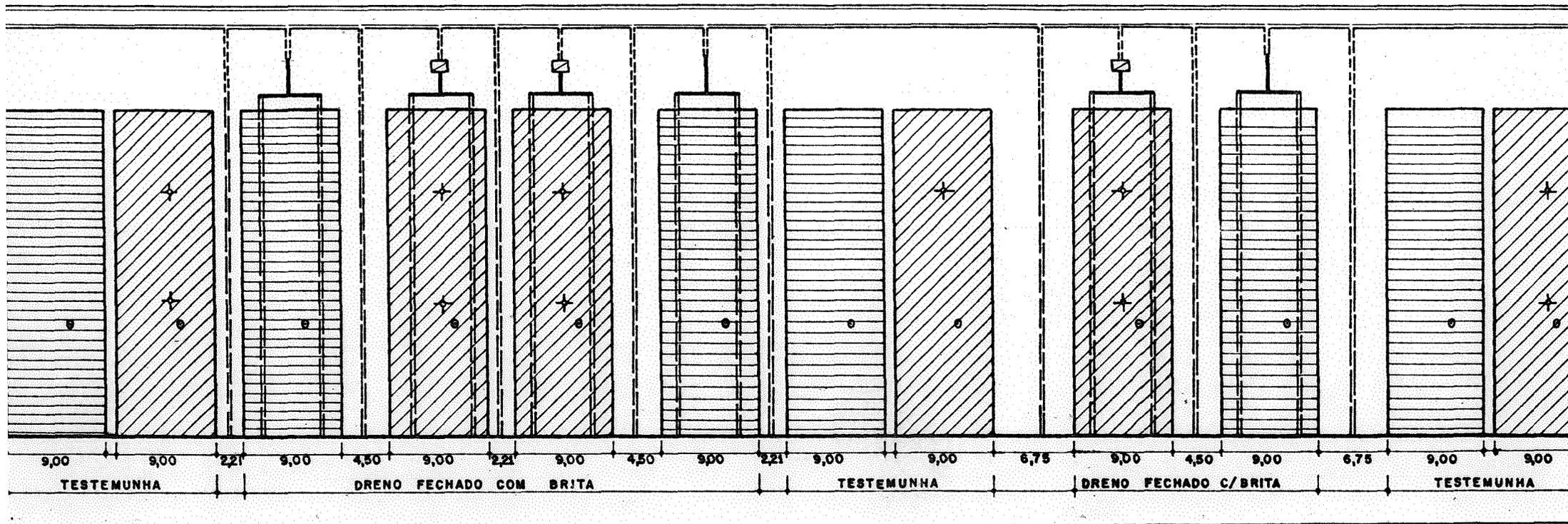
Os resultados das análises são mostrados a seguir:

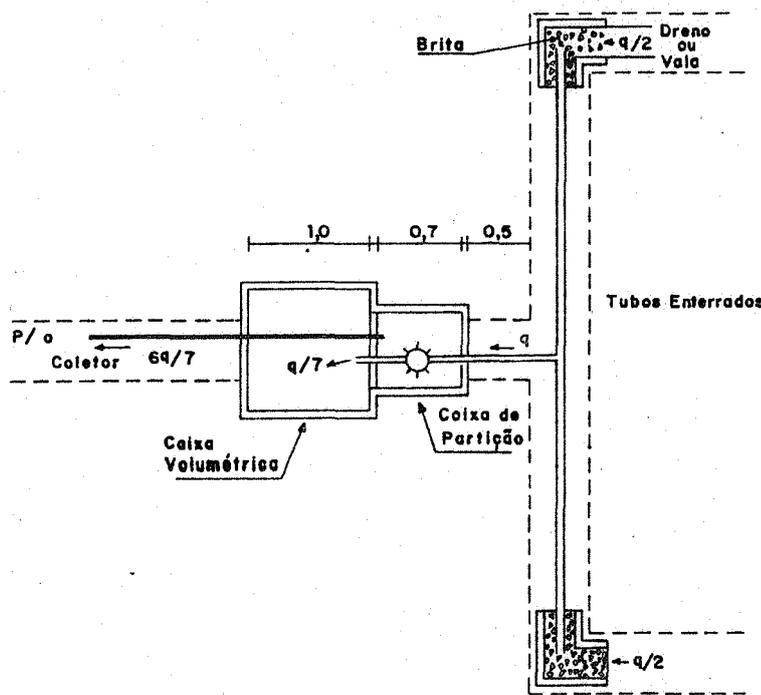
| Amostra | Resultado das análises | | | | | Recomendações de adubação | | | | | Cobertura* |
|---------|------------------------|-----|-------|-------|------|--|---------------------------------|--|---------------------------------|------------------|------------|
| | Profundidade | pH | P ppm | K ppm | MO % | Correção* P ₂ O ₅ | Manutenção* K ₂ O | Manutenção* P ₂ O ₅ | Manutenção* K ₂ O | Manutenção* N | |
| 1 | 0-15 | 4,8 | 7,6 | 25 | 1,9 | 40 | 80 | 60 | 40 | 10 | 40 |
| 2 | 15-30 | 5,0 | 7,2 | 20 | 0,9 | 40 | 80 | 60 | 40 | 10 | 40 |

* kg/ha

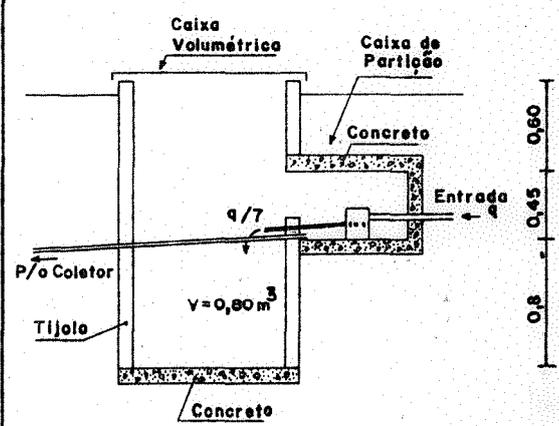
Figura nº 3 — DISTRIBUIÇÃO ESQUEMÁTICA DO CAMPO EXPERIMENTAL

- Convenções:**
- ESTRUTURA DE MEDIÇÃO DE DESCARGA..... □
 - SUB PARCELA ADUBADA..... ▨
 - SUB PARCELA NÃO ADUBADA..... ▤
 - DRENO FECHADO COM BRITA..... — — — — —
 - DRENOS AUXILIARES..... - - - - -
 - TUBOS ENTERRADOS..... —————
 - LOCAL DE DETERMINAÇÃO DE VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO..... ○
 - LOCAL DE DETERMINAÇÃO DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA..... ✦

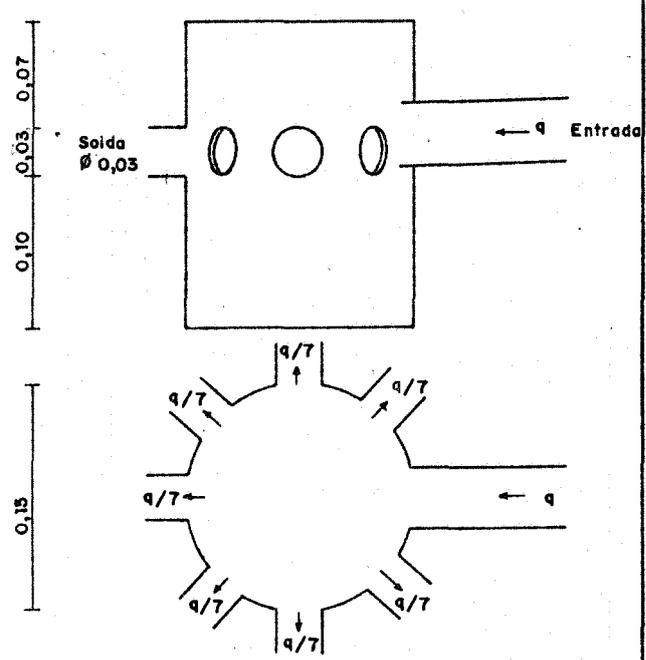




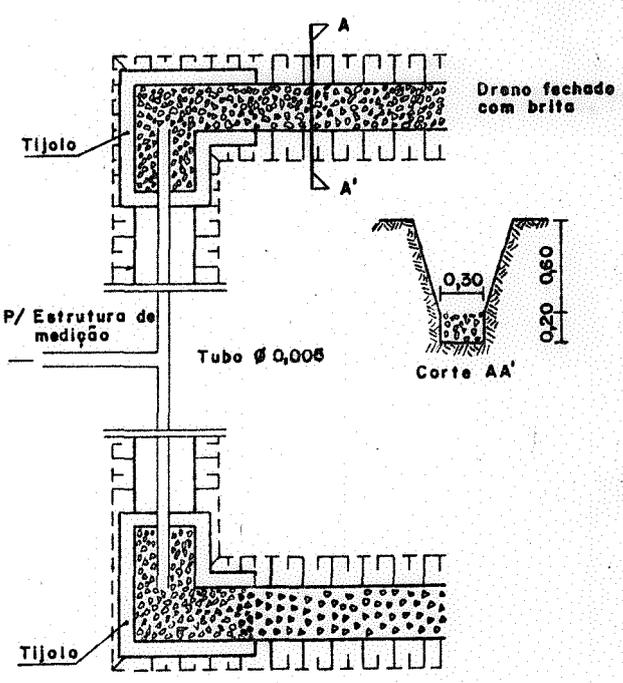
a: Vista superior da estrutura de medição de descargas. (1:75)



b: Vista lateral. (1:50)



c: Detalhe da estrutura de partição (1:5)



d: Detalhe da coleta de água dos drenos. (1:50)

Figura 4 - DETALHES DA ESTRUTURA DE MEDIÇÕES DA ÁGUA DRENADA (cota em metros)

A recomendação de calcário foi baseada em PRNT 100% e para a amostra 1 e 2 foi, respectivamente, de 3,2 e 1,5 ton/ha.

A adubação de cobertura foi aplicada em 9 de agosto de 1977, 61 dias após ao plantio, sendo utilizado um composto amoniacal. Durante todo o experimento, os adubos utilizados foram superfosfato triplo (45% de P_2O_5), cloreto de K (60% K_2O) e uréia (45% N). A área experimental foi semeada no dia 8 de junho de 1977, dentro da época tecnicamente recomendável para o Estado e a sementeira foi feita mecanicamente, com uma sementeira-adubadeira em linhas espaçadas de 20 cm. A emergência das plântulas deu-se 8 a 9 dias após o plantio e 108 dias depois da sementeira ocorreu o florescimento.

Não foi necessário o controle de invasoras na área experimental devido a baixa incidência das mesmas no período em que seriam prejudiciais à cultura da aveia.

A incidência da ferrugem da folha (*Puccinia recondita*) e do pulgão (*Toxoptera graminum*) foi controlada com a aplicação de uma mistura de Dithane M-45 e Sumithion 50-E, realizado no dia 31 de agosto de 1977 com o auxílio de um pulverizador costal.

3.8. Determinações

3.8.1. Coleta e amostragem da água de precipitação, e

percolação

Foi pressuposto que a vazão nas sub-parcelas fertilizadas e não fertilizadas seriam iguais, uma vez que a área útil destas tem a mesma dimensão. Baseado nisto foram construídas caixas volumétricas somente nas sub-parcelas fertilizadas. As amostras eram de todas as sub-parcelas.

As amostras eram coletadas em todas as sub-parcelas e para cada precipitação, media-se toda a água que percolava das sub-parcelas para o depósito aferido e o número destas medidas variava com a intensidade da chuva.

A amostragem era feita mediante a retirada de uma alíquota de 300 ml da água que ia para o depósito e desta faziam-se as determinações necessárias (N - K - Ca - Mg). Assim obtinha-se o volume de água percolado e a concentração média de nutrientes desta água.

Convém esclarecer que os 300 ml da alíquota eram completados em duas vezes pois tão logo iniciava a correr a água de percolação, coletava-se 50% e quando aumentava a vazão dos drenos, coletava-se os outros 50%, isto porque supunha-se que o carreamento de nutrientes não fosse uniforme no decorrer do período em que percolasse água.

Se a precipitação ocorresse a noite, a primeira parte da alíquota de 300 ml era coletada na manhã do outro dia.

A água de precipitação era coletada junto ao pluviômetro

instalado na EEA (Estação Experimental do Arroz), distante 1000 metros do local do experimento.

3.8.2. Coleta e amostragem de solos

Na cabeceira de cada sub-parcela drenada e adubada, foram coletadas amostras de solo a diferentes profundidades (15 a 25 - 40 a 50 - 70 a 80 cm), com a finalidade de acompanhar o deslocamento do N - K - Ca - Mg no perfil do solo, durante o decorrer do experimento.

Para a coleta das amostras foi utilizado um trado do tipo caneca e tão logo eram retiradas as amostras nas quais seria avaliada o teor de N, adicionava-se às mesmas uma solução de KCl 2N para paralizar a ação dos microorganismos.

3.8.3. Análises de solo

As amostras de solo que foram coletadas para acompanhar o deslocamento dos nutrientes no perfil do solo, também foram analisadas para N - K - Ca - Mg.

O método de extração do nitrogênio das amostras de solo constou da adição de 50 ml de KCl 2N às amostras (base peso seco). Obtido o extrato, utilizava-se o método descrito por BREMNER (1965).

Para a extração do potássio, utilizou-se acetato de amô

nio 1N e seguiu-se o método descrito por MIELNICZUK et alii (1969). Obtido o extrato, lia-se diretamente no fotômetro de chamas o valor do potássio extraído.

Para o Ca e Mg usou-se cloreto de potássio 1N como extrator e adicionou-se ao extrato uma solução de lantânio, sendo a diluição final de 0,1%, e no espectrofotômetro de absorção atômica obtia-se os valores de cálcio e magnésio da amostra.

3.8.4. Análise da água de precipitação e percolação

Conforme já esclarecido, a água de percolação era proveniente da precipitação. Feita a amostragem destas, eram levadas o mais breve possível ao laboratório para a realização das análises de Nitrogênio, Potássio, Cálcio e Magnésio. Caso houvesse impossibilidade de retornar ao laboratório, conservava-se as amostras em um refrigerador.

Para a determinação de nitrogênio inorgânico (NH_4^+ - NO_3^-) utilizou-se o método de destilação por vapor, com a ajuda do destilador de Kjeldahl, descrito por BREMNER (1965).

Como não era necessário a aplicação de um método para a extração de K, o mesmo era lido diretamente no fotômetro de chamas. Para a determinação do Ca e Mg, adicionava-se a amostra uma solução de lantânio, sendo a diluição final deste 0,1%, e lia-se o valor diretamente no espectrofotômetro de absorção atômica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Número e quantidade de precipitações percoláveis e não percoláveis ocorridas durante o período experimental

O período de amostragens num total de 82 dias, foi hidrologicamente ímpar para a área experimental, com relação a precipitação. Os dados obtidos nos fornecem valores que não estão dentro das normais estabelecidas por ALTOFF (1977), principalmente para o mês de setembro (vide normais de precipitação, item 3.3).

Tabela 1. Número e quantidade de precipitações ocorridas no período de amostragens, 13/08 a 02/11 de 77 E.E.A. - IRGA - R.S.

| Mês | Número | | Quantidade | |
|----------|----------------|--------|------------------|--------|
| | Valor absoluto | % | V. absoluto (mm) | % |
| Agosto | 12 | 35,30 | 88,3 | 33,04 |
| Setembro | 11 | 32,35 | 82,9 | 31,01 |
| Outubro | 11 | 32,35 | 96,1 | 39,95 |
| Total | 34 | 100,00 | 267,3 | 100,00 |

O número e quantidade de precipitações percoláveis e não percoláveis são mostrados na Tabela 2.

A Tabela 1 nos mostra que tanto o nº como a quantidade de precipitações em todo o período de amostragem estão bem distribuídos entre os meses, sendo de 7,45% o coeficiente de variação.

O número de precipitações que causaram percolação foi menor do que aquelas que não causaram, situando-se em torno de 35,29% do total das precipitações ocorridas contra 64,71% daquelas que não causaram percolação. Embora tenham sido em menor número, as precipitações percoláveis somaram um total de 193,4 mm contra 73,9 mm das não percoláveis, correspondendo respectivamente a 72,35% e 27,65% do total geral.

Do total de 193,4 mm, das precipitações que causaram percolação, 112 mm ou seja 42% da precipitação total foram recolhidas pelos drenos, este valor está de acordo com o encontrado por SACHET (1977) em solo Vacacai, o qual atribuía 30% à percolação, levando em conta que o período era o de verão.

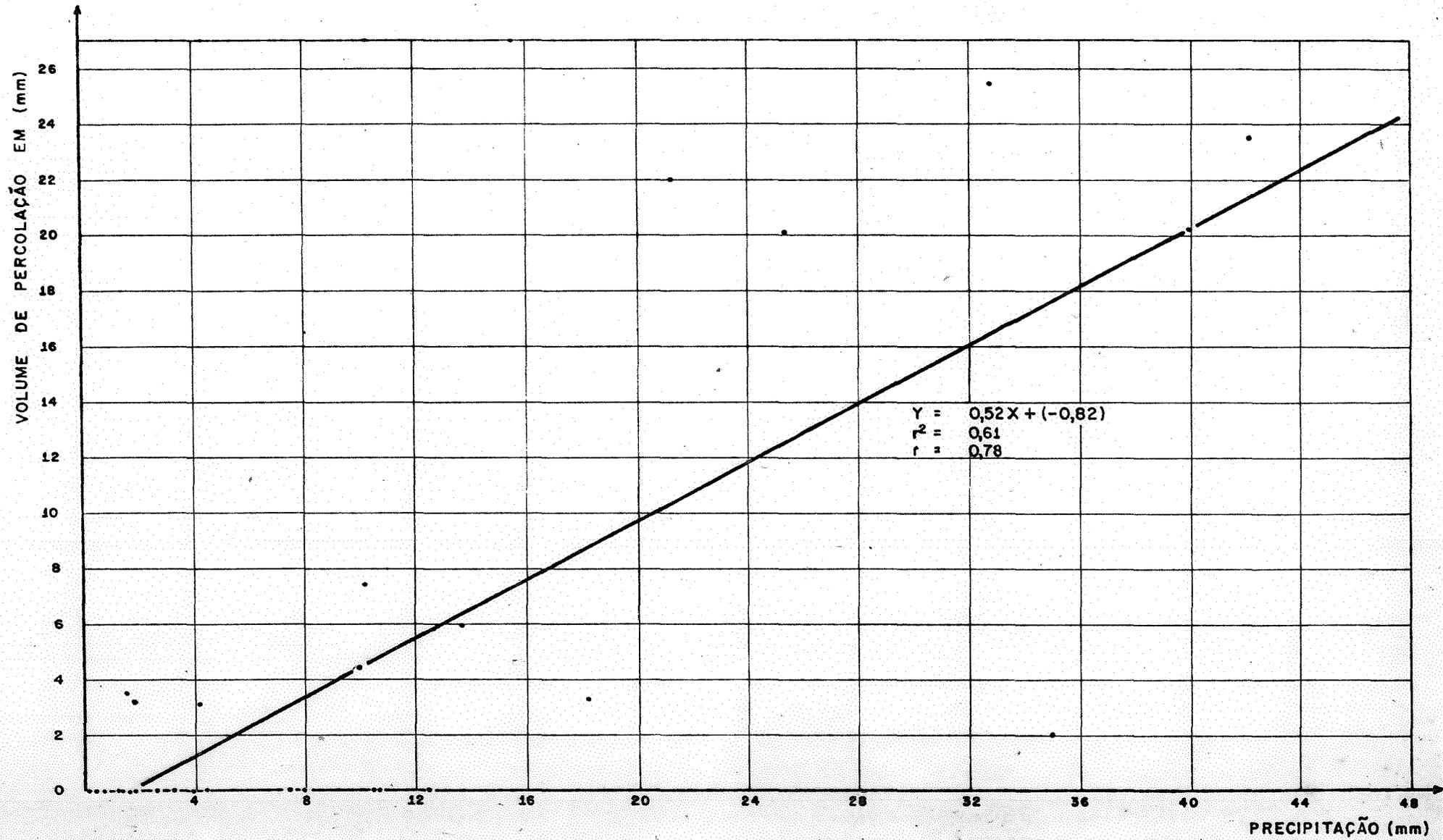
Isto explica-se pelo fato das precipitações percoláveis serem as de maior altura pluviométrica e as de menor frequência. No entanto não pode ser tomado como regra geral, porque pode ocorrer uma grande precipitação sem que ocorra um grande volume de percolação, como é mostrado pelos coeficientes de correlação e regressão na Fig. 5.

Justifica-se a ocorrência desta variação pela evapora

Tabela 2. Número e quantidade de precipitações percoláveis e não percoláveis durante o período de amostragens - 13/08 a 02/11 de 1977

| Mês | Precipitações percoláveis | | | | Precipitações não percoláveis | | | |
|----------|---------------------------|--------------|--------------------|--------------|-------------------------------|--------------|--------------------|--------------|
| | Número | | Quantidade | | Número | | Quantidade | |
| | Valor absoluto | % do período | Valor absoluto(mm) | % do período | Valor absoluto | % do período | Valor absoluto(mm) | % do período |
| Agosto | 7 | 20,59 | 83,7 | 31,31 | 5 | 14,71 | 4,60 | 1,72 |
| Setembro | 2 | 5,88 | 31,1 | 11,63 | 9 | 26,47 | 51,80 | 19,38 |
| Outubro | 3 | 8,82 | 78,60 | 29,41 | 8 | 23,53 | 17,50 | 6,55 |
| Total | 12 | 35,29 | 193,4 | 72,35 | 22 | 64,71 | 73,90 | 27,65 |

Figura nº5 — RELAÇÃO ENTRE PERCOLAÇÃO DA ÁGUA EM FUNÇÃO DA PRECIPITAÇÃO



ção, estado de desenvolvimento e necessidade hídrica da cultura, estado de umidade do solo e condições físicas do mesmo no momento da precipitação.

O mês de setembro foi o que apresentou menor número e quantidade de precipitações percoláveis sendo o inverso também verdade. Embora tenha contribuído com 31,01% do total das precipitações contribuiu somente com 16,0% das precipitações percoláveis. Confrontando as Tabelas 1 e 2 constata-se que de um total de 88,3 mm no mês de agosto, 83,7 fazem parte das chuvas percoláveis. O mês de outubro apresenta valores intermediários tanto para número como para quantidades.

4.2. Perdas de nutrientes versus volume de percolação

As perdas de nutrientes ocorridas por lixiviação em função do volume de água percolado, são aqui analisadas através de correlações e regressões.

Os limites máximos de perdas de N, K, Ca e Mg para as respectivas equações de regressão são estabelecidos pelas quantidades existentes no solo, na forma trocável, de cada elemento. Estes valores estão contidos no Quadro 2.

A relação existente entre o volume d'água percolado e a quantidade de nutrientes perdidos por lixiviação é alta e foi comprovado pelos altos coeficientes de correlação encontrados tanto para parcelas fertilizadas como não fertiliza

Quadro 2. Quantidade de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio existente no solo na forma trocável no início do período de amostragem - 13/08/77.

| Unidade | Nitrogênio | Potássio | Cálcio | Magnésio |
|-------------------|------------|----------|--------|----------|
| ppm | 3,3 | 10,9 | 118,2 | 26,5 |
| Kg/ $\frac{1}{2}$ | 1,15 | 3,80 | 41,36 | 9,28 |

$\frac{1}{2}$ Parcela com 270 m² x 0,80 m de profundidade e densidade do solo = 1,62 g/cm³.

das (Fig. 6 a 9).

Os melhores coeficientes de correlação foram obtidos para as parcelas não fertilizadas, devido provavelmente a maior uniformidade nas perdas desde o início até o fim do período de observações. Em parcelas fertilizadas as concentrações de nutrientes na água de percolação variaram mais que nas parcelas não fertilizadas, sendo que as mais elevadas acompanham os menores volumes de percolação.

As concentrações de nutrientes, não diminuíram com o decorrer do tempo a partir da data de aplicação dos mesmos ao solo, o que contraria a afirmação feita por ZWERMAM (1972), mas deve-se ter em conta que o período de observações foi de somente 82 dias.

A quantidade de nutrientes perdida por lixiviação está intimamente relacionada com o volume de água percolada que,

Figura nº6 - PERDA DE NITROGENIO EM FUNÇÃO DO VOLUME DE ÁGUA PERCOLADO

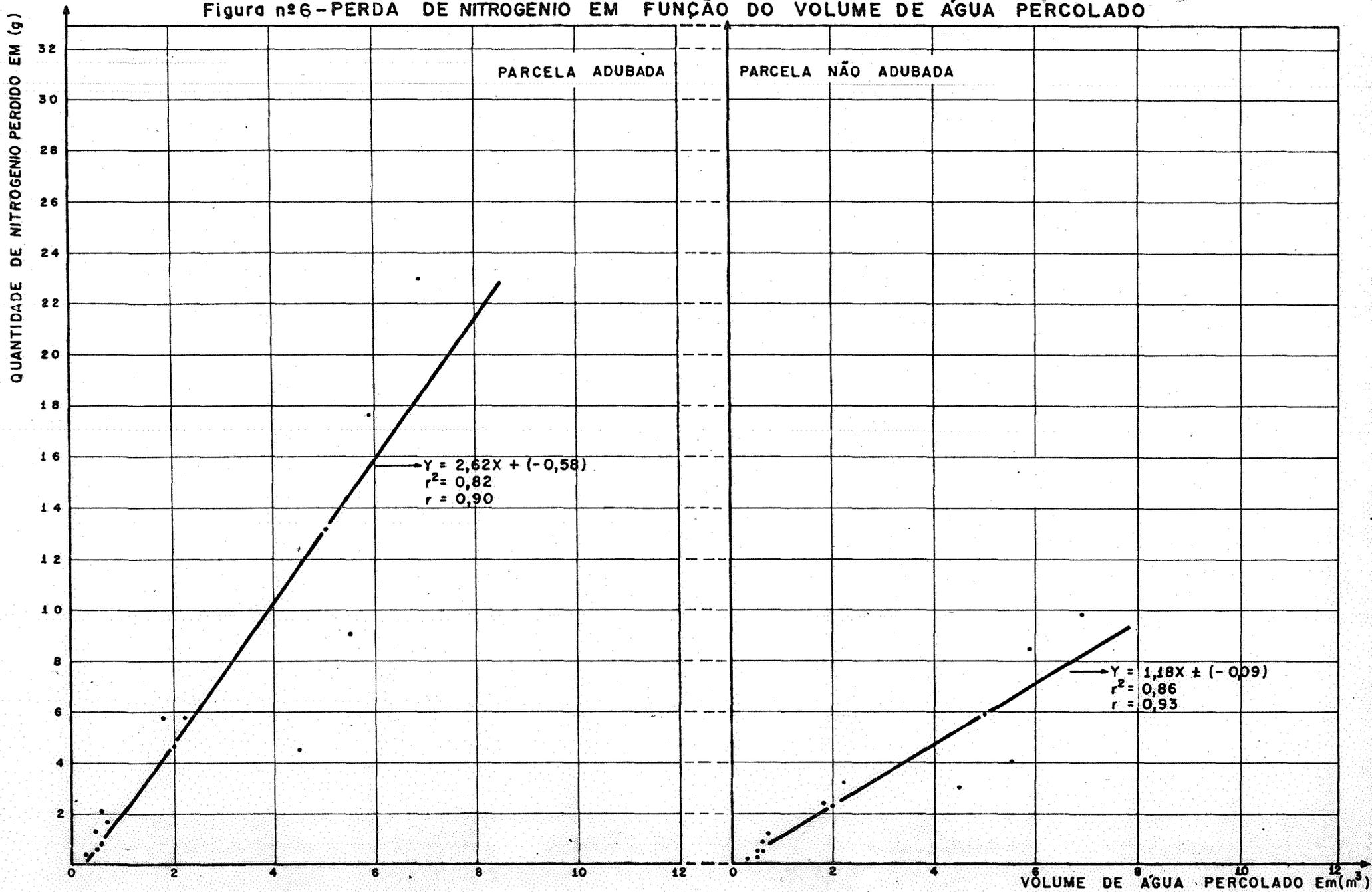


Figura nº7-PERDA DE POTASSIO EM FUNÇÃO DO VOLUME DE ÁGUA PERCOLADO

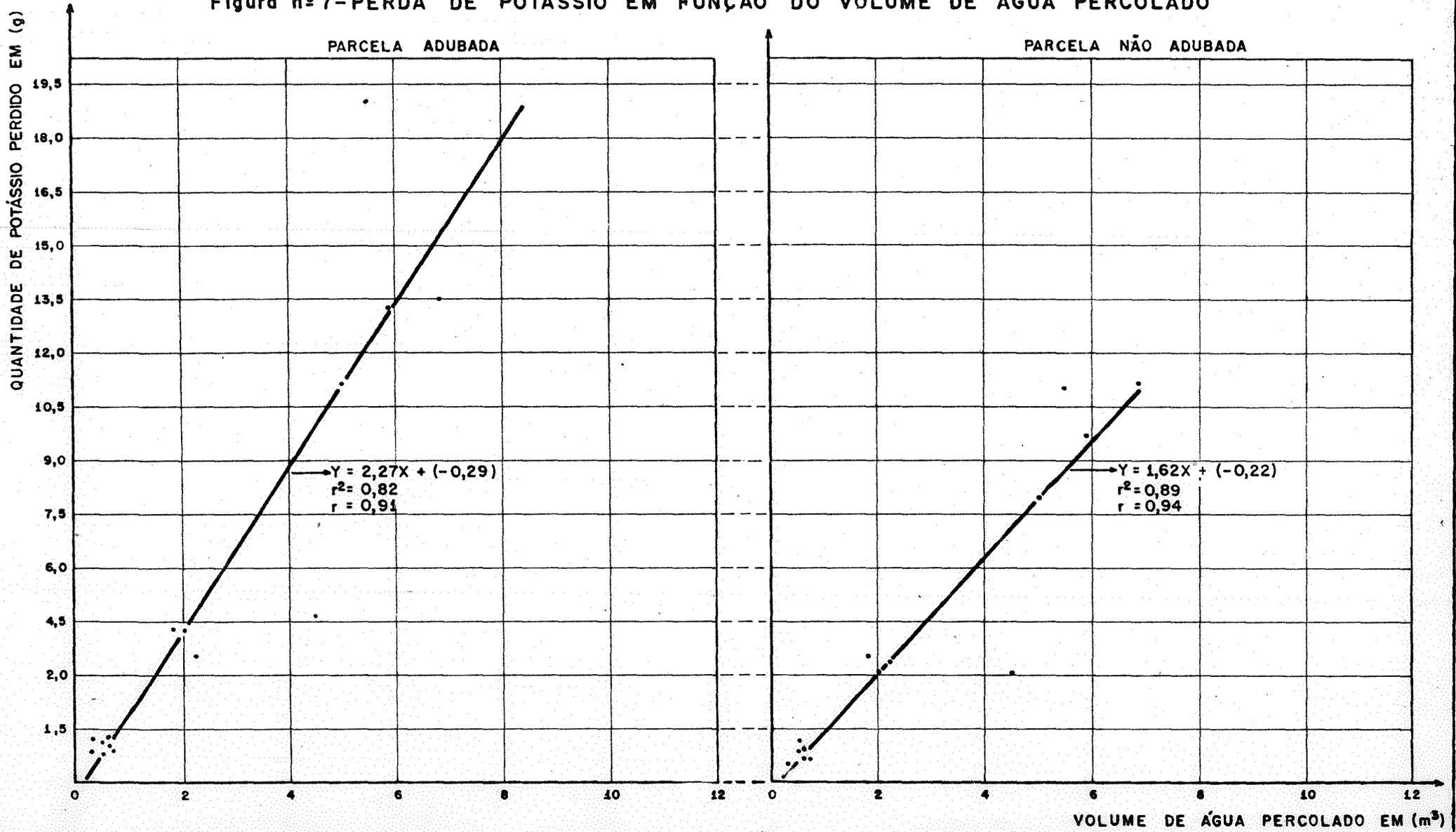


Figura nº8 - PERDA DE CALCIO EM FUNÇÃO DO VOLUME DE ÁGUA PERCOLADO

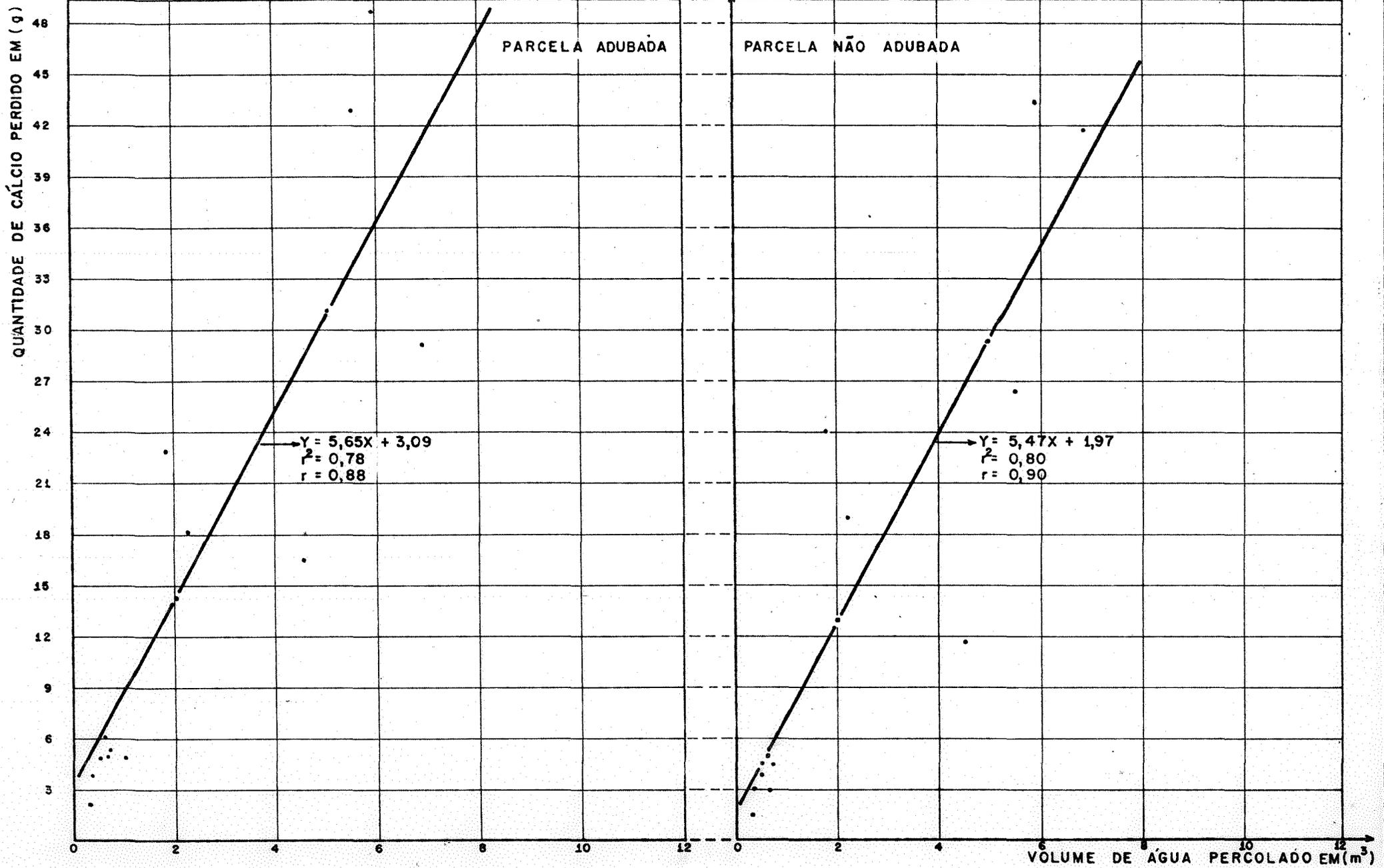
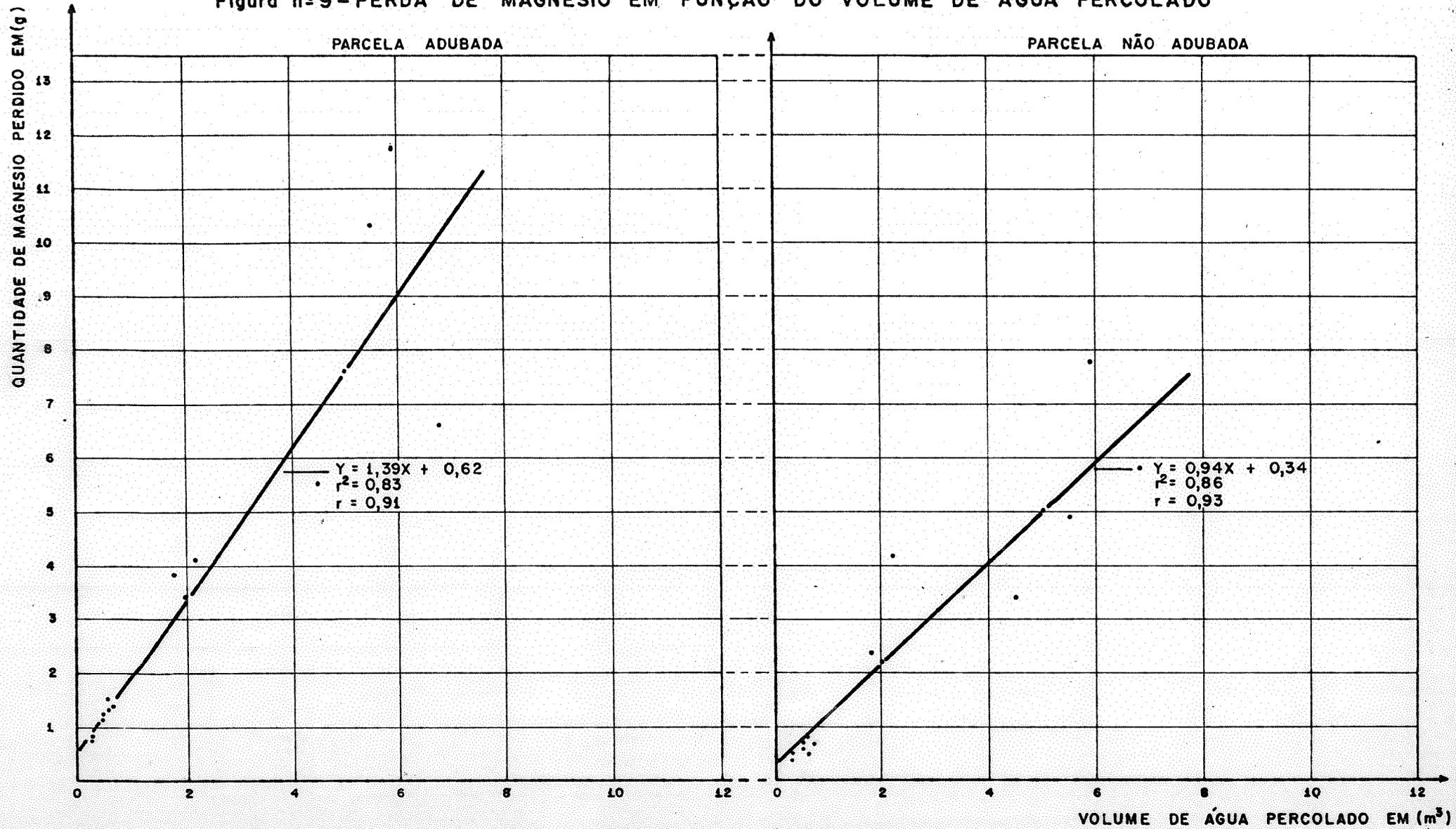


Figura nº9 - PERDA DE MAGNESIO EM FUNÇÃO DO VOLUME DE ÁGUA PERCOLADO



por sua vez depende da quantidade, intensidade e distribuição das precipitações.

Podemos observar pelas Figs. 6 a 9 que os coeficientes de regressão calculados para nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio em parcelas fertilizadas e não fertilizadas variam de 0,78 a 0,89 e são todos positivos, indicando que para grandes volumes de água percolada, ocorrem grandes perdas destes elementos.

As correlações feitas para nitrogênio, cálcio e potássio confirmam os resultados encontrados por DREIBELBIS & Mc GUINNESS (1957), mas contrariam os resultados encontrados por estes autores, para o magnésio, já que a correlação entre a quantidade de magnésio perdida e o volume de água percolado não é significativa.

Altos coeficientes de correlação para os elementos aqui estudados, foram encontrados por STAUFFER & RUST (1954), o que está de pleno acordo com os resultados obtidos neste trabalho.

4.3. Quantidades de nutrientes perdidos por lixiviação no efluente de drenagem

As quantidades de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio perdidos em cada precipitação percolável e as quantidades totais destes elementos perdidos em parcelas fertiliza

das e não fertilizadas estão contidos nas Tabelas 3 a 5.

A análise estatística realizada por meio de um teste de significância entre comparações emparelhadas, demonstra existir diferença significativa ao nível de 5% entre parcelas fertilizadas e não fertilizadas para nitrogênio, potássio e magnésio, enquanto que para o cálcio a diferença não é significativa. Tal resultado é justificado pela aplicação de cálcio ao solo na forma de calcário, em anos anteriores a este trabalho, ficando assim prejudicada a avaliação deste elemento entre os tratamentos (vide Apêndice 1).

Embora não tenha sido aplicado magnésio ao solo, na forma de fertilizante, as perdas deste elemento foram altamente significativas entre parcelas fertilizadas e não fertilizadas.

Este resultado é confirmado pelas afirmações feitas por STAUFFER & RUST (1954) e BOLTON et alii (1970), que dizem que a aplicação de fertilizantes ao solo predispõe a uma maior perda de magnésio por lixiviação.

A Tabela 5 mostra as quantidades totais de cada elemento perdido por lixiviação no período de observação que foi de 82 dias e a precipitação neste período foi de 267,3 mm. Se levarmos em conta que a média anual de precipitação para o local do estudo é de 1.242 mm e que 82 dias perfazem somente 22% do ano, provavelmente teríamos perdas aproximadamente 4,5 vezes maiores, mantendo-se os demais fatores que interfe

Tabela 3. Quantidade de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio em (g) perdido por precipitação em parcelas não fertilizadas.

| Dia e mes | Volume de percolação em (m ³) | Nitrogênio | Potássio | Cálcio | Magnésio |
|-------------|---|------------|----------|--------|----------|
| 13-14/08 | 6,85 | 9,66 | 11,13 | 41,81 | 5,79 |
| 14-15/08 | 1,77 | 2,42 | 3,45 | 23,89 | 2,44 |
| 17-18/08 | 5,93 | 8,37 | 9,65 | 43,36 | 7,78 |
| 18-19/08 | 0,60 | 0,90 | 0,77 | 5,03 | 0,83 |
| 23-24/08 | 2,21 | 3,17 | 3,28 | 18,96 | 4,23 |
| 24-25/08 | 0,69 | 1,15 | 0,61 | 4,48 | 0,74 |
| 25-26/08 | 0,52 | 0,55 | 0,57 | 4,58 | 0,68 |
| 6 - 7/09 | 4,48 | 2,96 | 3,01 | 11,59 | 3,40 |
| 7 - 8/09 | 0,65 | 0,55 | 0,60 | 2,98 | 0,55 |
| 14-15/10 | 0,35 | 0,23 | 0,46 | 3,10 | 0,51 |
| 15-16/10 | 0,48 | 0,29 | 0,77 | 3,86 | 0,65 |
| 31-10/01-11 | 5,49 | 4,04 | 11,07 | 26,36 | 4,93 |
| 01-02/11 | 0,28 | 0,20 | 0,78 | 1,41 | 0,35 |

Tabela 4. Quantidade de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio em (g) perdido por precipitação em parcelas fertilizadas.

| Dia e mes | Volume de percolação em (m ³) | Nitrogênio | Potássio | Cálcio | Magnésio |
|-------------|---|------------|----------|--------|----------|
| 13-14/08 | 6,85 | 22,90 | 13,57 | 29,24 | 6,60 |
| 14-15/08 | 1,77 | 5,86 | 4,27 | 22,82 | 3,81 |
| 17-18/08 | 5,93 | 17,55 | 12,99 | 48,71 | 11,69 |
| 18-19/08 | 0,60 | 2,10 | 1,25 | 6,12 | 1,47 |
| 23-24/08 | 2,21 | 4,79 | 3,54 | 18,17 | 4,10 |
| 24-25/08 | 0,69 | 1,72 | 0,90 | 5,55 | 1,36 |
| 25-26/08 | 0,52 | 1,26 | 0,81 | 4,99 | 1,10 |
| 6 - 7/09 | 4,48 | 4,49 | 4,67 | 16,49 | 5,58 |
| 7 - 8/09 | 0,65 | 0,81 | 0,93 | 5,00 | 1,29 |
| 14-15/10 | 0,35 | 0,42 | 0,80 | 3,87 | 0,83 |
| 15-16/10 | 0,48 | 0,59 | 1,10 | 5,06 | 1,21 |
| 31-10/01-11 | 5,49 | 8,99 | 19,12 | 42,90 | 10,29 |
| 01-02/11 | 0,28 | 0,45 | 1,18 | 2,29 | 0,76 |

Tabela 5. Quantidades totais de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio perdidos por lixiviação no efluente de drenagem no período de amostragens - 13/08 a 02/11/1977.

| Quantidade/área | Volume ^{1/} precipita do m ³ | Volume percola do m ³ | Nitrogênio | | Potássio | | Cálcio | | Magnésio | |
|--------------------|--|--|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
| | | | Aduba da | N/adu bada | Aduba da | N/adu bada | Aduba da | N/adu bada | Aduba da | N/adu bada |
| 270 m ² | 72,17 | 30,3 | 71,93 | 34,49 | 65,13 | 46,15 | 211,21 | 191,41 | 50,09 | 32,88 |
| Ha | 2.673 | 1122,2 | 2,66 | 1,28 | 2,41 | 1,71 | 7,82 | 7,09 | 1,85 | 1,22 |

^{1/} Baseado na precipitação total - 267,3 mm

rem no processo de lixiviação.

O cálcio foi o elemento mais lixiviado do solo, seguido do nitrogênio, potássio e magnésio.

A ordem decrescente de grandeza das perdas, não coincide com nenhuma das citadas anteriormente.

Tanto Kilmer, citado por DREIBELBIS (1946) e o próprio DREIBELBIS e BOLTON (1970), citam o cálcio como o elemento que mais se perde por lixiviação do solo, confirmando os resultados aqui obtidos. As perdas de magnésio são colocadas em segundo lugar numa ordem de grandeza decrescente pelos autores acima citados, sendo que neste trabalho as menores perdas são atribuídas a este elemento.

Os resultados encontrados para o nitrogênio e potássio pelos diferentes autores não coincidem entre si, e nem com este trabalho, devido as diferentes quantidades destes nutrientes nos solos.

Confrontando as Tabelas 5 e 6 vemos que apesar das perdas de cálcio terem sido as mais elevadas, somente 0,51% do total existente no solo na forma trocável foi perdido por lixiviação e 0,56% foi extraído pela aveia para suprir suas necessidades, sendo a relação perdas por lixiviação/extraído pela cultura igual a 0,91.

A percentagem de magnésio existente no solo que perdeu-se por lixiviação, foi similar a de cálcio ficando em 0,54% do total, por causa da menor quantidade deste nutriente no

Tabela 6. Quantidades existentes, extraídas e lixiviadas do solo em kg/ha de nutrientes e percentagens do total existente e retirado pela cultura e perdida por lixiviação em parcelas fertilizadas no período de 13/08 a 02/11 de 1977.

| Elemento | Quantidade ^{1/} existente no solo em kg/ha | Quantidade ^{2/} extraída pe la planta em kg/ha. Base mat. seca to tal ^{3/} | Quantidade perdida por lixi viação em kg/ha | % perdida por lixi viação do total e xistente no solo | % extraída pela cultu ra do to tal exis tente no solo | % perdida por lixi viação do total ex traído p/ cultura |
|------------|--|---|---|--|--|--|
| Nitrogênio | 42,10 | 25,77 | 2,66 | 6,32 | 61,21 | 10,32 |
| Potássio | 140,74 | 17,18 | 2,41 | 1,71 | 12,21 | 14,03 |
| Cálcio | 1.531,50 | 8,59 | 7,82 | 0,51 | 0,56 | 91,04 |
| Magnésio | 343,95 | 3,44 | 1,85 | 0,54 | 1,00 | 53,78 |

^{1/} Volume de terra de um hectare baseado em uma profundidade de 0,8cm e D_s igual a $1,62 \text{ g/cm}^3$

^{2/} Matéria seca total - médias das três repetições - 1718 kg/ha

^{3/} Índices utilizados para o cálculo da quantidade de nutrientes extraídos pela cultura:

Nitrogênio - 1,5% Cálcio - 0,5%

Potássio - 1,0% Magnésio - 0,2%

(Fonte: EPSTEIN, E; 1975)

solo mas a relação perdido por lixiviação/extraído pela cultura baixou para 0,54.

As perdas de magnésio ficaram em torno de 1,85 kg/ha enquanto que a aveia extraiu tão somente 3,44 kg/ha para satisfazer suas necessidades.

As perdas de potássio alcançaram 1,71% do total deste elemento no solo na forma trocável, enquanto que a cultura extraiu 12,21% deste total. Apesar das quantidades absolutas de potássio perdidas por lixiviação, serem menores que as de cálcio, as quantidades relativas são mais elevadas, devido as menores quantidades deste elemento no solo.

As perdas de nitrogênio inorgânico do solo alcançaram 2,66 kg/ha enquanto que a aveia retirou 25,77 kg/ha.

Estas perdas foram estimadas em 6,32% do total existente no solo por ocasião da análise realizada no início do período de observações, mas este valor apresenta restrições se considerarmos as constantes transformações que ocorrem com o nitrogênio no solo.

Com base nestas taxas de perdas, e quando o regime de precipitações for elevado, pode-se prever que as perdas de nutrientes do solo levarão este a um inevitável empobrecimento.

4.4. Lisímetros de drenagem versus parcelas experimentais drenadas

Mesmo considerando que o período de observações foi de somente 82 dias, os valores encontrados para as perdas de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio (vide Tabela 5), são de uma maneira geral menores que aqueles encontrados por diversos autores, tais como SCHROEDER (1975), STAUFFER & RUST (1954), DREIBELBIS & Mc GUINNESS (1957), STAUFFER (1943), JUO & BALLAUX (1977), quando trabalharam com lisímetros de drenagem, ficando evidenciado assim as observações feitas por KOHNKE (1946) e ALLISON (1959), segundo as quais experimentos conduzidos em lisímetros são inconvenientes para este tipo de investigação.

Comparando os resultados encontrados (Tabela 5) com os resultados encontrados por BOLTON et alii (1970) verificamos que para o nitrogênio as perdas foram praticamente iguais, se levarmos em conta o curto período de observações.

Com relação ao cálcio e magnésio as perdas encontradas por Bolton et alii foram bastante mais elevadas, mesmo considerando o menor tempo de observação.

Com o potássio ocorreu o inverso pois as perdas deste elemento no efluente de drenagem foram aproximadamente sete vezes maiores do que as encontradas por estes autores.

As diferenças encontradas entre um e outro trabalho devem-se aos diferentes fatores que intervem no processo de perdas de nutrientes por lixiviação, tais como nível de fertilidade, permeabilidade do solo, volume de percolação, cobertu

ra vegetal e tratos culturais.

4.5. Nitrogênio

DREIBELBIS (1946), JOHNSTON (1965), BOLTON (1970) e SCHROEDER (1975), são unânimes em afirmar que as perdas de nitrogênio inorgânico por lixiviação ocorrem quase que totalmente na forma de nitrato, sendo mínimas as perdas na forma de amônia e nitrito.

Tal afirmação contraria os resultados encontrados neste trabalho, pois as perdas de nitrogênio amoniacal foram superiores as de nitrogênio na forma de nitrato em parcelas fertilizadas, alcançando valores de $0,14 \text{ g/m}^2$ e $0,12 \text{ g/m}^2$ respectivamente.

No tratamento em que o nível de fertilização foi igual a zero ocorreu o inverso, sendo de $0,05 \text{ g/m}^2$ as perdas de nitrogênio amoniacal, que apesar de menores, são consideráveis se compararmos com os $0,08 \text{ g/m}^2$ do nitrogênio em forma de nitrato.

Encontra-se justificativa para estes resultados, no fato de que a adubação de cobertura (uréia) foi realizada 5 dias antes do início do período de observações e coincidiu com altas precipitações, o que levou a um grande volume de percolação e em consequência a elevadas perdas de nitrogênio na forma de amônia.

Tabela 7. Concentrações de nitrogênio na forma amoniacal e de nitrato no decorrer do período de estudo.

| ORDEM | Volume de percolação (m ³) | (mg/l) Nitrogênio na forma amoniacal | | (mg/l) Nitrogênio na forma de nitrato | |
|-------|--|--------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|-----------------|
| | | Fertilizada | Não fertilizada | Fertilizada | Não fertilizada |
| 1 | 6,85 | 3,01 | 0,62 | 0,76 | 0,75 |
| 2 | 1,77 | 2,16 | 0,46 | 1,37 | 0,74 |
| 3 | 5,93 | 1,65 | 0,38 | 1,46 | 0,97 |
| 4 | 0,60 | 1,40 | 0,34 | 1,87 | 1,08 |
| 5 | 2,21 | 1,13 | 0,58 | 1,44 | 0,68 |
| 6 | 0,69 | 0,83 | 0,48 | 1,54 | 1,08 |
| 7 | 0,52 | 0,84 | 0,31 | 1,52 | 0,74 |
| 8 | 4,48 | 0,23 | 0,25 | 0,85 | 0,40 |
| 9 | 0,65 | 0,34 | 0,32 | 0,90 | 0,53 |
| 10 | 0,35 | 0,31 | 0,31 | 1,00 | 0,32 |
| 11 | 0,48 | 0,30 | 0,27 | 1,04 | 0,35 |
| 12 | 5,49 | 0,35 | 0,31 | 1,24 | 0,42 |
| 13 | 0,28 | 0,38 | 0,32 | 1,32 | 0,41 |

A Tabela 7 elucida este fato, pois a medida que diminuem as concentrações de nitrogênio amoniacal, aumentam as de nitrogênio na forma de nitrato para as parcelas fertilizadas.

Nas parcelas não fertilizadas, as concentrações de nitrato mantem-se invariavelmente mais elevadas que as de nitrogênio amoniacal.

As altas concentrações 3,01 mg/l (vide Tabela 7) de nitrogênio amoniacal encontradas na água de percolação, são confirmadas por JOHNSTON (1965), que cita valores de até 7,1 mg/l de nitrogênio amoniacal no efluente de drenagem.

4.6. Contribuição da água da chuva

A água da chuva foi coletada e analisada para nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio com o objetivo de avaliar as cargas introduzidas na área por meio desta. As concentrações médias destes nutrientes encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8. Concentração^{1/} e quantidade^{2/} de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio introduzida na área de estudo.

| NH_4^+ | NO_3^- | K | Ca | Mg |
|-----------------|-----------------|------|-------|------|
| 0,27 | 0,12 | 0,08 | 0,6 | 0,04 |
| 19,49 | 8,66 | 5,77 | 43,30 | 2,89 |

^{1/} Concentração em mg/l;

^{2/} Cargas em g/270 m²

Considerando que no período de estudo a precipitação pluviométrica atingiu uma altura total de 267,3 mm e que a área das parcelas é de 270 m² estimou-se o volume das águas da chuva para determinação das cargas introduzidas na área; portanto a partir do volume de água da chuva correspondente a 72,17 m³/270 m² (267,3 mm) e com base nas concentrações obtivemos as respectivas cargas (vide Tabela 8).

Concentrações de até 2,1 mg/l de cálcio ocorreram nas águas da chuva, provavelmente devido a área de estudo estar localizada no meio de indústrias e entre estas algumas de fertilizantes e calcáreo.

As quantidades de nitrogênio introduzido na área pela água da chuva durante o período de estudo corresponde por analogia a utilização de 2,32 kg de uréia.

Com as informações obtidas é possível estimar um balanço das cargas de entrada e saída da área com vistas a estabelecer um manejo adequado da cultura e verificar o grau de eficiência na aplicação de fertilizantes.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Dentro das condições em que foi realizado o experimento e de acôrdo com os dados apresentados, chegamos as seguintes conclusões:

- 1 - Aproximadamente 42% da água precipitada sobre o solo, o riginou lixiviação;
- 2 - As análises de regressão mostram ser o volume de água percolado o principal responsável pelas perdas de nutrientes do solo, pois os coeficientes de correlação (0,88 a 0,94) evidenciam a grande relação existente entre o volume percolado e a quantidade de nutrientes perdida.
- 3 - As perdas de nutrientes do solo por lixiviação deram-se na seguinte ordem decrescente: cálcio > nitrogênio > potássio > magnésio;
- 4 - As perdas de nitrogênio, cálcio, potássio e magnésio foram respectivamente 6,3%; 0,51%; 1,7% e 0,54% do total existente no solo na forma trocável destes nutrientes em parcelas fertilizadas, para um período de 82 dias;

- 5 - As perdas nas parcelas fertilizadas foram significativamente mais elevadas ao nível de 5% para nitrogênio, potássio e magnésio, mas não foram significativas para o cálcio;
- 6 - As perdas de nitrogênio na forma amoniacal ocorridas por lixiviação são consideráveis;
- 7 - O uso de parcelas experimentais drenadas a campo, é um bom método para avaliação das perdas de nutrientes por lixiviação;
- 8 - Recomenda-se adotar formas amoniacais para a adubação de cobertura e evitar, na aplicação os períodos de máximas precipitações;
- 9 - O parcelamento de fertilizações pesadas é recomendado para regiões onde o regime de precipitações é elevado;
- 10- Convém recomendar muita cautela no uso dos resultados obtidos, devido a variação nas condições metereológicas, diferença de solos e diversidade de manejo, sendo praticamente impossível fazer previsões da magnitude de perdas em nutrientes por lixiviação. Para tanto são fornecidas informações detalhadas acerca do clima, tipo de solo e práticas culturais adotadas.

6. BIBLIOGRAFIA CITADA

- ALLISON, F.E.; ROLLER, E.M.; ADAMS, J.E. 1959. *Soil fertility studies in lysimeters containing lakeland sand*. s.l., s. ed. (USDA Technical Bulletin n. 1199).
- ALLISON, F.E. 1965. Evaluation of incoming and outgoing processes that affect soil nitrogen. In: BARTHOLOMEW, W. V. & CLARK, Francis E. *Soil nitrogen*. Madison, Wis., American Society of Agronomy. Chap. 16.
- ALTHOFF, Darci Antonio. 1977. *Levantamentos detalhados de solos, climatologia e hidrologia para diagnosticar e apresentar soluções em áreas com problemas de drenagem*. Porto Alegre, UFRGS. 165f. Diss. (mestr. hidrologia apl.) UFRGS - Curso Pós-Grad. Hidrol. Apl., Porto Alegre, BR-RS, 1977.
- AYRES, A.S. & DOI, M. 1963. *Experiment station Hawaiian Sugar Planters' Association*. s.l., s.ed. p.144-8. (Paper n. 32).
- BOLTON, E.F.; AYLESWORTH, J.W.; HORE, F.R. 1970. Nutrient losses through tile drains under three cropping systems and two fertility levels on a brookston clay soil. *Canadian Journal Soil Science*, Ottawa, 50:275-9.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica. 1973. *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul*. Recife. 431p. (Divisão de Pesquisa Pedológica. Boletim Técnico n.30).
- BREMNER, J.M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, Wis., American Society of Agronomy. p.1179-237. (Agronomy n. 9).
- CASTILLO, Francisco Elias & ORTIZ, Rafael Gimenes. s.d. Precipitación y capacidad de las redes de desagüe. *I.N. de Investigaciones Agronómicas*, 24(50):103-20.
- DIELEMAN, P.J. 1974. Deriving soil hydrological constants from field drainage tests. In: INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT. *Drainage principles and applications*. Wageningen. V.3., chap. 26, p.329-50.

- DREIBELBIS, F.R. 1946. Same plant nutrient losses in gravitational water from monolith lysimeters at Coshocton, Ohio. *Proceedings, Soil Science Society of America*, Madison, Wis., 11:182-8.
- DREIBELBIS, F.R. & MCGUINNESS, J.L. 1957. Plant-nutrient losses in lysimeter percolates. *Agronomy Journal*, Madison, Wis., 49:523-7.
- EPSTEIN, Emanuel. 1975. *Nutrição universal das plantas; princípios e perspectivas*. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos.
- FORSYTHE, W. 1975. *Física de suelos*. San José, IICA. 212p.
- FREITAS, Pedro Luiz de. 1978. *Ensaio de drenagem em planos solos do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, UFRGS. 123f. Diss. (mestr. hidrol. apl.) UFRGS - Curso de Pós-Grad. Hidrol. Apl., Porto Alegre, BR-RS, 1978.
- JOHNSTON, W.R.; DAUM, M.R.; PILLSBURY, A.F. 1965. Nitrogen and phosphorus in tile drainage effluent. *Proceedings Soil Science Society of America*, Madison, Wis., 29:287-9.
- JUO, A.S.R. & BALLAUX, J.C. 1977. Retention and leaching of nutrients in a lined ultisol under cropping. *Soil Science Society American Journal*, Madison, Wis., 41:757-60.
- KESSLER, J. & OOSTERBAAN, R.J. 1974. Determining hydraulic conductivity of soils. In: INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT. *Drainage principles and applications*. Wageningen. v.3, chap. 24, p.253-96.
- KESSLER, J. & RAAD, S.J.de. 1974. Analysing rainfall data. In: INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT. *Drainage principles and applications*. Wageningen. v.3, chap. 18, p.13-52.
- KRAUSE, H.H. 1965. Effect of pH on leaching losses of potassium applied to forest nursery soils. *Proceedings Soil Science Society of America*, Madison, Wis., 29:613-5.
- LUTHIN, James N. 1973. *Drainage engineering*. New York, R. E. Krieger. p.60-72.

- MACKENZIE, A.I. & VIETS, F.G., Jr. 1974. Nutrients and other chemicals in agricultural drainage waters. In: SCHILFGAARDE, Jan Van, ed. *Drainage for agriculture*. Madison, Wis., American Society of Agronomy. chap. 18, p.489-509. (Agronomy, 17).
- MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A.; BOHNEN, H. 1969. *Recomendações de adubo e calcário para os solos e culturas do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Fac. de Agronomia, UFRGS. 9p. (Boletim Técnico, 2).
- MILLAR, Augustin. 1978. *Drenagem de terras agrícolas*. São Paulo, Mc Graw-Hill do Brasil. 276p.
- MORENO, José Alberto. 1961. *Clima do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura. 38p.
- MOTA, Fernando Silveira et alii. 1971. *Zoneamento agroclimático do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. Pelotas, Instituto de Pesquisa Agropecuária do Sul. 2v.
- RANEY, W.A. 1946. The dominant role of nitrogen in leaching losses from soils in humid regions. *Agronomy Journal*, Madison, Wis., 38: 563-6.
- RICHARDS, S.J.; HAGAN, R.M.; McCALLA, T.R. 1952. Soil physical conditions and plant growth. In: SHAW, Byron T., ed. *Soil physical conditions and plant growth*. New York, Academic Press. v.2, p. 303-460. (Agronomy 2).
- SACHET, Zeferino Pedro. 1977. *Consumo de água de duas cultivares de arroz (Oriza sativa, L.) em três tratamentos de irrigação*. Porto Alegre, UFRGS, 96f. Diss. (mestr. hidrol. apl.) UFRGS. Curso Pós-Grad. Hidrol. Apl., Porto Alegre, BR-RS, 1977.
- SCHROEDER, M. 1975. Untersuchungen über die Sickerwasserqualität unter Grünland und Wald auf der Grosslysimeteranlage St. Arnold. s.l., s.ed. Separata de *Forschung und Beratung*. Reihe C. (30):55-68.
- SNEDECOR, George W. & COCHRAN, William G. 1967. *Statistical methods*. G. ed. Ames. Iowa State University. 592p.
- STAUFFER, R.S. 1943. Runoff, percolate and leaching losses from some Illinois soils. *Journal of the American Society of Agronomy*, New York, 35:830-35.

- STAUFFER, R.S. & RUST, R.H. 1954. Leaching losses runoff and percolate from eight Illinois soils. *Agronomy Journal*, Madison, Wis., 46:207-11.
- TERRY, D.L. & McCANTS, C.B. 1968. *The leaching of ions in soils*. s.l., North Carolina. Agr. Experimental Station. (Technical Bulletin n.184).
- _____. 1970. Quantitative prediction of leaching in field soils. *Proceedings. Soil Science Society of America*, Madison, Wis., 34:271-6.
- WIKLANDER, L. 1960. Influence of liming on adsorption of cations in soil. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 7, Madison, Wis., 1960. *Transaction*, p.283-91.
- ZWERMAN, P.J. 1972. Nitrogen and phosphorous content of water from tile drains at two levels of management and fertilization. *Proceedings. Soil Science Society of America*, Madison, Wis., 36:134-7.

7. APÊNDICES

Apêndice 1. Teste de significância entre comparações emparelhadas

| ELEMENTO | GRUPO | MÉDIA | n | t Calculado | $\frac{1}{t.05(12)}$ / $\frac{2}{\text{tabelado}}$ |
|------------|-------------|-------|----|----------------|--|
| NITROGÊNIO | Fertilizada | 5,53 | 13 | 2,57 | 2,18 |
| | N/Fertiliz. | 2,65 | 13 | | |
| POTÁSSIO | Fertilizada | 5,01 | 13 | 2,38 | 2,18 |
| | N/Fertiliz. | 3,55 | 13 | | |
| CÁLCIO | Fertilizada | 16,25 | 13 | .88 | 2,18 |
| | N/Fertiliz. | 14,72 | 13 | | |
| MAGNÉSIO | Fertilizada | 3,85 | 13 | 2,99 | 2,18 |
| | N/Fertiliz. | 2,53 | 13 | | |

1/ Significativo ao nível de 5% com 12 G.L.

2/ $t_t > t_c$ - implica em rejeitar a hipótese de nulidade
hipótese de nulidade = existe diferenças entre os níveis de fertilidade

Apêndice 2. Propriedades físicas do solo

| Trat.: | Profundida de cm | granulometria | | | Classif. textural | densidades | | Porosi dade % | Unid.Gravim. | | <u>1/</u> K m/d | <u>2/</u> V.I. m/d |
|------------------|------------------------|---------------|------------|------------|----------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------|--------------|-----------|-----------------------|--------------------------|
| | | % argila | % silte | % areia | | solo g/cm ³ | partic. g/cm ³ | | 0,3 atm | 15 atm | | |
| TESTEMU NHA | 0,0- 12,5 | 13,9 | 39,4 | 46,7 | franco | 1,68 | 2,62 | 35,9 | 17,3 | 15,2 | | |
| | 12,5- 25,0 | 14,7 | 41,8 | 43,5 | franco | 1,70 | 2,60 | 34,6 | 15,1 | 13,0 | 0,26 | 0,08 |
| | 25,0-120,0 | 15,5 | 41,4 | 43,1 | franco | 1,60 | 2,67 | 40,1 | 15,1 | 14,2 | | |
| DRENO FECHADO | 0,0- 12,5 | 8,8 | 40,7 | 50,5 | franco | 1,60 | 2,60 | 38,5 | 16,1 | 11,7 | | |
| | 12,5- 25,0 | 9,7 | 37,0 | 53,3 | fr. are noso | 1,76 | 2,63 | 33,1 | 13,3 | 9,8 | 0,25 | 0,06 |
| | 25,0-120,0 | 10,6 | 37,2 | 52,2 | franco | 1,81 | 2,61 | 30,7 | 14,8 | 11,2 | | |

1/ Condutividade hidráulica

2/ Velocidade de infiltração