

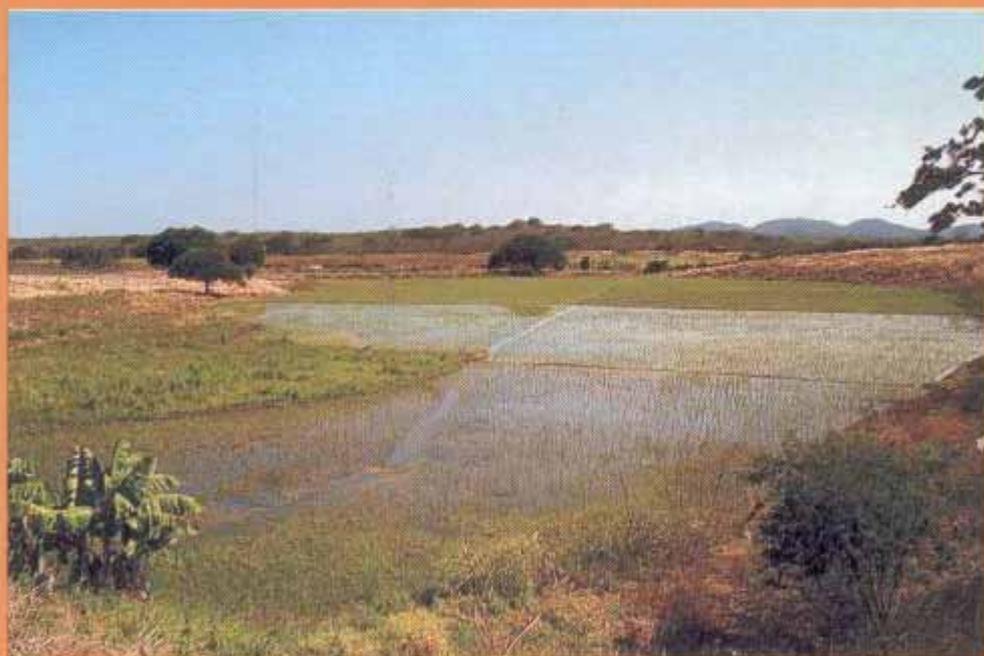
**A.C.D. Antonino**

Professor DEN/UFPE

**P. Audry**

Pesquisador IRD - França

# UTILIZAÇÃO DE ÁGUA NO CULTIVO DE VAZANTE NO SEMI-ÁRIDO DO NORDESTE DO BRASIL



TÓPICOS ESPECIAIS EM RECURSOS HÍDRICOS E TECNOLOGIA AMBIENTAL - N.º 2



Editora  
Universitária  UFPE

Capa: Sérgio Siqueira

A foto na capa apresenta um cultivo de vazante num açude da região do alto Pajeú no Semi-Árido de Pernambuco.

A publicação deste livro foi financiada pelo IRD (ex ORSTOM) Institut de Recherche pour le Développement – Paris - France e pelo projeto REHIDRO/RECOPE/FINEP do Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE – Recife - Brasil.

A.C.D., Antonino – P.Audry – Utilização de água no cultivo de vazante no semi-árido do Nordeste do Brasil – Recife, Ed. da UFPE; IRD Institut de Recherche pour le Développement, França, 2001.

110 p.

1. Recursos hídricos - Técnicas agrícolas

CDU 631

UFPE - 2001

IRD - 2001

*Este livro é dedicado à memória de Michel Rieu, que acreditou nesta pesquisa e possibilitou sua realização.*

## PREFÁCIO

O Valor econômico dos recursos hídricos de uma região semi-árida requer antes de tudo ter a consciência da necessidade de uma gestão integrada desses recursos naturais. Essa gestão assume vários aspectos e envolve conotações diversas: é integrada porque compreende as fases do ciclo hidrológico, inter-relaciona os sistemas hídricos com outros recursos naturais e compreende usos e finalidades múltiplas.

Desde meados do século XIX que a paisagem da região semi-árida do Nordeste vem sendo modificada pela introdução de milhares de pequenos e médios reservatórios de água superficial, denominados “açudes”, construídos pelos fazendeiros, alguns com apoio de órgãos públicos.

Essas obras hidráulicas tinham por finalidade, assegurar uma regularização sazonal, desde que no início da estação chuvosa já se encontravam secos; atendiam às necessidades dos animais e na medida que o açude secava, plantavam-se na vazante culturas denominadas “de Vazante”.

O emprego em larga escala dessa tecnologia levou os autores do trabalho aqui apresentado a desenvolver investigações para a melhoria da produtividade agrícola, estabelecendo regras de manejo dessas culturas. Partindo de estudos em dois açudes, analisou-se o comportamento hídrico e salino do sistema de cultivos de vazante.

O trabalho apresenta um conteúdo técnico-científico de fácil acesso, caracterizado por definições e conceitos técnicos sobre solos e física dos solos, evapotranspiração e balanço hídrico.

As técnicas de estudo e os equipamentos empregados têm sua descrição em anexo, resultando em uma forma de apresentação bastante didática.

Prof. Manoel Sylvio C. Campello  
Dept. Eng. Civil / UFPE

## APRESENTAÇÃO

O Projeto Açudes (Valorização dos Recursos Aquáticos em Açudes do Semi-Árido de Pernambuco, convênio CNPq-UFRPE-UFPE/IRD-França) possibilitou, no seu segmento de pesquisa relativo ao uso agrícola da água dos açudes, o estudo do cultivo de vazante. O trabalho de campo foi realizado de novembro de 1997 a outubro de 1999, em dois açudes do Alto Pajeú - Cajueiro e Flocos - localizados no município de Tuparetama, PE. A pesquisa consistiu em analisar o funcionamento hídrico e salino desse sistema de cultivo, de maneira a obter resultados de alcance geral, a partir de dois casos contrastados.

Este livro apresenta e discute o funcionamento hídrico e salino do sistema de cultivo de vazante, considera e sintetiza fenômenos relevantes da hidráulica, da física e da química dos solos e das águas, que são áreas bastante especializadas. Na tentativa de atingir um público o mais amplo possível, procurou-se utilizar uma linguagem simples. Consciente da impossibilidade de ignorar termos específicos e conceitos básicos dessas áreas, eles foram incluídos como quadros adicionais, limitados ao estritamente indispensável, na cor azul. No final desses quadros são citados livros onde o leitor poderá encontrar mais detalhes sobre o assunto. Espera-se, com isto, ajudar os não especialistas a acompanhar a apresentação e compreender os processos de funcionamento aqui apresentados.

Em anexo, são apresentadas as técnicas de estudo, os equipamentos utilizados, os locais estudados e as instalações de campo.

## AGRADECIMENTOS

- À Prefeitura de Tuparetama, nas pessoas do Prefeito Vitalino Patriota Neto, do vice-prefeito Exedito Marques da Silva e do Secretário de Agricultura Edvan César Pessoa da Silva;
- Ao Rotary de Tuparetama, nas pessoas dos rotarianos Francisco Leite Perrazo, Leônidas Souto Siqueira e José Perrazo Filho;
- A Antonio Marques da Silva, membro da comunidade da Vila do Cajueiro, técnico responsável pela realização das medidas de campo, pela seriedade e grande cuidado na realização das medidas;
- À comunidade da Vila do Cajueiro, em especial a Antonio Ferreira de Oliveira “Cangueiro”, Valdir Rufino e Adão Matias da Silva;
- Às famílias de Antonio, Dodô e Edmilson Lopes, pela disponibilização da área de vazante do açude de Flocos.
- A Pierre Gazin, pesquisador do IRD na área de saúde do Projeto Açudes, pelo seu companheirismo e incentivo para a elaboração deste livro;
- À equipe de pesquisadores que trabalhou no projeto :

---

André Maciel Netto	DEN-UFPE
Carlos A. B. O. Lira	DEN-UFPE
Jaime J. S. P. Cabral	DECIV-UFPE
Suzana M. G. L. Montenegro	DECIV-UFPE
Abelardo A. A. Montenegro	DTR-UFRPE
Vicente de Paulo Silva	DTR-UFRPE
Marc Bouvy	IRD

---

DECIV: Departamento de Engenharia Civil

DTR: Departamento de Tecnologia Rural

- Aos colegas e amigos que ajudaram a melhorar a redação deste livro : Everardo Sampaio, Sylvio Campello, Clovis Hazin, Jaime Cabral, Clemente Carneiro e Carlos Brayner;
- Ao projeto REHIDRO/RECOPE (Rede Cooperativa de Pesquisa em Recursos Hídricos) da FINEPE pelo apoio aos trabalhos de campo.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
LOCAIS ESTUDADOS .....	7
Capítulo 1. ESQUEMA GERAL DE FUNCIONAMENTO DO CULTIVO DE VAZANTE.....	13
1.1. Apresentação do esquema geral de funcionamento.....	13
1.2. Verificação do esquema de funcionamento no campo .....	14
1.3. Conseqüências deste esquema de funcionamento para o cultivo de vazante.....	27
1.4. Funcionamento local e funcionamento global.....	27
Capítulo 2. DINÂMICA DA ÁGUA E DOS SAIS A NÍVEL LOCAL.....	29
2.1. Conhecimentos disponíveis sobre a ascensão capilar e condutividade hidráulica.....	29
2.2. Verificação do efeito da textura do solo sobre a ascensão capilar, em condições de campo.....	30
2.3. Aumento dos riscos de salinização com a eficiência da ascensão capilar.....	32
2.4. A Influência da textura e da estrutura do solo nas condições de plantio e de desenvolvimento do sistema radicular das culturas.....	35
2.5. Conclusões.....	36
Capítulo 3. DINÂMICA DA ÁGUA E DOS SAIS EM NÍVEL GLOBAL...	37
3.1. Considerações gerais.....	37
3.2. Possibilidade de modelo simplificado, baseado em balanço hídrico, no caso de sistema aluvial simples constituindo um condutor perfeito.....	45
3.3. Transferência de água e de sais em sistemas complexos.....	46
Capítulo 4. MANEJO DO CULTIVO DE VAZANTE.....	50
4.1. Regras básicas para definir datas e faixas de plantio.....	51
4.2. Escolha de uma planta adaptada.....	55

4.3. Propostas para otimizar a produtividade em sistema de cultivo de vazante.....	57
Capítulo 5. CONCLUSÕES.....	59
ANEXOS.....	64
Anexo 1. TÉCNICAS DE ESTUDO - EQUIPAMENTOS.....	65
A1.1 Sonda de Nêutrons.....	65
A1.2. Tensiômetro .....	67
A1.3. Medições no aquífero: poços de observação e piezômetros.....	67
A1.4. Amostrador de solução do solo .....	69
Anexo 2. LOCAIS ESTUDADOS E INSTALAÇÕES DE CAMPO.....	71
A2.1. Instalações de apoio para os dois locais estudados.....	71
A2.2. Açude Cajueiro.....	73
A2.3. Açude Flocos.....	82

## RELAÇÃO DOS QUADROS DEFINIÇÕES E EXPLICAÇÕES

1. Algumas definições e conceitos básicos sobre o solo e a Física do Solo.....	4
2. Avaliação da salinidade das águas e dos solos.....	10
3. Representação da umidade do solo na forma de perfil hídrico.....	16
4. Evaporação, evapotranspiração e demanda climática.....	20
5. Topografia dos lençóis: medições e interpretação.....	23
6. Cálculos de balanço hídrico. Discretização. Modelos.....	41
7. Várias maneiras de coletar amostras de águas dos freáticos para medir a salinidade.....	43

## RELAÇÃO DAS TABELAS

1. Valores de ascensão capilar e faixas de condutividade hidráulica para vários padrões de textura do solo.....	29
2. Granulometria do solo em Cajueiro A2.....	31
3. Granulometria do solo em Cajueiro B4.....	31
4. Granulometria do solo em Flocos.....	31

## RELAÇÃO DAS FOTOS

1. Aspectos típicos de uma cultura de vazante, com as suas faixas sucessivas de plantio.....	14
2. Pé de milho jovem murcho e sais precipitados na margem das fissuras.....	34
3. Medidas de umidade com a sonda de nêutrons.....	65
4. Sítio tensiométrico instalado na vazante do açude de Cajueiro.....	67
5. Instalação de um piezômetro na vazante do açude de Flocos.....	68
6. Extrator de solução do solo com casula porosa de aço em operação.....	69
7. Estação meteorológica localizada próximo ao açude Cajueiro.....	71
8. Amostragem volumétrica do solo.....	72
9. Pesagem da amostra.....	73
10. Conjunto de amostras na estufa.....	73
11. Solo arenoso.....	74
12. Solo siltoso.....	74
13. Réguas limnométricas, primeiro trimestre de 1998.....	76
14. Réguas limnométricas pouco antes do açude secar, em agosto de 1998.....	76 79
15. Estação de medição completa.....	80
16. Vista da seqüência instrumentada Cajueiro Norte.....	82
17. Vista geral do açude Flocos.....	85
18. Perfil de solo da vazante, longe do centro do açude.....	86
19. Aspecto superficial do solo fissurado do centro do açude.....	86
20. Perfil de solo fissurado no centro do açude.....	88
21. Parcelas com capim e solo nu na vazante do açude de Flocos.....	

## LISTA DAS FIGURAS

1. Esquema de funcionamento do cultivo de vazante.....	13
2. Topografia da seqüência A estudada em Cajueiro.....	15
3. Evolução da umidade do solo na seqüência A estudada em Cajueiro. Período 02-11-97 a 24-12-97.....	15
4. Chuvas e evolução da profundidade dos lençóis na seqüência A estudada em Cajueiro. Período 02-11-97 a 24-12-97.....	18
5. Evolução conjunta dos níveis do açude e do lençol em Flocos. Período 23-07-98 a 21-09-98.....	25
6. Evolução do declive da superfície piezométrica com a distancia ao limite do açude.....	26
7. Armazenamento de água, na camada superficial do solo (0-40 cm) em função da profundidade do lençol freático.....	32
8. Topografia da seqüência B estudada em Cajueiro.....	33
9. Sistema hidráulico açude-vazante. Perdas de água e fluxos internos.....	38
10. Dependência da superfície aproveitável para o cultivo de vazante em relação ao declive da margem do açude.....	39
11. Sistema hidráulico açude-vazante com condutor perfeito.....	44
12. Sistema hidráulico açude-vazante com condutor complexo.....	44
13. Perfil de salinidade (condutividade elétrica) da solução intersticial, em Flocos.Extração 24-09-98; ponto BA; a 1 metro do limite de inundação.....	47
14. Sistema hidráulico açude-vazante no açude de Flocos.....	48
15. Intervalo de profundidades do lençol permitindo o plantio e largura da faixa de plantio.....	51
16. Curvas de calibração neutrônica para os solos de Cajueiro e Flocos.....	66
17. Levantamento topográfico/batimétrico do açude Cajueiro.....	75
18. Estação de medição completa.....	77
19. Instrumentação da área Cajueiro Norte.....	80

20. Instrumentação da área Cajueiro Sul.....	81
21. Croqui do açude de Flocos.....	83
22. Perfil Topográfico - Localização dos experimentos e das observações em Flocos.....	87

## INTRODUÇÃO

No semi-árido nordestino, as áreas dos vales, baixadas ou baixios, e as áreas planas ou suavemente onduladas que lhes são adjacentes, são as que têm maior potencial de produção agrícola, em função de uma maior disponibilidade hídrica. Para elas convergem as águas das bacias, seja na forma dos riachos intermitentes, do escoamento subterrâneo ou da revência dos açudes. Grande parte delas têm solos não muito rasos (> 1m de profundidade), capazes de acumular água suficiente para suprir as culturas por alguns dias, após a interrupção das chuvas e muitas têm água em lençóis freáticos não muito profundos, no leito dos rios secos e na vazante dos açudes. A disponibilidade destas áreas condicionou o estabelecimento das populações do semi-árido, com exceção dos brejos de altitude. Sua maior ou menor presença determina a produção agrícola dos municípios e o valor de uma propriedade. É nelas que predominam os minifúndios (Sampaio & Salcedo, 1997).

A diferenciação destas áreas é reconhecida pela população local, mas tem sido muito pouco contemplada nos planejamentos municipal, estadual e regional, pelo menos na região Nordeste. Estas áreas não são tratadas como uma categoria diferente de terras para exploração agrícola. Não existe uma preocupação em determinar os módulos mínimos de exploração, no sentido de se estabelecer uma política específica, nem sequer uma avaliação de sua área total e nem a estimativa do potencial agrícola e de produção.

Parte destas áreas é ocupada por milhares de açudes construídos no semi-árido para armazenar água durante a estação de chuvas. Finda esta estação, os açudes vão secando, pela evaporação, e possivelmente pela infiltração e/ou pelo uso da água para os mais diversos fins. À medida que secam, os açudes vão descobrindo áreas nas suas bordas que são chamadas de vazantes e que são largamente usadas para agricultura.

A agricultura de vazante consiste em cultivar nestas bordas ou margens, em declive suave, à medida que a água vai baixando. A cultura

utiliza apenas a água presente no solo para realizar o seu ciclo e produz em plena época de seca. O cultivo de vazante é uma técnica tradicional bastante praticada, mas com características diferenciadas, conforme a região. A forma mais primitiva limita-se a plantar capim (o mais comum é o capim de planta); freqüentemente planta-se também batata doce, cultura particularmente rústica. A forma mais evoluída, como praticada, por exemplo, no Alto Pajeú, associa plantas forrageiras mais produtivas (marreca, marrecão, capim elefante), com culturas mais nobres (milho, feijão, melancia).

O estado de Minas Gerais foi o primeiro a se preocupar, em 1973, em melhor utilizar as baixadas onde se acumula naturalmente a água. Esta experiência mineira foi a origem de um programa nacional, desenvolvido entre 1980 e 1984, chamado Programa Nacional de Aproveitamento Racional de Várzeas - PROVARZEAS NACIONAL (Ministério da Agricultura, 1983). A atuação do programa na região Nordeste foi limitada, e conforme o seu objetivo de desenvolver a irrigação e/ou drenagem em várzeas não incorporadas ao processo produtivo, não contemplou a cultura de vazante. Mas os resultados alcançados são interessantes: 1) no que diz respeito ao aumento de renda, superior a 100%, dos pequenos produtores que incluíram as baixadas no sistema produtivo (proprietários de 3.273 ha de várzeas sistematizadas obtiveram um aumento de renda líquida de 950% em 1978); e 2) na identificação dos parâmetros mais importantes que condicionam o sucesso deste aproveitamento. Dentre tais parâmetros, destacou-se a importância do conforto hídrico nas fases fenológicas sensíveis do desenvolvimento das plantas, (germinação, floração e, menos sensível, a maturação), do excesso de água nessas fases, exceto para o arroz, que é tão prejudicial como a falta, especialmente na fase de germinação, e do uso de cultivares adaptadas às condições locais (Ministério da Agricultura, 1983).

O único trabalho abrangendo o cultivo de vazante no Nordeste encontra-se no Manual do Pequeno Açude (1992), na parte que discute as várias técnicas de aproveitamento da água dos pequenos reservatórios. Esse documento, extremamente interessante, consiste em um estudo

descritivo detalhado do cultivo de vazante tal como praticado (condições de uso, plantas cultivadas, manejo, etc...) mas se restringe a propor critérios de seleção dos açudes onde pode ser praticado o cultivo de vazante, sem realizar uma avaliação desse sistema tradicional.

Existem três maneiras de utilizar a água dos açudes para a produção agrícola: cultura de vazante, irrigação a montante e a irrigação a jusante das barragens. A cultura de vazante é sem dúvida a mais barata, uma vez que não necessita de energia, de equipamentos, nem qualquer outro tipo de insumo. Em relação à irrigação, a disponibilidade de conhecimentos científicos e tecnológicos permitem a sua avaliação econômica, a falta de conhecimento sobre o cultivo de vazante não possibilita uma avaliação das suas potencialidades.

Atualmente, o pequeno produtor encara a irrigação como uma técnica quase milagrosa, sem se dar conta das limitações técnicas e econômicas que existem para o seu uso. As possibilidades de acesso ao crédito criam, às vezes, situações de dívidas excessivas sem o retorno suficiente para cumprir os compromissos financeiros assumidos. Neste contexto, é indispensável saber se o cultivo de vazante pode ser uma alternativa economicamente viável, isto é, avaliar o seu potencial real de produção, incluindo as possibilidades de produzir alimentos que podem ser comercializados e não apenas restritos à subsistência.

Diante desta situação, analisou-se o funcionamento hídrico e salino do sistema de cultivo de vazante, em dois açudes do Alto Pajeú - Cajueiro e Flocos - localizados no município de Tuparetama - PE, de maneira a obter resultados de alcance geral, a partir de dois casos contrastados.

A seguir são apresentadas, após uma descrição rápida dos dois açudes, as conclusões obtidas relativas ao funcionamento hidro-salino do sistema de cultivo de vazante e as conseqüências práticas do seu funcionamento, tentando elaborar normas de manejo para aumentar a produtividade.

### **Algumas definições e conceitos básicos sobre o solo e a Física do solo**

O solo é um meio poroso, no qual a matéria sólida representa cerca de 60 % do volume do solo e os 40 % restantes são vazios ou poros. Esta porosidade permite a circulação da água e do ar da atmosfera, e o armazenamento de uma reserva de água. Isto é de fundamental importância para a agronomia, pois a água, e geralmente uma proporção suficiente de oxigênio, condicionam o desenvolvimento das plantas.

O solo provém da evolução das rochas cristalinas ou sedimentares presentes no local. Os elementos minerais residuais da rocha e os provenientes da transformação desses minerais originais constituem a maior parte do solo. Para fins de estudo, costuma-se dividir o solo em camadas, mais ou menos paralelas à superfície, que se chamam "horizontes". Os horizontes sucessivos constituem o perfil do solo e podem ser vistos abrindo-se um corte no solo, na parede de um buraco ou trincheira. Da superfície para baixo, os horizontes são designados por letras e números (A1, A2,...B1, B2,...C). Este material mineral é associado à matéria orgânica presente na forma de resíduos vegetais e húmus, que são o resultado da transformação desses resíduos, numa proporção que raramente ultrapassa 3 % de peso do solo, na região considerada. Em geral, a proporção de matéria orgânica decresce dos horizontes mais superficiais para os mais profundos.

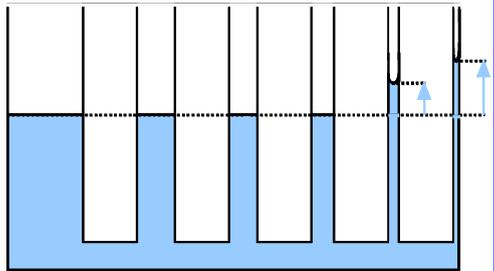
A porosidade tem origem no arranjo dos constituintes do solo e isto se dá de duas maneiras. Os constituintes elementares acima definidos apresentam tamanhos determinados que definem a granulometria do solo (proporções respectivas de areia, silte e argila) e a sua textura (como : arenosa, franco-arenosa, argilosa...). É claro que o empilhamento de grãos de areia deixa poros visíveis a olho nu, enquanto que a porosidade resultante do empilhamento de argilas (partículas com diâmetro inferior a 2 milésimos de milímetro) é microscópica. Mas, freqüentemente, os grãos de constituintes elementares se aglomeram, ligados entre si por argila e/ou matéria orgânica, para formar agregados: isto constitui a estrutura que cria uma rede de porosidade mais grosseira. A natureza mineralógica das diferentes frações também é importante, pois condiciona a reserva mineral que pode contribuir para a liberação de nutrientes e também de sais; a natureza mineralógica da fração argila é especialmente importante, as esmectitas, freqüentemente chamadas argilas de alta atividade, apresentam um poder de fixação química elevado e uma capacidade de expansão e retração, quando se umedecem e ressecam,

provocando fissuras e rachaduras.

Do ponto de vista do funcionamento hídrico, quando a totalidade dos poros está cheia d'água, o solo é dito saturado; é o caso das águas freáticas; raras são as plantas que conseguem desenvolver raízes nessas condições asfíxias e explorar esta água. Quando são realizadas condições para drenar, passa-se a solo não saturado que todas as plantas exploram até se tornar insuficiente a umidade. Nesses processos, os poros de grande dimensão se comportam como tubos de grande diâmetro, permitindo circulação rápida e vazões elevadas. Eles realizam a drenagem da água sob o efeito da gravidade. À medida que o tamanho dos poros funcionais vai diminuindo, a circulação se torna mais lenta porque canos de diâmetros menores têm a vazão diminuída, e se tornam importantes as interações entre solo e água, sendo os mais importantes os fenômenos de capilaridade.

Os fenômenos de capilaridade devem ser examinados pela sua importância no funcionamento da vazante.

A experiência clássica para evidenciar o fenômeno consiste em interligar pela base uma série de tubos de vidro de diâmetros decrescentes, constituindo assim um conjunto de vasos comunicantes, e abastecê-los com água. Constata-se que os níveis da água nos tubos de diâmetros maiores são iguais, como é de se esperar com vasos comunicantes, mas que os níveis nos tubos de diâmetros menores não



obedecem a esta regra, sendo tanto mais elevados quanto mais finos. A física do processo é um pouco complicada, mas deve-se destacar que isto acontece quando o líquido utilizado molha a parede do tubo (tendendo espontaneamente a aumentar a sua superfície de contato), como é o caso da água com o vidro, mas também da água com o solo. Caso o líquido não molhasse a parede, como seria o caso do mercúrio com o vidro, o nível seria mais baixo do que o esperado. No caso considerado, quando vai se drenar o sistema, uma certa quantidade de água vai ficar retida nos capilares menores e é necessário aplicar uma sucção para extraí-la. Em relação à pressão atmosférica, utilizada como referência, a água no nível de equilíbrio está a uma pressão nula; a água abaixo deste nível está à pressão positiva, devido ao peso da coluna de água subjacente e conseqüentemente igual à profundidade abaixo do nível de referência, chamada

de pressão hidrostática; da mesma maneira, a água acima do nível de equilíbrio está a uma pressão negativa, igual à altura acima do nível de referência, chamada de pressão capilar, ou pressão matricial, quando se trata do solo. Esta é a primeira consequência importante para o funcionamento hídrico de um solo: após drenar a água dos poros maiores por gravidade, uma certa quantidade de água fica retida, que as plantas vão extrair por sucção. Mas, a medida que o solo vai se tornando mais seco e os poros funcionais menores, a extração necessita uma sucção maior e chega a um ponto em que a planta não tem mais capacidade para extrair a água restante. Em resumo, a água disponível não corresponde à totalidade da água retida. Conforme o tamanho dos poros, em relação à textura, a capacidade de retenção, o ponto de murchamento e a água disponível aumentam com o teor de silte e de argila.

A segunda consequência, especialmente importante para a vazante, é que, acima de um lençol, a água vai subir espontaneamente, exatamente como descrito na experiência. Este fenômeno chama-se de ascensão capilar e a altura de solo acima do lençol que recebe esta água se chama de franja capilar. Pelos motivos já expostos, a altura da franja capilar é tanto maior quanto maiores os teores de silte e de argila. Entretanto, quando a textura é muito fina (teor de argila muito elevado), os capilares são muito pequenos e conseqüentemente a circulação é muito lenta e a quantidade de água que sobe por unidade de tempo (vazão) é reduzida.

Finalmente, as considerações anteriores conduzem à apresentação do conceito de condutividade hidráulica, que é expressa da mesma maneira que uma permeabilidade, descrevendo a facilidade do solo de transmitir os fluxos de água que intervêm nos processos de infiltração, de drenagem e de qualquer transferência de água. No solo saturado, define-se a condutividade hidráulica saturada. A vazão de água através de um determinado volume de solo saturado é igual à condutividade hidráulica saturada multiplicada pela diferença de pressão entre as seções de entrada e de saída, responsável pela transferência, - a água sempre se move espontaneamente das pressões mais altas em direção às pressões mais baixas, tendendo a distribuir as pressões em situação de equilíbrio - multiplicada pela superfície da seção e dividida pela espessura do volume atravessado. Em solo não saturado, este tipo de relação funcional também se aplica, mas não existe um valor único da condutividade hidráulica: esta decresce muito rapidamente à medida que diminui a umidade e que os poros funcionais se tornam menores, o que complica consideravelmente os cálculos de fluxos.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: Autor, 1995. 497p.

## OS LOCAIS ESTUDADOS

### Açude de Cajueiro

O açude de Cajueiro é um açude comunitário, jovem (a barragem foi construída em 1995) e de tamanho médio, com um espelho de água máximo de 70 ha na cota de sangria. A profundidade máxima perto da barragem é de 7 metros. Está localizado a jusante da vila de Cajueiro, recebendo as águas do riacho do Joaquim e do riacho Santa Rita. A comunidade ribeirinha é constituída de aproximadamente 40 famílias.

O vale que foi barrado possui encostas que são constituídas de solo Bruno não Cálcico, é largo, com aproximadamente 380 metros, e comporta, além do leito principal do riacho Santa Rita, uma rede de braços e depressões, separados por elevações.

Na área do açude, os aluviões são profundos na proximidade do leito do riacho Santa Rita, geralmente com espessura superior a 4 metros, com textura predominante arenosa, às vezes misturada com silte, e apresentam estratificação de detalhe extremamente variável. Afastando-se do leito do rio, a espessura é menor, mas raramente inferior a 2 metros; as elevações são de textura mais arenosa, e as depressões se caracterizam por uma sedimentação fina, com silte e areia fina, e argila nos pontos mais baixos em situação de depressão fechada. Os solos que se desenvolvem neste sistema refletem estritamente as variações texturais da sedimentação. Estruturas prismáticas, com dimensão média da ordem de 20 cm, separadas por uma rede de fissuras se encontram nas depressões fechadas à textura argilosa, às vezes associadas a acumulações salinas superficiais. A topografia deste sistema aluvial é extremamente suave e constitui uma área privilegiada para o cultivo de vazante (veja batimetria do açude Cajueiro em Anexo – A2.2).

Não existem dados hidrológicos sobre o açude, mas ele coleta as águas de uma bacia grande (205 km<sup>2</sup>) e sabe-se que as enchentes são rápidas. Desde a sua construção, em 1995, o açude sangrou uma vez em 1996, e de

dezembro de 1999 até o 15 de março de 2000, já havia sangrado duas vezes. Secou totalmente uma única vez, em agosto de 1998. A salinidade das águas que chegam ao açude é muito baixa, com uma condutividade elétrica da ordem de 100 microsiemens/cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

### **Açude de Flocos**

O açude de Flocos é um açude privado, utilizado para uso doméstico e do rebanho, velho, construído há uma centena de anos, de tamanho pequeno, com espelho máximo de água estimado em 0,8 ha, no qual a profundidade máxima na caixa do açude é de aproximadamente 4 metros. Na área onde está situado o açude, as encostas são constituídas de solo Bruno não Cálculo.

Os solos do açude apresentam o mesmo tipo de perfil: uma camada superficial argilosa de aproximadamente 20 cm de espessura, que corresponde à sedimentação mais recente, logo abaixo uma camada arenosa em contato com a alteração da rocha (micaxisto) que se encontra a uma profundidade da ordem de um metro. Das margens para o centro do açude, existe uma transição progressiva, onde a espessura da camada argilosa aumenta até atingir a espessura de 50 cm na caixa do açude. De maneira semelhante, as características desta camada evoluem. Apesar de possuir teores de argila da mesma ordem, a camada passa de uma rede de fissuras pouco aberta (2 cm) com superfície do terreno plana, a um aspecto vértico típico, apresentando fissuras largamente abertas e microrelevo superficial, com a particularidade que as fissuras ficam abertas abaixo da água. Esta camada superficial apresenta uma salinidade com valores de condutividade elétrica do extrato saturado da ordem de 600 a 800 microsiemens/cm. A espessura do horizonte arenoso subjacente também diminui, mais rapidamente do que aumenta a do horizonte superficial, de tal maneira que a profundidade de rocha ultrapassa ligeiramente um metro na parte a montante e é apenas de 70 cm na caixa do açude.

A topografia é suave e homogênea, e a área disponível para a agricultura é na sua totalidade cultivada com a técnica tradicional de

vazante. A única cultura praticada é o capim (marreca), e, conforme o proprietário, tentativas de cultivo de milho nunca foram bem sucedidas.

Não existem dados hidrológicos sobre o açude, mas a bacia que o alimenta é relativamente grande e escoar de maneira eficiente. Na época do estudo, o açude sangrou várias vezes (a construção recente de um açude a montante provavelmente vai mudar esse regime). Assim, no ano seco de 1988-1989, enquanto o nível do açude de Cajueiro subiu apenas um metro, o de Flocos chegou perto do nível de sangria. O açude secou totalmente em dezembro de 1998 e, conforme informações verbais do proprietário, ele secou aproximadamente 4 vezes nos últimos 22 anos. A salinidade das águas que chegam ao açude é muito baixa, comparável à observada em Cajueiro.

### A salinidade das águas.

#### A sua medição. Os efeitos dos sais sobre as culturas e os solos.

Os problemas de sais podem ser considerados, unicamente, de uma maneira quantitativa, isto é, em termos de salinidade global. Mas, para uma avaliação completa deve-se realizar, também, uma caracterização qualitativa, isto é, levando em consideração a natureza dos sais presentes. Aqui será considerado com bastante detalhe o aspecto quantitativo, complementado por comentários relativos ao aspecto qualitativo.

A medição da salinidade global da água baseia-se no o fato de que uma solução salina conduz mais a corrente elétrica do que a água pura. A solução é menos resistiva, ou pode-se dizer também, que é mais condutora. Basta então realizar uma medição de resistência da solução, o que é uma operação rápida, barata e confiável. Determina-se, assim, a condutividade elétrica (nada a ver com a condutividade hidráulica) da solução, que será convertida em salinidade. Quanto mais elevada a condutividade elétrica, mais condutora a solução e mais alta a salinidade. A condutividade elétrica é expressa em microsiemens/cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e uma condutividade elétrica de 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  corresponde a aproximadamente uma concentração salina ou de sal de 0,67 gramas por litro.

Medições de salinidade das águas são realizadas em águas superficiais (rios, açudes...), em aquíferos, e também em extratos aquosos do solo, quando se deseja avaliar a salinidade do solo. No que diz respeito à possibilidade de uso das águas para a irrigação, conhecer a condutividade elétrica da água é indispensável. A tabela a seguir apresenta as normas de interpretação mais freqüentemente utilizadas.

Condutividade elétrica, em $\mu\text{S}/\text{cm}$	Salinidade	Qualidade para uso em irrigação
inferior a 250	Baixa	uso sem restrição
250 a 750	Média	problemas excepcionais com solos muito pouco permeáveis e plantas muito sensíveis
750 a 2250	alta	necessita manejo adaptado e plantas resistentes
2250 a 5000	muito alta	uso desaconselhado, fora solos extremamente permeáveis e plantas muito resistentes
superior a 5000	excepcionalmente alta	uso quase impossível

A presença de sais na solução do solo afeta o desenvolvimento e a produtividade das culturas contribuindo primeiro para um aumento das condições de estresse hídrico. A ligação entre os sais dissolvidos e a água, expressa como uma pressão, é chamada de pressão osmótica. Ela representa uma energia adicional que a planta deve vencer para extrair a água que precisa. Além deste efeito de estresse hídrico, em concentrações elevadas e conforme as plantas e a natureza dos sais presentes, podem aparecer imobilização de nutrientes e fenômenos de toxidez.

A presença de sais na solução do solo também afeta as propriedades do próprio solo. À medida que a água é evaporada e utilizada pelas plantas a concentração da solução do solo aumenta, podendo precipitar os sais na superfície e no perfil de solo. Neste caso, quando ocorre uma chuva ou irrigação, esses sais acumulados vão se dissolver e se não forem drenados, a solução do solo à disposição das plantas pode se tornar extremamente salina. Porém, basta a ocorrência de chuvas importantes ou a aplicação de irrigações com água não salina para lavar o solo se este for suficientemente permeável e drenado. Concluindo, o processo de salinização não é muito perigoso para o solo, na medida em que ele pode ser recuperado por lavagem.

Mas, além do risco de salinização, existe também, o risco de sodificação do solo. Consiste no fato de que sob o efeito de uma água com alto risco de sodificação, ou mesmo com mal gerenciamento de águas de concentrações elevadas pouco agressivas, o sódio vai se fixar no solo. Esse processo provoca uma grave deterioração do solo: a fixação química em si é dificilmente reversível, necessitando de tratamentos químicos; e a sodificação causa uma diminuição da permeabilidade do solo, tornando a drenagem e conseqüentemente a recuperação do solo ainda mais difícil e onerosa.

Por essas considerações e as relativas a imobilização de nutrientes e aos fenômenos de toxidez, está sendo abordado o aspecto qualitativo da salinidade. As análises para a caracterização da salinidade usam técnicas clássicas da química mineral, que não serão expostas aqui. A interpretação detalhada também é trabalho de especialistas, mas deve-se saber pelo menos que as proporções relativas de sais presentes variam à medida que aumenta a concentração de sais da solução: os sais menos solúveis são os primeiros a atingirem o limite de solubilidade e se precipitam, resultando numa concentração crescente dos sais mais solúveis, sendo o mais freqüentemente os sais de sódio. As águas dos açudes, na região Nordeste, apresentam uma faixa muito ampla de variação de concentração, além de variações sazonal e interanual extremamente diversificadas. Mas, numa determinada região, a natureza dos sais e suas

proporções relativas em relação à concentração são geralmente pouco variáveis; isto foi efetivamente verificado para o Nordeste. Vale salientar que, em geral, na região Nordeste, as águas são pouco agressivas quanto ao risco de sodificação. Porém, foi constatado também que, apesar deste fato positivo, as águas podem provocar a sodificação dos solos quando usadas sem precaução e em solos sem uma drenagem eficiente.

Ayres, R.S. & Westcot, D.W. – **A Qualidade da Água na Agricultura**. Tradução de H.R. Gheyj, J.F. Medeiros, F.A.V. Damasceno. Campina Grande, UFPB, 1991. xxviii, 218p: il, 22 cm (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29 Revisado 1).

Audry, P.; Suassuna, J. **A salinidade das águas disponíveis para a pequena irrigação no sertão nordestino**. Recife: Autor, 1995. 128p.

## Capítulo 1

### ESQUEMA GERAL DE FUNCIONAMENTO DO CULTIVO DE VAZANTE Funcionamento local e funcionamento global

#### 1.1. Apresentação do esquema geral de funcionamento

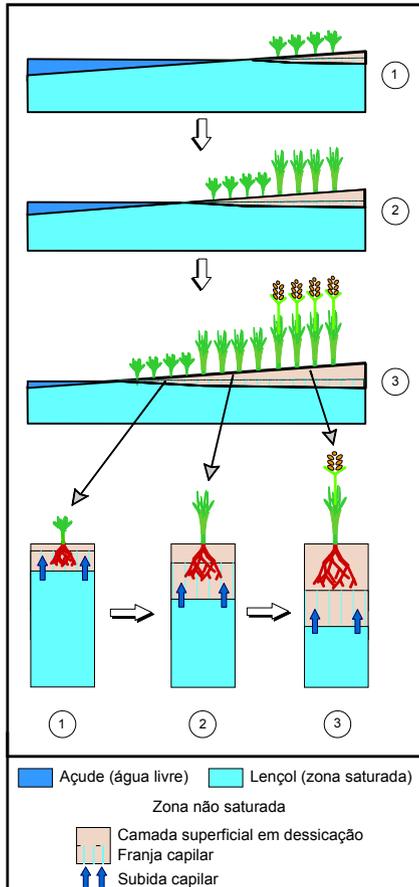


Figura 1. Esquema de funcionamento do cultivo de vazante

As margens do açude apresentam um lençol freático em continuidade ao açude. O nível deste lençol acompanha o do açude à medida que este vai baixando. Nessas condições, a cultura de vazante funciona da seguinte maneira: em uma primeira fase (1 e 2 da figura ao lado), a planta utiliza a água do lençol freático, que alimenta, por ascensão capilar, a zona explorada pelo sistema radicular. Na fase seguinte (3 da figura ao lado), quando o desenvolvimento do sistema radicular não consegue mais acompanhar o rebaixamento do lençol em relação ao açude, a planta utiliza apenas a água armazenada na zona explorada pelo sistema radicular. Ao longo do ciclo da cultura, os sais presentes na água se concentram. Dependendo da salinidade inicial da água do açude e da intensidade dos processos envolvidos, amplia-se o risco de salinização, que pode prejudicar e até anular a produção da cultura.



Foto 1. Aspectos típicos de uma cultura de vazante, com as suas faixas sucessivas de plantio.

## **1.2. Verificação do esquema de funcionamento no campo**

### **1.2.1. Evolução da umidade do solo**

A evolução da umidade do solo com a profundidade e com o tempo, à medida em que se afasta da margem do açude e que se desenvolve a cultura de vazante, foi observada para várias situações, tanto em Cajueiro como em Flocos.

Em seguida, será apresentada, a título de exemplo, a evolução da umidade do solo cultivado com milho e feijão consorciados, na margem do açude de Cajueiro, no período de 2 de novembro a 24 de dezembro de 1997. A umidade do solo foi medida seqüencialmente em três locais distanciados da borda do açude, denominados de seqüência A. A Figura 2 apresenta a topografia da área e a localização dos pontos de medida em relação ao açude. A Figura 3 apresenta a evolução dos perfis hídricos nesses locais em seis datas sucessivas, escalonadas entre 2 de novembro e 24 de dezembro de 1997. A Figura 4 mostra a evolução das

profundidades do lençol freático nesses locais e a precipitação pluviométrica (chuva) para o período.

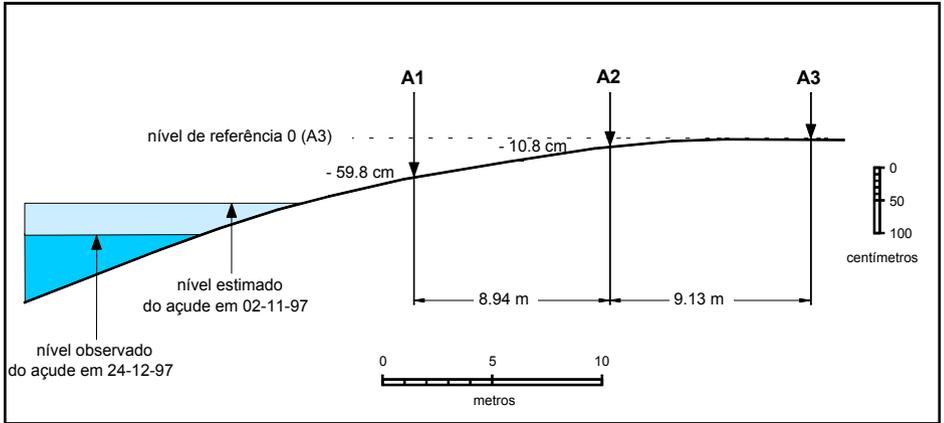


Figura 2. Topografia da seqüência A estudada em Cajueiro. Localização das estações A1, A2, A3.

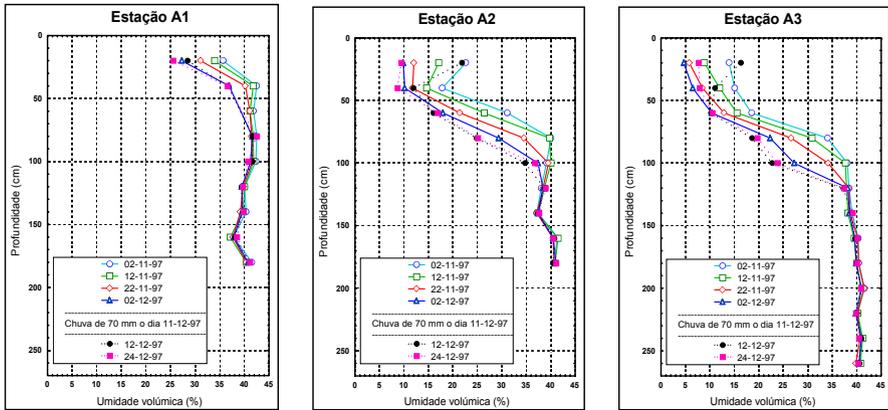
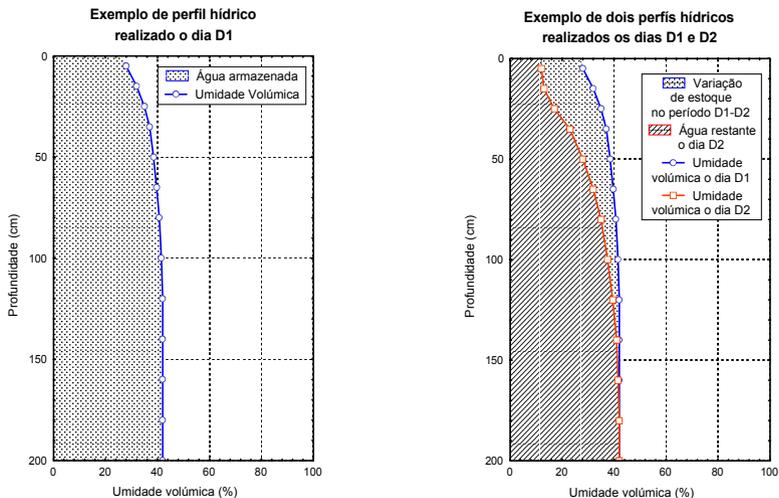


Figura 3. Evolução da umidade do solo na seqüência A estudada em Cajueiro (período 02-11-97 a 24-12-97).

### Representação da umidade do solo na forma de perfil hídrico

Para determinar a quantidade de água armazenada no solo, realizam-se medidas de umidade escalonadas ao longo da profundidade, isto é, é estabelecido um perfil hídrico. A maneira mais freqüente de representar os resultados consiste em fazer um gráfico dos valores de umidade volumétrica em relação à profundidade; esse tipo de gráfico é denominado perfil hídrico.

Nos dois exemplos a seguir é apresentada a maneira de interpretar tais gráficos.



No primeiro gráfico, é apresentado um perfil hídrico realizado no dia D1. A curva mostra a variação da umidade volumétrica com a profundidade; se a saturação é de 42 %, constata-se que o perfil está quase totalmente saturado, exceto na parte superficial parcialmente seca. A superfície pontilhada de azul representa a quantidade de água armazenada no perfil.

O segundo gráfico apresenta, além do perfil hídrico realizado no dia D1, um segundo, realizado após o primeiro, no dia D2, desenhado em vermelho. Constata-se que o secamento foi mais intenso na superfície e progrediu em profundidade. A camada que sofreu secamento atingiu 160 cm. O estoque de água no dia D2 corresponde à superfície tracejada em vermelho, enquanto que a diferença da água armazenada entre os dias D1 e D2, ou seja, a água perdida

durante o período, corresponde à parte pontilhada em azul. A situação descrita aqui corresponde a uma situação típica de um solo de vazante, que recebe água proveniente do lençol freático e perde através da superfície, por evapotranspiração. Mas, deve-se tomar cuidado pois, quando o lençol freático situa-se próximo à superfície, a redução na quantidade de água armazenada no perfil é bem inferior à quantidade de água evapotranspirada, porque grande parte da água evapotranspirada provém do aquífero freático. Comumente, a quantidade de água que é evapotranspirada entre duas datas (por exemplo, D1 e D2), é calculada a partir do balanço hídrico, isto é, a variação na quantidade de água armazenada é igual à quantidade de água que entra menos a quantidade de água que sai de um perfil de solo de determinada espessura. O sentido dos fluxos de água, isto é, se entra ou sai de uma determinada camada de solo, deduz-se das diferenças de pressão responsáveis pelo movimento de água ao longo do perfil (veja quadro adicional nº 1); e é para isto que se usam tensiômetros (veja este tipo de material em anexo – A1.2).

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188p.

No dia 11 de dezembro de 1997 choveu 70 mm, provocando uma subida do lençol da ordem de 25 cm nas três estações (Figura 4). As curvas de evolução das profundidades do lençol ao longo do tempo são praticamente paralelas entre si, e as diferenças das profundidades entre estações correspondem aproximadamente às diferenças de cotas do solo. Isto indica que a superfície do lençol que passa pelos pontos de observação é quase horizontal.

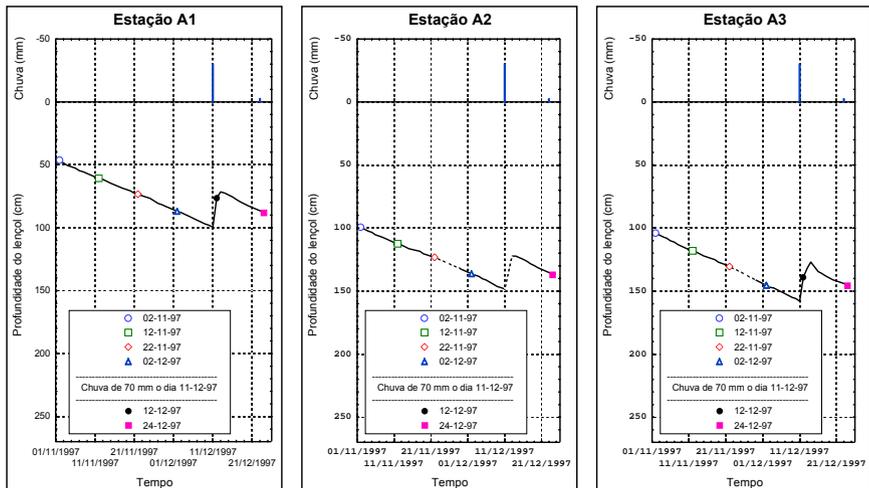


Figura 4. Chuvas e evolução da profundidade dos lençóis na seqüência A estudada em Cajueiro (período 02-11-97 a 24-12-97).

A evolução da umidade do solo antes da chuva (quatro primeiras curvas dos gráficos da Figura 3) mostra nitidamente uma redução progressiva da quantidade de água armazenada no solo. Isto é, o secamento do solo, seja para uma mesma data, à medida em que se afasta da margem do açude, seja para um mesmo local com o tempo. A redução da quantidade de água armazenada decresce com a profundidade, até atingir uma profundidade na qual a umidade não varia. Esta profundidade está localizada a uns 10 a 20 cm acima do nível do lençol, o que expressa o efeito da ascensão capilar.

As diferenças nas quantidades de água armazenada no solo, nos pontos A1, A2, A3, estão diretamente relacionadas à profundidade do lençol, às características físicas do solo e à duração do período de secamento.

No período de 02/11 ao 2/12/97, em 30 dias, a redução na quantidade de água armazenada foi de 60, 95 e 108 mm, respectivamente, para os pontos A1, A2 e A3. Considerando uma evapotranspiração de referência média de 8,0 mm/dia, que é realista para o local e para o período considerado, a evapotranspiração total foi de 240 mm e a quantidade de água proveniente do aquífero freático, por ascensão capilar, para o desenvolvimento da cultura foi de 180, 145 e 132 mm, respectivamente, para os pontos A1, A2 e A3.

### **Evaporação, Evapotranspiração e Demanda climática**

A evaporação é o processo de transferência de água na forma de vapor para a atmosfera. Para que isto ocorra, é necessário o fornecimento de uma certa quantidade de energia. Na natureza, grande parte desta energia é fornecida pela radiação solar. A evaporação da água contida em um solo sem vegetação (solo nu), isto é, o secamento da parte superficial de um solo nu, em condições naturais, passa por três fases: 1) a primeira fase corresponde à evaporação potencial, a partir de um solo úmido, e a evaporação é, então, controlada pelas condições climáticas; 2) a segunda fase refere-se a um estado mais seco na superfície e a taxa de evaporação é, em parte, controlada pelo solo, em função da sua capacidade de conduzir a água das camadas mais profundas para a superfície; 3) a terceira fase diz respeito a um estado muito seco na superfície e o regime de evaporação é controlado pelos mecanismos de transferência de vapor e de adsorção no seio da matriz sólida do solo. A duração destas fases depende das características hidráulicas do solo. A camada superficial do solo, à medida que seca, funciona como uma proteção, *mulch*, que reduz a perda de água por evaporação, sendo tanto mais eficiente quanto mais condutor for o solo.

A evapotranspiração é a quantidade de água perdida para a atmosfera por uma superfície com vegetação, sendo a soma da evaporação da água do solo e/ou da água retida na superfície da vegetação, e da transpiração. A transpiração é a perda de água dos tecidos da planta, principalmente das folhas. As plantas tratam de repor esta perda absorvendo água do solo. À medida que a planta se desenvolve e cobre o solo, a superfície do solo diretamente exposta à evaporação se reduz, diminuindo a importância da evaporação. Cada planta apresenta necessidades específicas de água que variam ao longo do ciclo. Caso a planta encontre condições hídricas que lhe permitam satisfazer totalmente essa demanda, fala-se em evapotranspiração máxima e a produtividade atingida também será máxima. Caso a planta encontre condições hídricas insuficientes que a obriguem a reduzir o consumo em relação à demanda, fala-se em evapotranspiração real, e quando a diferença com relação à evapotranspiração máxima aumenta, a produtividade diminui.

Quando se trata de evaporação ou de evapotranspiração, deve-se abordar o conceito de demanda atmosférica de água. A demanda atmosférica traduz a capacidade da atmosfera de absorver água na forma de vapor e se caracteriza pela umidade do ar, pela radiação solar disponível e pela velocidade do vento. Quanto maior a demanda atmosférica, maior a tendência à evaporação e à

evapotranspiração.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

Após a chuva ocorrida no dia 11 de dezembro, como esperado, houve uma recarga por infiltração de uma certa quantidade de água, como mostram os perfis hídricos no dia 12/12 (Figura 3) para os pontos A1, A2 e A3.

As numerosas situações observadas durante este estudo, tanto em Cajueiro como em Flocos, mostram que a evolução da umidade do solo comprova a validade do esquema geral de funcionamento hídrico apresentado.

### 1.2.2. Alimentação dos aquíferos pelo açude

Em todos os casos estudados, o nível da água do açude se manteve acima do nível do lençol da vazante, o que significa que o açude escoar no lençol.

Em Cajueiro, na seqüência A (Figura 2), o nível da água do açude foi medido regularmente após a chuva de 70 mm ocorrida no dia 11/12/97. O monitoramento das profundidades dos lençóis foi realizado a partir do início de novembro, mas com um sistema pouco preciso. Outra chuva importante, de 101 mm, ocorreu no dia 25/12/97, provocando uma subida de 105 cm no nível de água do açude, alagando a estação A1. Na semana seguinte, várias chuvas ocorreram, perfazendo um total de 30 mm. Enfim, a partir de janeiro, foi feita a colheita sendo o solo mantido sem vegetação (solo nu), com objetivo experimental. Nessas condições, os resultados obtidos foram os seguintes:

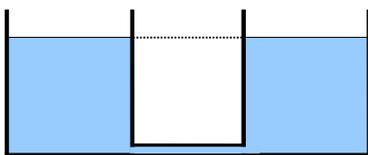
- A superfície piezométrica é quase horizontal. Por insuficiente precisão dos instrumentos, não foi possível medir o gradiente hidráulico do lençol que prolonga a queda do açude no lençol. Este gradiente pequeno concorda com o terreno muito condutor do local.
- O desnível açude-lençol foi de 14 a 15 cm com a presença de cultura na vazante e ficou vizinha de 5 cm com o solo nu. Isto concorda com a evaporação reduzida do solo nu (veja quadro adicional nº 5)

### Topografia dos lençóis: medições e interpretação Equilíbrio estático e equilíbrio dinâmico

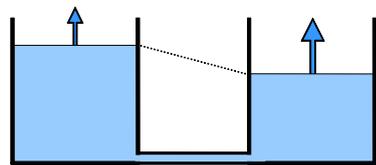
A profundidade do nível freático (ou lençol freático) é obtida através de poços de observação, que são simples canos perfurados instalados a uma profundidade além do lençol freático, para que a água do aquífero penetre neles, como penetra através das manilhas de um poço. Uma vez estabilizado o nível de água no cano, basta medir a profundidade em que se encontra a água.

A partir do monitoramento de uma série de poços de observação, pode-se estabelecer, em determinado momento, um mapa da profundidade do lençol, como se estabelece um mapa topográfico, a partir de uma série de medições da altitude do terreno. Assim se define a superfície piezométrica, conhecido como perfil piezométrico transversal...

A interpretação se faz a partir do declive desta superfície piezométrica, denominado de gradiente hidráulico. De acordo com o exposto no quadro adicional nº 1, a água se move livremente, das pressões mais altas em direção às pressões mais baixas, tendendo a distribuir as pressões, em situação de equilíbrio. Isto significa que dentro de um volume de terreno correspondente a um perfil piezométrico, a água escoa dos pontos altos em direção aos pontos baixos da superfície piezométrica. Quando se conhece a condutividade hidráulica, pode-se calcular os fluxos de água.



Equilíbrio estático



Equilíbrio dinâmico

O problema é que, no campo e com os lençóis, nunca se observam estados de equilíbrio estático, como os realizados em laboratório (como a experiência apresentada no quadro 1 para evidenciar os fenômenos de capilaridade). Geralmente, com os lençóis observam-se apenas retratos instantâneos de situações em evolução contínua e fala-se então de situação de equilíbrio dinâmico. Por exemplo, no nosso caso de lençóis nas margens em continuidade

com a água do açude, a evaporação do açude e a evapotranspiração da vazante, que retiram água, respectivamente, do açude e do lençol, nunca param.

Esta situação é comparável a um sistema de dois vasos comunicantes, ligados por uma mangueira e dos quais seriam retiradas quantidades de água determinadas, mas diferentes. Logo após as retiradas, um desnível aparece entre os dois vasos e, sem outra retirada, uma quantidade de água vai passar do vaso de nível mais alto para o vaso de nível mais baixo, de maneira a restabelecer a igualdade dos níveis. Isto vai ser mais ou menos rápido de acordo com o diâmetro da mangueira e a vazão que ela suporta, ou no caso dos lençóis, conforme a condutividade hidráulica do terreno. Se agora se praticam retiradas a intervalos de tempo regulares, antes dos níveis se tornarem iguais ou, de maneira contínua, o desnível vai aumentar. Porém não vai aumentar indefinidamente, pois à medida que a diferença de pressão cresce, a vazão da transferência aumenta e chega um momento onde esta vazão se torna igual à diferença de vazão das retiradas. Esta é a situação de equilíbrio dinâmico, na qual se mantém uma diferença de nível entre os dois compartimentos.

CRUCIANI, D. E. **A drenagem na agricultura**. 4 ed. São Paulo: Nobel, 1989. 337p.

Em Flocos, o monitoramento foi realizado de 23 de julho até 21 de setembro de 1998, com medições de maior precisão e declives mais importantes. A evolução conjunta dos níveis do açude e do lençol é apresentada na Figura 5.

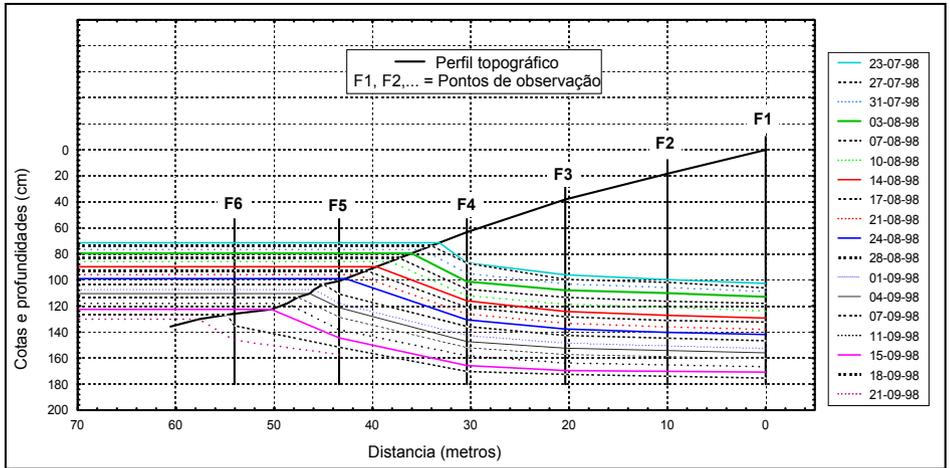


Figura 5. Evolução conjunta dos níveis do açude e do lençol em Flocos (período 23-07-98 a 21-09-98).

Deve-se observar que o declive do lençol é acentuado perto da interface açude-vazante e decresce rapidamente à medida que a distância em relação a esta interface aumenta. Um estudo detalhado desta interface mostrou que, na proximidade imediata, o declive da superfície piezométrica atingiu valores de até 100%. Estes fortes declives observados em Flocos devem-se, principalmente, à reduzida condutividade hidráulica da camada superficial do solo, que é cerca de 100 vezes menor que a condutividade hidráulica na profundidade de 60 cm.

A diminuição do declive da superfície piezométrica com a distância à interface açude-vazante, pode ser vista na Figura 6. Os declives médios foram obtidos para cada intervalo entre piezômetros sucessivos, a partir dos dados apresentados na Figura 5.

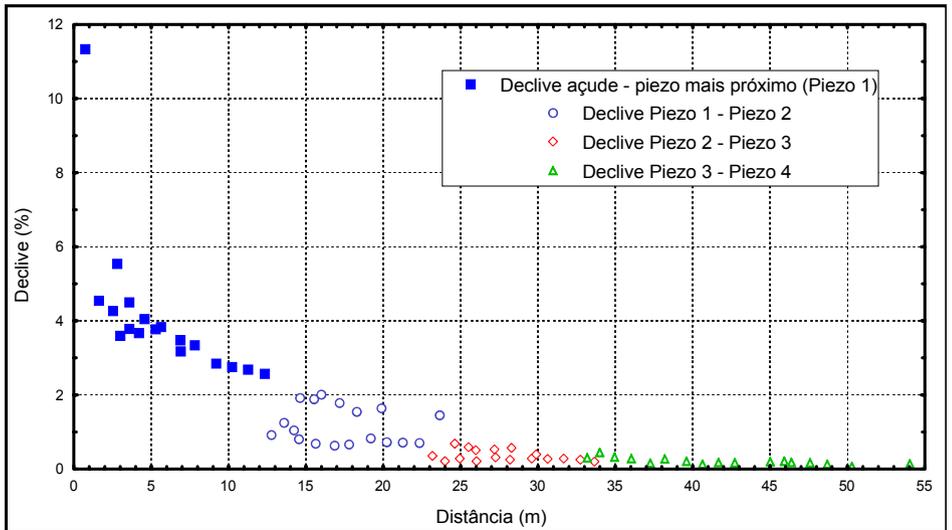


Figura 6. Evolução do declive da superfície piezométrica com a distancia ao limite do açude.

Quando a distância passa de 2 a 20 metros, o declive passa de 5 a 1% e continua diminuindo para atingir valores vizinhos a 0,15%, entre 40 e 50 metros de distância, que corresponde à situação do aquífero perto de secar totalmente. Esses baixos valores de declive encontram-se também na região onde o lençol está inteiramente instalado na parte mais condutora do perfil, e onde o capim marreca já secou e a evaporação é fraca.

Em conclusão, verificou-se que o açude alimenta a vazante. As modalidades dessas transferências podem ser bastante diversificadas e a topografia da superfície piezométrica resultante está relacionada às características de condutividade do terreno e ao consumo de água da vazante.

### **1.3. Conseqüências deste esquema de funcionamento para o cultivo de vazante**

#### 1.3.1. Satisfação das necessidades hídricas e duração do ciclo da cultura

Sendo a produção agrícola diretamente relacionada à satisfação das necessidades hídricas da planta (este aspecto será examinado mais detalhadamente adiante), o primeiro requisito para a cultura de vazante produzir é que a duração do ciclo da planta cultivada seja adaptada às condições de alimentação hídrica do local, definidas pelo regime de rebaixamento do lençol, pela eficiência da ascensão capilar e pelo desenvolvimento do sistema radicular da cultura.

#### 1.3.2. Riscos de salinização

Um outro fator que condiciona a produção da cultura é a concentração de sais na solução do solo. A planta consome água, mas não extrai os sais dissolvidos nela, que ficam no solo e se concentram. Conforme a salinidade inicial da água do lençol e do próprio solo e conforme as modalidades de concentração e a tolerância da planta, a produtividade da cultura pode ser reduzida e até anulada. O primeiro efeito da presença de sais na solução do solo consiste em dificultar a extração da água, pelo aparecimento de uma "pressão osmótica": a água, além de estar ligada ao solo, é ligada aos sais e a planta deve gastar mais energia para extraí-la. O segundo efeito, que aparece em concentrações mais elevadas, consiste nos fenômenos de toxidez, que são mais drásticos.

### **1.4. Funcionamento local e funcionamento global**

No **funcionamento local** considera-se um campo de cultura de superfície reduzida e bastante homogênea, isolado das áreas a montante e a jusante, com as quais existem geralmente transferências, e isolado também do sistema hidrológico global. A taxa de rebaixamento do conjunto açude-

lençol é um parâmetro essencial do funcionamento local, mas não se relaciona com o que a determina.

No **funcionamento global**, considera-se o sistema hidráulico açudevazante como um todo.

## Capítulo 2

### DINÂMICA DA ÁGUA E DOS SAIS A NÍVEL LOCAL Importância da textura e da estrutura do solo

A textura e a estrutura do solo comandam a eficiência da ascensão capilar e condicionam o desenvolvimento do sistema radicular da cultura.

#### 2.1. Conhecimentos disponíveis sobre a ascensão capilar e condutividade hidráulica: Apresentação e discussão.

A tabela a seguir resume os valores de ascensão capilar e as faixas de condutividade hidráulica geralmente aceitas para vários padrões de textura do solo.

Tabela 1. Valores de ascensão capilar e faixas de condutividade hidráulica para vários padrões de textura do solo.

	Dominância de areia (geralmente trata-se de areia grossa)	Forte proporção de silte (geralmente associado a areia fina e argila)	Forte proporção de argila	Proporção excessiva de argila, principalmente de tipo esmectita
Ascensão capilar	Alguns cm com máximo de 10-20 cm	Algumas dezenas de cm, com máximo de 1 metro	Superior a 1 metro, atingindo, freqüentemente, 2 m	Teoricamente grande, mas pouco eficiente devido à condutividade hidráulica insuficiente
Condutividade hidráulica	elevada	regular	baixa	Muito baixa, até praticamente nula. Possibilidade de fissuração e circulações preferenciais

Na realidade, a altura de ascensão capilar máxima não é suficiente para caracterizar a eficiência do processo. Juntamente com a ascensão capilar, deve ser considerada a condutividade hidráulica, de maneira a se poder avaliar a dinâmica do processo. Em relação à textura do solo, a

ascensão capilar e a condutividade hidráulica variam sistematicamente em sentido oposto, existindo o caso típico de solos extremamente argilosos que apresentam uma franja capilar muito alta, mas nos quais a vazão com que ela se estabelece e/ou se mantém é tão lenta que dificilmente vai atender às necessidades das plantas.

## **2.2. Verificação do efeito da textura do solo sobre a ascensão capilar, em condições de campo.**

O processo de ascensão capilar é bastante conhecido, quando se trata de solos de textura homogênea. Mas, raramente é o caso "in situ", menos ainda em sistemas aluviais, onde é mais comum um perfil de solo constituído de horizontes de textura bastante diferenciada. Várias observações levam a pensar que, em termos de dinâmica, tal superposição não se comporta como um simples somatório dos comportamentos de cada estrato considerado separadamente e que, em particular, a franja capilar consegue se manter em um horizonte superficial de textura fina, alimentada por intermédio de estratos subjacentes mais arenosos.

Sob o aspecto da dinâmica da água no solo, para suprir as necessidades hídricas de uma cultura, a espessura da franja capilar define a quantidade de água disponível para a planta e aumenta a profundidade limite do lençol acima do qual a cultura vai sofrer estresse e diminuir a sua produção.

Este aumento do armazenamento de água em relação à textura mais fina do solo foi verificado nos vários locais do estudo, e é mostrado nas Tabelas 2 a 4 na Figura 7.

Tabela 2. Granulometria do solo em Cajueiro A2.

Profundidade cm	Argila %	Silte %	Areia %
5-15	9,3	6,9	83,8
15-25	8,8	5,4	85,8
25-35	6,1	2,7	91,2
35-45	5,0	2,5	92,6
50-70	8,1	4,6	87,3
70-90	6,2	3,5	90,3
90-110	5,7	3,0	91,3

Tabela 3. Granulometria do solo em Cajueiro B4.

Profundidade cm	Argila %	Silte %	Areia %
0-10	16,1	16,8	67,0
10-20	15,7	17,2	67,2
20-30	13,6	11,6	74,8
30-40	15,0	14,1	70,9
40-50	11,7	9,9	78,4
50-60	10,9	9,3	79,8
60-70	12,0	10,9	77,1
70-80	10,6	8,7	80,7
80-90	9,6	7,6	82,9
90-100	8,2	6,8	85,0

Tabela 4. Granulometria do solo em Flocos.

Profundidade cm	Argila %	Silte %	Areia %
5-15	44,1	25,6	30,3
15-25	41,3	20,7	38,0
25-35	15,4	8,4	76,2
35-45	9,1	5,7	85,2
50-70	7,3	2,5	90,2
70-90	9,5	4,6	85,9
90-110	8,5	3,4	88,1

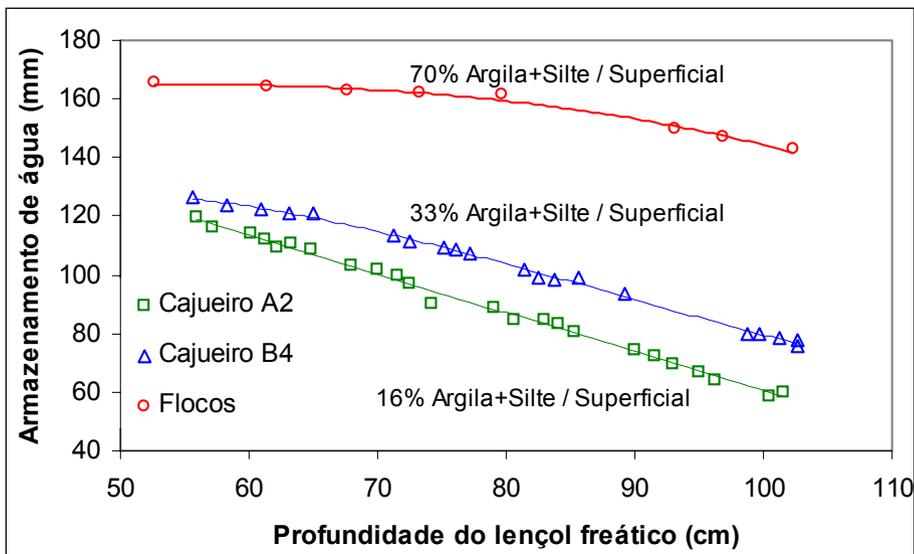


Figura 7. Armazenamento de água na camada de superficial do solo (0-40 cm), em função da profundidade do lençol freático.

### 2.3. Aumento dos riscos de salinização com a eficiência da ascensão capilar.

A concentração da solução do solo aumenta à medida que a água é evaporada e/ou evapotranspirada e, quando a concentração excede a solubilidade de um determinado sal, ocorre a precipitação do sal. Com uma ascensão capilar mais eficiente, os processos de evaporação/evapotranspiração e, conseqüentemente, de concentração da solução, vão se tornar prolongados e os riscos de salinização vão aumentar.

Este aspecto de simples balanço, não é suficiente para avaliar o prejuízo resultante para a planta e, possivelmente, para o solo. A distribuição da concentração no perfil do solo, resultante da retirada da mesma quantidade de água do solo por evaporação direta e por evapotranspiração, será diferente. No caso da evapotranspiração, o aumento da concentração será distribuído na espessura do solo explorada

pele sistema radicular, enquanto que na evaporação direta os processos de concentração se restringem à superfície do solo onde se realiza a vaporização da água, podendo resultar em concentrações locais elevadíssimas e precipitações superficiais de sais.

Os maiores riscos e prejuízos são observados com a evaporação direta e a alta eficiência da ascensão, que vai manter o processo de evaporação restrito à superfície do solo, sem aprofundamento da interface de evaporação. Este processo continua até o lençol atingir uma profundidade igual à espessura da franja capilar e corresponde ao período de plantio e de crescimento, quando as plantas jovens são mais sensíveis e mais frágeis.

Tal fato foi observado no solo de textura fina próximo à estação B4, localizada na área Cajueiro Sul. A situação topográfica é mostrada na Figura 8 e o resultado sobre um pé de milho jovem é mostrado na Foto 2.

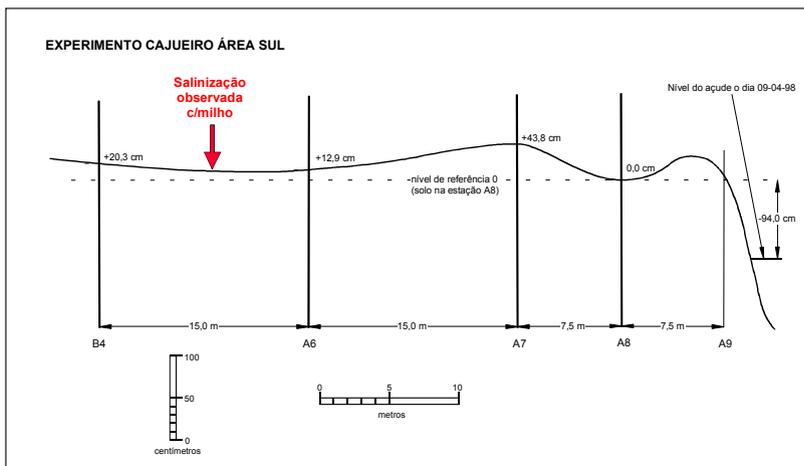


Figura 8. Topografia da seqüência B estudada em Cajueiro (área Cajueiro Sul).



Foto 2. Pé de milho jovem murcho e sais precipitados na margem das fissuras.

Comentários sobre a Foto 2 :

- Uma pequena diferença topográfica pode ser suficiente quando acompanhada de uma sensível variação de textura dos sedimentos.
- Vale salientar que o processo de salinização inteiramente superficial pode ser extremamente eficiente. Enquanto o sal acumulava-se e precipitava-se na superfície, a salinidade da água do açude, na época, ficava apenas entre 500 e 550  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

## **2.4. A Influência da textura e da estrutura do solo nas condições de plantio e de desenvolvimento do sistema radicular das culturas.**

A textura e a estrutura do solo intervêm de duas maneiras no desenvolvimento do sistema radicular das culturas:

- através das características mecânicas dos horizontes a serem penetrados;
- através da condição de aeração do meio.

Quando o teor de frações finas é grande, o meio se torna mais difícil de penetrar mecanicamente e é menos aerado. Esta característica de aeração é particularmente importante para as fases de plantio e de germinação das culturas. Algumas plantas, tais como o capim marreca ou a batata doce, são particularmente rústicas deste ponto de vista, mas a maioria das culturas, como o milho e o feijão, exige um meio bem aerado para se instalar.

Em solos argilosos, apenas plantas rústicas vão aproveitar as condições hídricas favoráveis proporcionadas pela eficiência da ascensão capilar. Caso contrário, estas condições hídricas favoráveis vão ser totalmente ou parcialmente perdidas. A planta vai necessitar de um rebaixamento sensível do lençol para escapar da condição sem aeração, o que corresponde a não utilizar uma proporção importante da duração de ciclo potencialmente aproveitável. Além do mais, durante este período de espera, existem condições de evaporação superficial e concentração salina superficial. Com exceção de águas do aquífero excepcionalmente pouco salinizadas, o acúmulo crescente de sais superficiais reduz, a cada dia, as possibilidades de êxito de qualquer semeadura ou repicagem, sendo toda planta mais sensível aos sais nestes estágios iniciais.

## 2.5. Conclusões.

A ascensão capilar constitui-se em uma irrigação subterrânea livre de custos. A eficiência do processo de ascensão capilar está diretamente relacionada com os teores de argila e de silte.

Nos casos de textura mais favorável ao armazenamento de água, os riscos de salinização superficial são maiores, e mais desfavoráveis são as condições de aeração para as plantas explorarem esta água disponível. Nessas condições, deve-se escolher a planta e encontrar o manejo que assegurem o melhor resultado.

## Capítulo 3

### DINÂMICA DA ÁGUA E DOS SAIS EM NÍVEL GLOBAL

#### 3.1. Considerações gerais.

Para realizar uma abordagem global, o sistema hidráulico do açude e da vazante devem ser considerados como um único sistema. De um ponto de vista quantitativo, o recurso hídrico sendo único e limitado, todas as retiradas de água devem ser consideradas, quando se realiza o balanço do sistema açude-vazante.

Além deste aspecto de balanço, deve ser considerada a maneira como se realizam as transferências entre o açude e a vazante e a qualidade do condutor no qual o lençol se movimenta. Enfim, além dos componentes do balanço de água, devem ser consideradas as concentrações salinas e as transferências de sais.

##### 3.1.1. Os componentes do balanço hídrico.

A Figura 9, representa os consumos, as perdas e os fluxos de água que intervêm neste sistema. Na Figura não se observa nenhuma perda por infiltração ou vazamento. Sobre o assunto, poderão ser encontradas no Manual do Pequeno Açude (1992) todas as dicas para avaliar a presença de vazamentos em pequenos açudes.

Dois componentes desse balanço estão diretamente relacionados com a demanda climática de evaporação e a superfície evaporante: a evaporação do açude e a evapotranspiração da vazante.

As outras retiradas de água, tanto do açude como do lençol, correspondem ao consumo humano e caseiro, ao consumo dos animais, e ao uso agrícola da água, que pode variar muito, conforme a necessidade de

se regar algumas hortaliças no fundo do quintal ou irrigar alguns hectares de culturas.

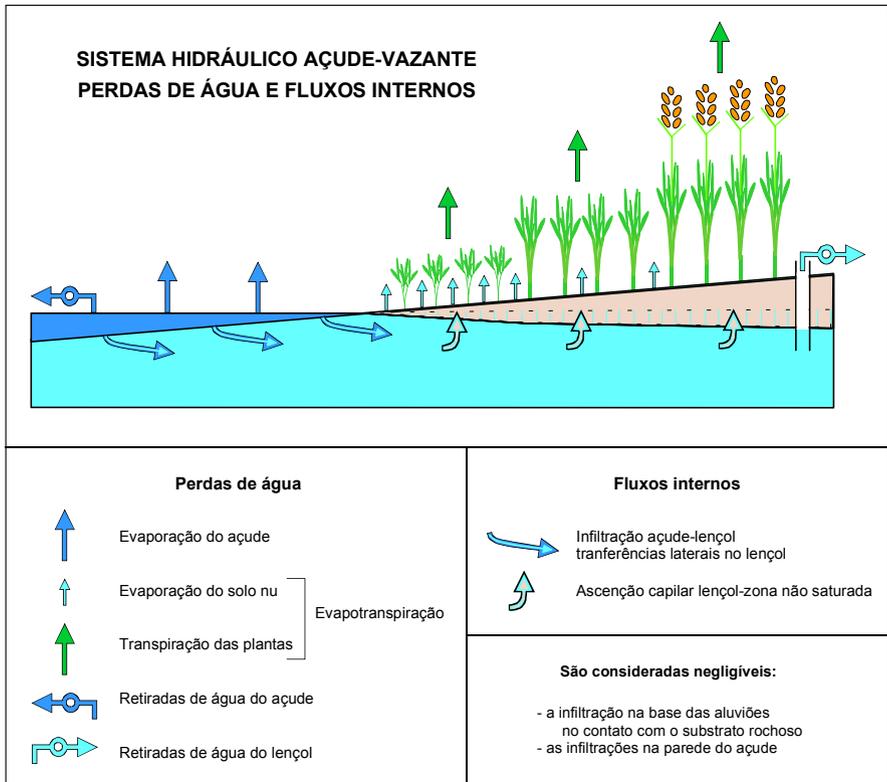


Figura 9. Sistema hidráulico açude-vazante. Perdas de água e fluxos internos.

No que diz respeito à superfície da vazante, a Figura 10 mostra que, para um determinado rebaixamento do açude  $\Delta H$ , a superfície total que pode ser utilizada para o cultivo de vazante é inversamente proporcional ao declive da margem do açude. Entretanto, a zona de terreno em plena atividade evapotranspiratória, num determinado momento, é limitada a uma faixa, entre uma profundidade de lençol abaixo e acima da qual as plantas não vão sobreviver. A consequência desta situação é que, em um determinado momento, a superfície da vazante ativa é relativamente reduzida e apenas em condições muito específicas a proporção relativa da vazante pode se tornar importante como, por exemplo, na fase de esgotamento final do açude.

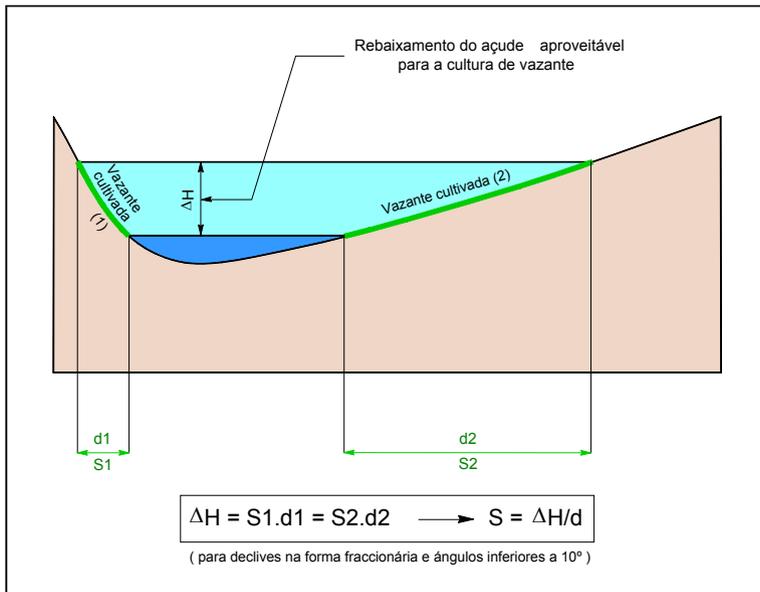


Figura 10. Dependência da superfície aproveitável para o cultivo de vazante em relação ao declive da margem do açude.

Pode-se calcular o rebaixamento  $\Delta H$  do açude, simplesmente escrevendo que este rebaixamento corresponde à soma de todas as retiradas, seja:

$$\Delta H * SA = RetirTot + E*SA + ETP*SV$$

ou

$$\Delta H = \text{RetirTot}/SA + (E*SA + \text{ETP}*SV)/SA$$

onde:

- RetirTot = total dos volumes de água retirados do açude e do aquífero,
- E = evaporação média do açude por unidade de superfície durante o período considerado,
- SA = superfície média do açude durante o período considerado,
- ETP = evapotranspiração média da vazante por unidade de superfície durante o período considerado,
- SV = superfície média da vazante ativa durante o período considerado,

O termo RetirTot representa a influência de todos os usos, agrícolas ou não, excluindo o efeito da evaporação no reservatório e da evapotranspiração da cultura na vazante.

Esta formulação tem várias conseqüências:

- qualquer aumento do termo das retiradas vai provocar um maior rebaixamento durante um período considerado, o que significa, na prática, a necessidade de escolher uma planta de ciclo mais curto para a o cultivo de vazante.
- a participação da vazante no rebaixamento do açude é limitada ao produto  $\text{ETP}*SV/SA$  que é sempre pequeno
- com cultivo de vazante ou sem cultivo de vazante, a margem do açude recém-descoberta vai de qualquer maneira ser uma faixa de vegetação com uma evapotranspiração próxima da potencial até a profundidade do lençol não permitir mais. A Substituição da vegetação natural por um cultivo de vazante, vai aumentar apenas um pouco o consumo global de água. No entanto, poderá trazer um retorno econômico substancial.

### **Cálculos de balanço hídrico. Discretização. Modelos.**

Os cálculos de balanço, realizados acima, utilizaram valores médios, tanto para os parâmetros climáticos (evaporação, evapotranspiração) como para as superfícies nas quais se aplicam. No entanto, os parâmetros climáticos apresentam variações ao longo do tempo, enquanto a superfície do açude vai diminuindo, à medida que ocorre a evaporação. A consequência é que tal tipo de cálculo com valor médio deve ser aplicado apenas a pequenos intervalos de tempo, antes de repetido com valores dos parâmetros atualizados. Frequentemente, além das variações temporais, também se pretende somar efeitos de processos, que se combinam de maneira complicada no espaço e cujos efeitos elementares apenas podem ser calculados em segmentos de espaço suficientemente pequenos para que os parâmetros que intervêm possam ser aproximados por valores médios, nesta escala.

Reduzir, assim, os intervalos, seja de tempo seja de espaço, para considerar como constantes os parâmetros que variam continuamente, corresponde a discretizar as variáveis. É uma técnica que se usa muito frequentemente, cada vez que se trata de integrar cálculos de balanço e de transferências em sistemas mais avançados, chamados de modelos.

PREVEDELLO, C. L. Física do solo com problemas de física resolvido. Curitiba: SAEAFS, 1996. 446p.

### 3.1.2. Dinâmica e balanço dos sais.

A dinâmica dos sais em nível global tem um comportamento extremamente simples: à medida que se afasta da margem do açude, o lençol acumula o efeito de uma concentração durante mais tempo. No entanto, técnicas de modelagem mais avançadas são necessárias para calcular um balanço de sais que, ao longo da vertente, leva em consideração as variações de condutividade hidráulica que diferencia localmente as transferências e regula as acumulações ao longo do tempo e do espaço.

Tanto em Cajueiro como em Flocos, o acompanhamento da salinidade global das soluções nos piezômetros (poços de observação) permitiu evidenciar a progressão da salinização com o tempo. Em Flocos, o estudo mais detalhado das transferências foi inteiramente realizado utilizando a extração de solução através de uma cápsula porosa de aço.

### **Várias maneiras de coletar amostras de águas dos freáticos para medir a salinidade**

A maneira mais comum de medir a evolução da salinidade de um aquífero, provavelmente consiste em coletar amostras de água na parte superior da coluna de água que se encontra nos piezômetros utilizados para monitorar a evolução da superfície piezométrica. Infelizmente, tal amostra integra o efeito do tempo e do espaço da maneira mais global. Este tipo de amostragem, destina-se a estudos de balanço em pequena escala, sendo excluída a possibilidade de analisar a dinâmica em detalhe, completamente apagada no somatório realizado em campo.

Outra técnica bem mais refinada consiste em utilizar piezômetros vedados que selecionam estritamente um determinado estrato de captação. É recomendado que se tome a precaução de secar os piezômetros antes de deixar reequilibrar com o lençol para realizar a amostragem.

Enfim, a extração de solução através de cápsulas porosas de porcelana ou de aço, nas quais se exerça uma sucção, representa a técnica mais confiável e mais adaptada para análises dinâmicas em escala detalhada.

CRUCIANI, D. E. **A drenagem na agricultura**. 4 ed. São Paulo: Nobel, 1989. 337p.

### 3.1.3. O condutor realizando a comunicação entre açude e vazante.

O açude e a sua vazante podem ser considerados como um sistema de dois vasos comunicantes. O que se pretende mostrar agora é a importância da estrutura do condutor através do qual se realizam as transferências, como se observou no açude de Flocos.

Assim vão ser considerados, sucessivamente, o caso de um condutor perfeito e o caso de um condutor complexo.

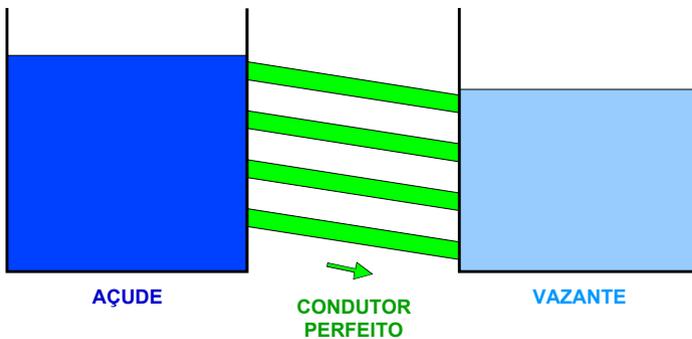


Figura 11. Sistema hidráulico açude-vazante com condutor perfeito

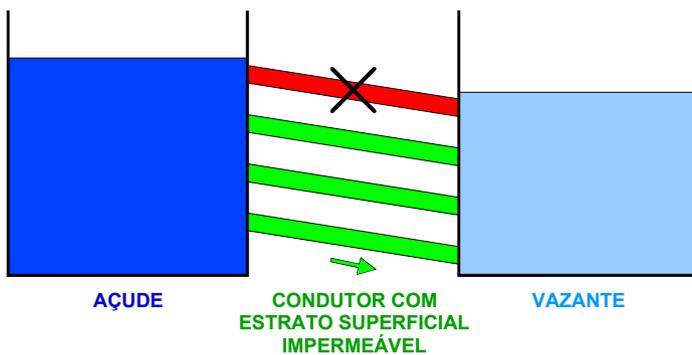


Figura 12. Sistema hidráulico açude-vazante com condutor complexo

### **3.2. Possibilidade de modelo simplificado, baseado em balanço hídrico, no caso de sistema aluvial simples constituindo um condutor perfeito.**

Um modelo simplificado, baseado em balanço hídrico, é de fácil desenvolvimento e permite avaliar situações existentes e simular cenários no auxílio a tomadas de decisão. Porém, este tipo de modelo simplificado é limitado em relação às condições de aplicação e às possibilidades de simulação.

·**Condições de aplicação.** A hipótese de base, que deve absolutamente ser respeitada, é que o condutor poroso entre o açude e a vazante, realize uma transmissão direta e rápida dos fluxos correspondentes à demanda do compartimento vazante. Isto é realizado em um sistema aluvial predominantemente arenoso, como Cajueiro, que também é um açude jovem.

·**Limites das possibilidades de simulação.** Tal modelo não pode ser utilizado para simular o risco de salinização. Se as áreas de depressões ou baixadas com riscos de salinização forem pouco numerosas, elas poderão ser tratadas caso a caso na base de uma abordagem tradicional. Quando as condições acima relacionadas não forem atendidas, a análise dos processos envolvidos deve ser realizada utilizando um modelo tridimensional de transferências acopladas de água e de sais, obrigatoriamente sofisticado e exigente em dados de entrada.

### **3.3. Transferência de água e de sais em sistemas complexos.**

#### **3.3.1. O caso do açude de Flocos.**

O açude de Flocos corresponde a um caso complexo, exatamente igual ao esquema da Figura 12: o condutor que realiza as transferências comporta um estrato superficial fortemente argilo-siltoso e muito pouco permeável. O açude, construído há uma centena de anos, é pequeno (inferior a 1 ha), reage rapidamente às chuvas que caem na bacia e o seu dimensionamento é tal que sangra, pelo menos uma vez (e freqüentemente mais) em ano normal. As águas que chegam ao açude apresentam uma salinidade baixa, com condutividade elétrica inferior a 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Nessas condições, seria esperado que os poucos sais precipitados anualmente se dissolvessem novamente a cada enchente e fossem eliminados do açude a cada sangria. Ao invés disso, observa-se uma salinização dos solos no horizonte superficial de textura mais fina. Os sais acumulados, normalmente quando a vazante evapotranspira, não são lixiviados – ou muito parcialmente - pelas águas novas que chegam no açude. A Figura 13 mostra o perfil da condutividade elétrica da solução intersticial extraída em campo utilizando-se cápsula porosa. Este tipo de perfil foi observado inúmeras vezes, abaixo das águas do açude e na vizinhança do limite de inundação, tanto em posição alagada como em posição “ex-alagada”.

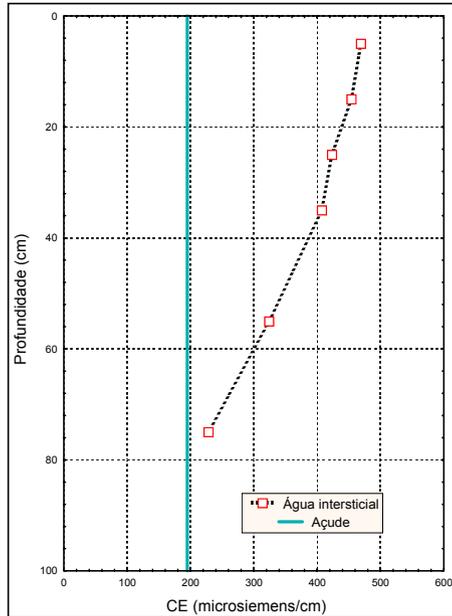


Figura 13. Perfil de salinidade (condutividade elétrica) da solução intersticial, em Flocos. Extração 24-09-98; ponto BA; a 1 metro do limite de inundação.

Este tipo de perfil comprova a ausência de lixiviação dos sais acumulados e deixa claro que as águas do açude encontradas na faixa de 80 cm de profundidade vão contribuir para a acumulação superficial de sais pela combinação da ascensão capilar e da evapotranspiração.

Para este esquema de funcionamento hidráulico ser totalmente consistente, era necessário saber como se infiltram as águas do açude na zona mais profunda e mais condutora do solo, onde circula o lençol. A explicação foi dada graças à estiagem excepcional do ano 1998; na fase final em que secou o açude, foi observada, na parte central próxima à parede do açude, uma zona de infiltração preferencial formada por uma rede de rachaduras que permaneceram abertas mesmo abaixo da água.

Nessas condições, o esquema de funcionamento geral apresentado pela Figura 9, pode ser adaptado para o açude de Flocos, tal como mostrado na Figura 14.

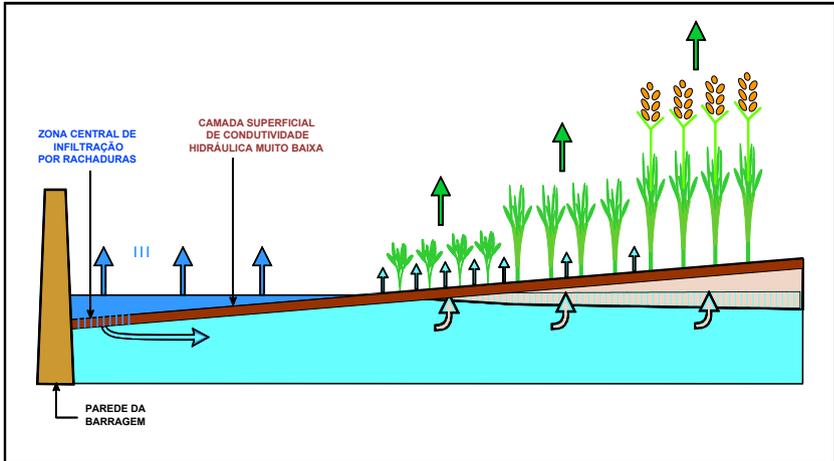


Figura 14. Sistema hidráulico açude-vazante no açude de Flocos.

### 3.3.2. Funcionamento hidro-salino em sistema complexo - Conclusões.

O funcionamento hidro-salino do açude de Flocos leva a duas conclusões :

- Uma variação no perfil textural, que poderia ser considerada um detalhe, modifica totalmente o esquema de circulação hídrica e a dinâmica dos sais. Isto significa que diante de uma situação de condutor complexo, não se deve tomar uma decisão de exploração do sistema, sem uma análise prévia do seu funcionamento.
- Este tipo de diferenciação textural mais fina superficialmente é o que freqüentemente se observa devido ao assoreamento nos reservatórios. É bom não esquecer que Flocos é um açude velho, de uma centena de anos, e, sem querer generalizar sistematicamente a

evolução aí observada, deve-se considerar que há uma diferenciação possível, que diminui as circulações hídricas e provoca a acumulação de sais, apesar das condições iniciais que não deixam prever nenhum risco de salinização.

Da mesma maneira que não se pode generalizar a presença de solos cujas fissuras permanecem abertas mesmo quando estes estão submersos, como o que foi observado na caixa do açude de Flocos. A seca de 1998 possibilitou a constatação de solos com o mesmo comportamento em outros açudes.

## Capítulo 4

### MANEJO DO CULTIVO DE VAZANTE

Neste capítulo, o manejo é considerado na base do funcionamento local, isto é, ao nível de um campo de cultura localizado sobre uma vertente homogênea.

Os pontos seguintes vão ser sucessivamente considerados:

- As bases que permitem definir os parâmetros do campo, como largura das faixas de plantio e turno de plantio, que proporcionam o melhor uso da água para uma planta determinada em um local determinado. Uma proposta de cenário de parceria entre agricultor e técnico agrícola é sugerida, o que permite ao mesmo tempo, difundir essas regras e detalhar o manejo,
- Técnicas para determinar uma duração do ciclo vegetal adaptado, considerado como parâmetro mais importante para escolher as plantas susceptíveis de serem cultivadas. Outros fatores intervindo nesta escolha.
- Propostas mais abertas e mais diversificadas para otimizar o uso da água no cultivo de vazante e aumentar a produtividade.

Considerar o manejo do cultivo de vazante a nível do funcionamento local não significa que os parâmetros regulados pelo funcionamento hidráulico geral sejam desprezados. Assim, o parâmetro mais importante para basear o manejo da vazante é o regime de rebaixamento do açude. que integra justamente as características hidrológicas do sistema e todas as formas de uso atual da água.

#### 4.1. Regras básicas para definir datas e faixas de plantio.

##### 4.1.1. Largura das faixas de plantio.

O agricultor que tem experiência no cultivo de vazante seleciona culturas e locais adequados. Da mesma maneira, ele espera o açude chegar a um determinado nível para plantar e adapta a largura da faixa de plantio ao declive do terreno.

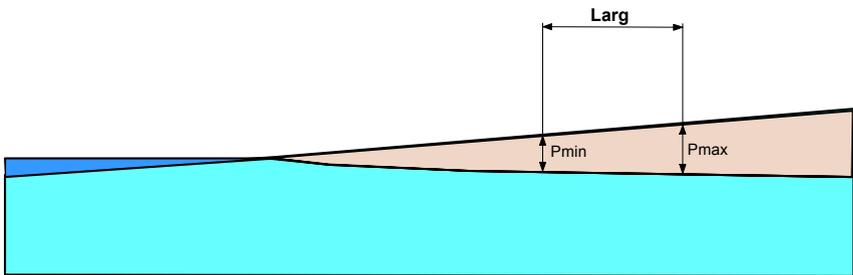


Figura 15. Intervalo de profundidades do lençol permitindo o plantio e largura da faixa de plantio.

Na realidade, ele aplica o conceito que para uma determinada combinação solo-planta, o plantio ou a semeadura terá êxito dentro de uma faixa de profundidade de lençol  $P_{min}$  -  $P_{max}$ , como representado na Figura 15. Abaixo de  $P_{min}$ , a planta será prejudicada pelo excesso de umidade e acima de  $P_{max}$  pela falta de umidade. Denominando  $D_{solo}$  a declividade do terreno e  $D_{lenc}$  a do lençol (expressos em % e em valor absoluto), a **largura da faixa de plantio** atendendo as necessidades da planta será:

$$Larg = (P_{max} - P_{min}) / (D_{sol} + D_{lenc}).$$

O manejo racional do cultivo de vazante necessita do respeito a essa regra e o refinamento dos critérios. Ora, no momento não existem dados disponíveis, senão extremamente gerais, sobre as exigências das plantas em relação a profundidade do lençol, nos vários tipos de terreno. As únicas

informações disponíveis a esse respeito encontram-se, na realidade, na soma de observações de alguns agricultores e de alguns técnicos.

A proposta é que, aproveitando no início a experiência do agricultor, o técnico agrícola chegue a valores mais precisos e mais seguros de Pmin e Pmax por categoria de solo e cultivares de plantas disponíveis. Isto necessita trabalho de campo, em particular observações do solo, e medição de níveis efetivos de profundidade do lençol, que podem perfeitamente ser realizadas em parceria entre o agricultor e o técnico agrícola.

À medida que esses parâmetros vão sendo coletados, o agricultor vai sendo informado de como utilizá-los. A maneira mais simples, uma vez identificado o solo e a planta que vai ser cultivada, é ensinar-lhe a medir a profundidade do lençol freático no campo, que é uma operação fácil e de custo quase nulo.

#### 4.1.2. Turno de plantio e planejamento local.

Uma vez de posse dos parâmetros Pmin, Pmax e a profundidade do lençol, o técnico, dispondo e/ou coletando dados complementares, terá em mãos todos os elementos para realizar um planejamento local em um meio homogêneo. Esses dados complementares referem-se: a topografia do local, ao declive da superfície piezométrica e ao regime de rebaixamento do conjunto açude-lençol.

Para simplificar a exposição, vamos considerar que a taxa de rebaixamento do conjunto açude-lençol, Rd, expresso em mm/dia, é constante, e que o declive do terreno Dsol é uniforme. Enfim, denominaremos **ΔH o rebaixamento total do reservatório que se pretende aproveitar**, conforme os dados de hidrologia.

Com esses dados, além da **largura da faixa** de plantio dada por:

$$\text{Larg} = (P_{\text{max}} - P_{\text{min}}) / (D_{\text{sol}} + D_{\text{lenc}}),$$

Calcula-se o **turno de plantio** por:

$$\text{Turn} = (\text{Pmax}-\text{Pmin})/\text{Rd}$$

Calcula-se o **número de plantios** (número de faixas plantadas) por:

$$\text{NP} = \Delta\text{H} / (\text{Pmax}-\text{Pmin})$$

Calcula-se a **superfície total plantada** por unidade de comprimento de margem do açude no local, chamada de Compr:

$$\text{S} = \text{NP} * \text{Larg} * \text{Compr}$$

A seguir é apresentado um exemplo de cálculo. Os cálculos foram feitos para várias faixas de declive do terreno, pois este fator é de maior sensibilidade para definir a superfície cultivável na vazante e a largura das faixas de plantio.

#### Dados Açude/Lençóis

$\Delta H$	Rebaix diário	Duração Vazante	Declive Lençol
m	mm/dia	dias	%
2.10	14	150	0.15

#### Exigências : Profundidade Lençol para Plantio

Pmin	Pmax	$\Delta P_{\text{Plantio}}$
cm	cm	cm
10	30	20

#### Turno de Plantio e número de plantios e faixas

$\Delta P_{\text{min}}$	Turno Plantio	Número
cm	dias	Turnos/Faixas
20	14	10

#### Organização do campo e superfície efetiva conforme a declividade

Declividade	Largura Faixa	Largura Total	Superfície corresp.
%	m	efetiva (m)	para 100 m
		=Larg*NT	de margem (ha)
0.50	30.8	308	3.08
<b>1.00</b>	17.4	174	<b>1.74</b>
1.50	12.1	121	1.21
<b>2.00</b>	9.3	93	<b>0.93</b>
2.50	7.5	75	0.75
<b>3.00</b>	6.3	63	<b>0.63</b>
3.50	5.5	55	0.55
<b>4.00</b>	4.8	48	<b>0.48</b>
4.50	4.3	43	0.43
<b>5.00</b>	3.9	39	<b>0.39</b>
5.50	3.5	35	0.35
<b>6.00</b>	3.3	33	<b>0.33</b>

## 4.2. Escolha de uma planta adaptada.

O fator da planta mais importante, que condiciona o sucesso da cultura, é o comprimento do ciclo.

O agricultor que tem uma cultura de vazante em fase de floração ou frutificação, às vezes olha seu campo e pensa: "se eu pudesse irrigar, este seria o momento certo para assegurar uma produção boa". Isto significa que ele detectou que as plantas entram em estado de estresse hídrico na fase que mais prejudica a produção.

Do mesmo modo que é necessário conhecer as profundidades do lençol que permitem o plantio ( $P_{min}$  e  $P_{max}$ ), precisa-se conhecer, para o conjunto solo-planta considerado, a profundidade máxima que o lençol pode atingir no final do ciclo da cultura, sem que ocorra um estresse hídrico que prejudique a produção. Esses dados não existem e a proposta de uma parceria entre agricultor e técnico para coletá-los, fica inteiramente válida.

Chamando  $P_{fim}$  essa última profundidade, medida a jusante da faixa, **a razão  $(P_{fim}-P_{min})/R_d$  dá a duração máxima do ciclo da planta que pode ser cultivada nas condições consideradas.**

Alguns exemplos de cálculo permitem dar um significado mais concreto a estes parâmetros. Como nos cálculos anteriores, considerando-se uma taxa de rebaixamento médio do lençol de 14 mm/dia e uma profundidade mínima do lençol que permita o plantio,  $P_{min}$ , de 10 cm:

- se a profundidade máxima do lençol aceitável no final do ciclo é de 100 cm, a duração do ciclo máximo aceitável é :  $(100-10)/1.4 = 64$  dias,
- se a profundidade máxima do lençol aceitável no final do ciclo é de 75 cm, a duração do ciclo máximo aceitável é :  $(75-10)/1.4 = 46$  dias,

- se a profundidade máxima do lençol aceitável no final do ciclo é de 150 cm, a duração do ciclo máximo aceitável é :  $(150-10)/1.4 = 100$  dias.

Deve-se insistir sobre a importância de conhecer esse parâmetro, pois, na realidade, quando se trata de plantas como o milho ou o feijão, a maioria dos agricultores usa qualquer semente que esteja disponível. Na maioria das vezes, estas sementes são de plantas com duração de ciclo longo.

Existe uma grande diferença entre a cultura de sequeiro e a cultura de vazante. Em condições de sequeiro, tem que se levar em conta a irregularidade máxima das chuvas e dentro do quadro estatisticamente definido da região, do ponto de vista climático, a escolha do cultivar de ciclo mais curto proporciona maior probabilidade de sucesso. Em sequeiro, geralmente é aconselhável garantir a produção de uma planta de ciclo curto do que arriscar não completar o ciclo maior de uma planta mais produtiva em caso de sucesso.

Em condições de vazante, a água é garantida dentro de um intervalo de variação de profundidade do lençol perfeitamente definido, mesmo se não conhecido com toda a precisão desejável. A primeira consequência é que apenas em condições de solo-planta totalmente desconhecidas, será aconselhável escolher uma planta de ciclo talvez bastante curto para uma maior segurança. Uma outra consequência é o incentivo para melhor definir esse intervalo de profundidade do lençol, a fim de poder aproveitar o potencial do conjunto planta-solo com uma planta de maior ciclo vegetativo possível, mas sem risco.

Em caso de ausência total de dados sobre a duração do ciclo aceitável ou em caso de forte dúvida, o uso do capim sempre constitui uma escolha de segurança.

Outra particularidade muito importante do cultivo em sistema de vazante para escolher uma planta adaptada é o risco de excesso de água

no início do ciclo. Como foi explicado anteriormente, em solos argilosos quanto maior o risco de excesso de água, maior também se torna o risco de salinização. Nestes casos, a escolha de capim resistente ao excesso de água e aos sais, também, constitui uma solução de segurança.

#### **4.3. Propostas para otimizar a produtividade em sistema de cultivo de vazante.**

No cultivo de vazante, a ascensão capilar constitui uma irrigação subterrânea de graça que precisa ser aproveitada ao máximo. Esse aproveitamento máximo supõe o uso de plantas com o maior ciclo possível compatível com as condições locais, isto é, uma planta que permita o plantio o mais precoce possível e que aprofunde o sistema radicular para acompanhar um maior rebaixamento do lençol.

Assim considerado, a otimização da produtividade pode ser alcançada pela seleção das plantas mais adaptadas e pelo uso de técnicas de manejo específicas.

##### **4.3.1. Propostas para seleção da planta adequada.**

- Identificar/selecionar cultivares de comprimento de ciclo adequado e que suporte o excesso de água no início do ciclo.
- Identificar/selecionar cultivares de comprimento de ciclo adequado e que apresente o maior comprimento do sistema radicular.
- Identificar/selecionar dentre ou a partir de plantas com comportamento bem adaptado ao sistema de cultura de vazante, cultivares de melhor produtividade (exemplo do capim marreca).
- Nesta busca de cultivares adaptados, não se deve esquecer que a estação do cultivo de vazante, dependendo do local, pode se iniciar numa época de temperatura mais baixa que a de sequeiro, e alguns cultivares que se comportam otimamente em sistema de sequeiro podem não ser convenientes para o cultivo de vazante.

#### 4.3.2. Propostas para as técnicas de manejo a serem testadas.

- Melhorar as técnicas de semeadura, atualmente muito pouco cuidadosas.
- Avaliar, testar e melhorar o uso dos camalhões, atualmente utilizados para algumas plantas e não para outras, sem motivo bem definido.
- Testar se o cultivo pode ser feito transplantando mudas produzidas em sementeiras e assim ganhar algumas semanas de duração de ciclo.
- Em solos argilosos, plantar em covas pequenas, colocando a semente ou a muda com um punhado de areia, para oferecer condições locais mais aeradas e eliminar as concentrações excessivas de sais.

## Capítulo 5

### CONCLUSÕES

O funcionamento hídrico da cultura de vazante resume-se a um esquema simples. Em uma primeira fase, que dura várias semanas, a planta utiliza a água do lençol freático que alimenta por ascensão capilar a zona explorada pelo sistema radicular. Na fase seguinte, bem mais curta, quando o desenvolvimento do sistema radicular não consegue mais acompanhar o rebaixamento do lençol, a planta utiliza apenas a água armazenada na zona explorada pelo sistema radicular. Assim, no funcionamento a nível local, a ascensão capilar é o processo que controla o desenvolvimento das plantas na zona de vazante. Porém, o funcionamento hidrodinâmico e salino do sistema deve ser considerado globalmente. O açude, além de fornecer água para uso humano e animal e para irrigação, está sujeito a evaporação direta e alimenta o aquífero freático que se forma a montante sob o solo da vazante. Este aquífero, por sua vez, fornece água para a evapotranspiração das culturas cultivadas na vazante. De fato, o conjunto açude-vazante é um sistema de dois reservatórios (vasos) comunicantes, que se comunicam através das transferências laterais entre a água do açude e a do freático.

O estudo do funcionamento hidrodinâmico e salino do sistema de vazante, em dois açudes, com situações contrastadas, realizado no município de Tuparetama, de 1997 a 1999, permitiu evidenciar a importância das características hidráulicas dos solos através dos quais se realizam as transferências laterais entre estes dois reservatórios. A primeira situação corresponde a um sistema aluvial condutor, com dominância arenosa, e foi observada no açude Cajueiro, que é um açude jovem. As águas apresentam uma fraca salinidade e os riscos de salinização são apenas localizados nas partes mais baixas, onde se observam os sedimentos mais finos. A segunda situação corresponde ao sistema aluvial pouco condutor e fortemente heterogêneo, do açude de Flocos, que tem uma centena de anos. O solo tem dominância argilosa e siltosa na camada superficial, que repousa sobre estratos arenosos muito condutores. As

transferências laterais se fazem pelas camadas arenosas sub-superficiais e a baixa condutividade do horizonte superficial reduz ou impede a lavagem dos sais acumulados anualmente. Conseqüentemente, mesmo que o açude tenha águas com excelente qualidade e um dimensionamento adequado, fazendo com que o açude sangre freqüentemente, a salinização dos solos, que já é significativa, tende a aumentar.

Deve-se observar, que as águas dos açudes aqui estudados foram de boa qualidade e no mesmo nível de salinidade. Em situações no qual o açude tem água com elevada salinidade representa um problema adicional, que deve ser considerado.

Do ponto de vista prático, em situações como a de Flocos, deve-se adotar uma atitude de prudência, seja realizar mais estudos relativos aos solos e às águas ou limitar-se a tentar o cultivo de plantas forrageiras resistentes aos sais.

A otimização e a diversificação da cultura de vazante em situações normais, como a do açude Cajueiro, são perfeitamente possíveis. Para isto, necessita-se da introdução de cultivares adaptados e produtivos e de assistência técnica ao pequeno produtor. Ao invés de pensar em experimentos longos para identificar cultivares adaptados, uma parceria entre o pequeno produtor e o agrônomo de campo (técnico agrícola) poderia levar a resultados mais rápidos, valorizando a experiência acumulada por cada um.

Apesar da complexidade do sistema açude-vazante e do muito que precisa ser realizado para ampliar o conhecimento desse sistema, o trabalho permitiu formular algumas propostas relativas ao manejo de culturas em sistema de vazante.

A questão hídrica é, sem dúvida, uma das mais importantes para o semi-árido do nordeste brasileiro, sobretudo quando relacionada ao manejo destes recursos na agricultura de sequeiro, de vazante e na irrigada. Dentre os mais diversos usos das águas dos açudes, o cultivo de vazante é a forma

mais econômica de uso da água para produção agrícola, propiciando a produção de grãos e forragem em plena época de seca, e contribui para fixação e melhoria da qualidade de vida dos pequenos produtores. Portanto, este sistema de produção agrícola deve ser considerado por parte do poder público, seja municipal ou estadual, em seus programas de desenvolvimento social e econômico.

Finalmente, a utilização da água dos pequenos, médios e grandes açudes da região semi-árida do nordeste brasileiro, no cultivo de vazante, deve fazer parte do plano de gestão integrada dos recursos hídricos para a região. Neste contexto, é de fundamental importância determinar a quantidade de açudes na região e a área total disponível para o cultivo de vazante.

## BIBLIOGRAFIA

- AYRES, R.S. & WESTCOT, D.W. – A Qualidade da Água na Agricultura. Tradução de H.R. Gheyi, J.F. Medeiros, F.A.V. Damasceno. Campina Grande, UFPB, 1991. xxviii, 218p: il, 22 cm (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29 Revisado 1).
- CRUCIANI, D. E. A drenagem na agricultura. 4 ed. São Paulo: Nobel, 1989. 337p.
- LARAQUE, A. Comportements hydrochimiques des “Açudes” du Nordeste Brésilien Semi-aride. Thèse de Doctorat. Montpellier, França, 1991. 304 p.
- LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba: Autor, 1995. 497p.
- MOLLE, F.; CADIER, E. Manual do pequeno açude. Recife: SUDENE, 1992. 511p.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. Evapo(transpi)ração. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.
- AUDRY, P.; SUASSUNA, J. A salinidade das águas disponíveis para a pequena irrigação no sertão nordestino. Recife: Autor, 1995. 128p.
- PREVEDELLO, C. L. Física do solo com problemas de física resolvido. Curitiba: SAEAFS, 1996. 446p.
- REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 1990. 188p.
- REICHARDT, K. Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas. 2 ed. Piracicaba: USP/ESALQ, 1996. 505p.
- SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H. Mesa Redonda para o manejo sustentável dos solos brasileiros. XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Rio de Janeiro, 1997. CD-ROM, 1997.
- SILVA T. J. O. Tuparetama - O livro do Município. Tuparetama: Autor, 1999, 168 p.
- UNITED STATES SALINITY LABORATORY STAFF – Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agriculture Handbook n° 60, L. A. Richards .Edit., Washington, 1954, 159 p.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Secretaria Nacional de Produção Agropecuária. Provárzeas Nacional – Informação Técnica N° 1. Brasília, 1983a, 200 p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Secretaria Nacional de Produção Agropecuária. Provárzeas Nacional – Informação Técnica Nº 2. Brasília, 1983b, 200 p.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### TÉCNICAS DE ESTUDO - EQUIPAMENTOS

#### A1.1. Sonda de Nêutrons

A sonda de nêutrons é um equipamento utilizado para medir “in situ” a umidade do solo.

A sonda de nêutrons é constituída essencialmente de duas partes: 1) Uma fonte radioativa que emite nêutrons rápidos; e 2) Um detector de nêutrons térmicos.

A fonte radioativa emite nêutrons rápidos (grande energia), em todas as direções, que interagem com um determinado volume de solo. Esses nêutrons perdem energia ao colidirem com os núcleos dos átomos que formam o solo. Eles perdem rapidamente grande parte de sua energia ao se chocar com

o átomo de hidrogênio (H) das moléculas da água e tornam-se lentos (baixa energia), chamados de nêutrons térmicos. Os nêutrons térmicos que chegam ao detector dão origem a impulsos elétricos. O número de impulsos durante um intervalo de tempo definido é registrado por um contador.

Assim, o número de impulsos registrados, ou contagens, depende fortemente da umidade do solo em torno da fonte. As contagens



Foto 3. Medidas de umidade com a sonda de neutrons.

registradas, também, dependem do tipo de solo estudado (composição química, teor em matéria orgânica e massa volumétrica específica).

Portanto, faz-se necessário determinar uma curva de calibração para cada solo estudado. A curva de calibração da sonda de nêutrons obtida em campo relaciona a contagem reduzida (relação entra a contagem absoluta no solo e a contagem em um meio de referência – água) e a umidade volumétrica, determinada independente pelo método gravimétrico, a diferentes valores da umidade do solo.

As curvas de calibração obtidas para os solos de Cajueiro e Flocos são apresentadas na Figura 16.

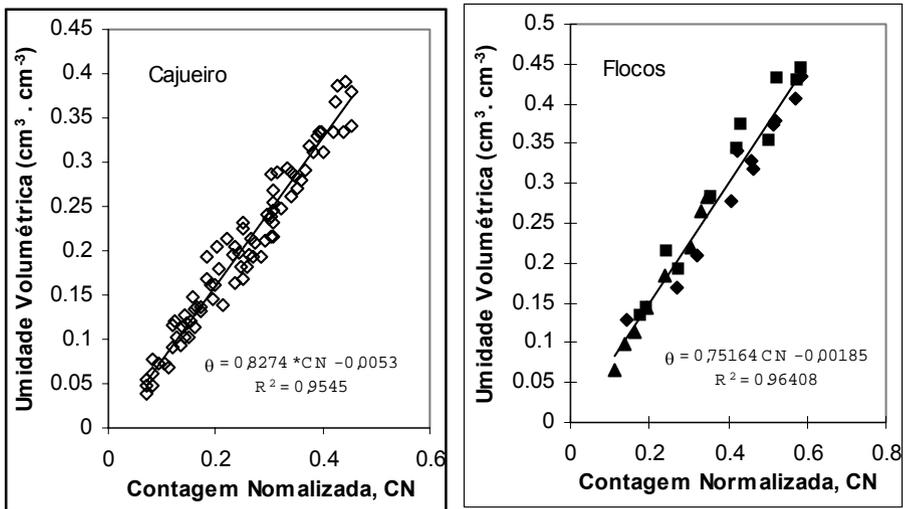


Figura 16. Curvas de calibração neutrônica para os solos de Cajueiro e Flocos.

A sonda de nêutrons é utilizada introduzindo-se em um tubo de acesso de alumínio previamente instalado no solo. As medidas geralmente são realizadas a cada 10 cm de profundidade até a profundidade máxima de instalação do tubo de acesso.

## A1.2. Tensiômetro

O tensiômetro é um instrumento utilizado para determinar a sucção ou potencial matricial da água no solo.

O tensiômetro consiste de uma cápsula porosa colada a um tubo em PVC numa das extremidades, e na outra, coloca-se uma rolha. Este conjunto, completamente cheio de água, é ligado a um manômetro de mercúrio por meio de um capilar.



Foto 4. Sítio tensiométrico instalado na vazante do açude de Cajueiro.

Quando colocado no solo, a água do tensiômetro entra em contato com a água do solo por meio dos poros da cápsula porosa. A água do solo, que geralmente está sob pressões menores que a atmosférica, exerce uma sucção retirando uma certa quantidade de água do tensiômetro fazendo subir a coluna de mercúrio do manômetro até atingir o equilíbrio. Estabelecido o equilíbrio, a altura da coluna de mercúrio indica a sucção da água no solo.

As medidas de sucção obtidas pelo tensiômetro são geralmente limitadas a valores de sucção matricial inferiores a 1 atm (cerca de 1 bar ou 100 kPa).

## A1.3. Medições no aquífero: poços de observação e piezômetros

Um poço de observação é um tubo de pequeno diâmetro, da ordem de 2 a 4 polegadas, fechado na extremidade inferior e com aberturas ou furos a cada 5 cm a partir dessa extremidade. Este tubo é instalado no solo

para observações do nível freático, a uma profundidade que ultrapassa um pouco a do nível freático (da ordem de um metro ou menos). Afim de evitar o entupimento das aberturas, proporcionando o funcionamento do poço por um longo período, coloca-se uma camada de areia ou de qualquer material que sirva como elemento filtrante ao redor do tubo.



Foto 5. Instalação de um piezômetro na vazante do açude de Flocos.

Um piezômetro é um tubo, normalmente de 1 a 2 polegadas, aberto nas duas extremidades, introduzido no solo até a profundidade na qual se deseja medir a pressão hidráulica. Uma vez instalado no campo, o nível de água se eleva no tubo até corresponder à carga hidráulica existente na sua extremidade inferior.

No estudo realizado em Cajueiro e Flocos foram sistematicamente utilizados poços de observação mas, neste texto, freqüentemente eles foram chamados pelo nome genérico de piezômetros.

#### A1.4. Amostrador de Solução do solo



Foto 6. Extrator de solução do solo com cápsula porosa de aço em operação.

O extrator de solução consiste de uma cápsula porosa fixada a um tubo, de mesmo diâmetro da cápsula porosa, numa das extremidades, e na outra, encontra-se uma rolha de borracha vazada com um pequeno tubo de metal no qual é acoplada uma mangueira com um sistema de fechamento.

O extrator deve ser instalado no solo, na profundidade que se deseja realizar a coleta da solução. Para que a água ou a solução no solo penetre no extrator através da cápsula porosa, a pressão no interior do extrator deve ser menor que a da água no solo. Portanto, é necessário

reduzir a pressão no interior do extrator. Isto é realizado utilizando-se uma bomba de vácuo manual.

A cápsula porosa mais utilizada é a de cerâmica, porém ela reage com a solução do solo dificultando a avaliação de muitos elementos dessa solução, podendo até impossibilitar o estudo de alguns componentes, tal como o fósforo. As cápsulas que praticamente não interferem na composição química da solução são as fabricadas de material não ou pouco reativo, tal como aço inoxidável. A Foto 6 apresenta um extrator com cápsula de aço em operação.

## ANEXO 2

### LOCAIS ESTUDADOS E INSTALAÇÕES DE CAMPO

#### A2.1. Instalações de apoio para os dois locais estudados.

##### a) Estação meteorológica.

Localizada próxima ao açude Cajueiro (ver Figura 17, p. 75), trata-se de uma estação automatizada que permite armazenar os dados coletados através de sensores (Foto 7). Os dados coletados foram transferidos a cada mês para um microcomputador portátil.

Composta de um tanque classe “A” e de um pluviômetro tipo “Ville de Paris” e de sensores para medidas automatizadas da :

- precipitação pluviométrica,
- temperatura e umidade do ar,
- velocidade e direção do vento.



Foto 7. Estação meteorológica localizada próximo ao açude Cajueiro.

b) Laboratório de campo.

Também localizado em Cajueiro (ver Figura 17, p. 75), trata-se de um laboratório que permitiu realizar dois tipos de determinações:

- da **condutividade elétrica**, isto é, da salinidade global **de amostras de água** (ver o quadro azul "Definições, explicações nº 2." p. 10), com um condutivímetro portátil.
- da **umidade volumétrica de amostras de solo** destinadas a calibração da sonda de nêutrons (ver Anexo 1 p. 66). Essas determinações consistem em tirar amostras volumétricas de solo, como mostrado na Foto 8, e a seguir pesá-las no estado de umidade em que se encontram, secá-las na estufa e pesá-las novamente. A diferença entre o peso úmido e o seco resulta na quantidade de água da amostra. As Fotos 9 e 10 mostram as operações de pesagem e de secagem na estufa.



Foto 8. Amostragem volumétrica do solo.

A amostragem se faz com um amostrador cilíndrico que permite coletar uma amostra indeformada exatamente do tamanho do cilindro utilizado. Se a finalidade é calibrar a sonda de nêutrons, a amostragem é realizada ao redor do tubo, na profundidade em que foram realizadas as medições neutrônicas. Como mostrado na Foto 8.



Foto 9. Pesagem da amostra



Foto 10. Conjunto de amostras na estufa

## **A2.2. Açude Cajueiro.**

Foi realizado um levantamento topográfico/batimétrico do açude, utilizando um GPS geodésico, a partir do qual foi confeccionado o mapa apresentado na Figura 17.

### **a) Características básicas.**

A superfície na cota de sangria é de 70 ha.

A topografia é extremamente suave (pode ser verificado pelo exame direto do mapa e pela avaliação das superfícies por classe de declive) fazendo com que o açude Cajueiro seja um excelente local para a prática do cultivo de vazante.

Os solos são predominantemente arenosos (Foto 11), com zonas mais siltosas, mas nas depressões fechadas encontram-se solos argilosos, correspondendo aos pontos de acumulação de sais.



Um perfil típico de solo aluvial arenoso é apresentado na Foto 11. O perfil é caracterizado pela ausência de feições especiais; apenas as variações na granulometria dos vários estratos arenosos superpostos podem ser observadas com um exame detalhado. O perfil inteiro apresenta uma permeabilidade elevada.

Foto 11. Solo arenoso.

O perfil de solo apresentado na Foto 12 corresponde a um aluvião, com um teor de silte que varia de 15 a 30% conforme os horizontes. Pode-se observar o aparecimento de uma estrutura que vai até uma fissuração superficial determinando uma rede poligonal. O perfil é moderadamente a pouco permeável.

Na superfície, observam-se, também, as eflorescências salinas na beira



das fissuras. Isto é comum em solos siltosos e argilosos, e mais freqüente e mais desenvolvido quanto maior a proporção de argila e a situação topográfica mais de depressão fechada.

Foto 12. Solo siltoso.



b) Instalações hidrológicas montadas.

Réguas limnométricas foram instaladas, como mostrado pelas Fotos 13 e 14. Trata-se de instalações fixas que permitem monitorar o nível de água no açude.



Foto 13. Réguas limnométricas, primeiro trimestre de 1998.



Foto 14. Réguas limnométricas pouco antes do açude secar, em agosto de 1998.



Na sua forma mais completa, representada na Figura 18, uma estação de medição é composta por:

- um tubo de acesso para sonda de nêutrons (**N**) que permite acompanhar a evolução da umidade no perfil de solo; este tubo é geralmente instalado no ponto central da estação;
- um conjunto de tensiômetros (**T**), situados em arco de círculo ao redor do tubo central, a uma distancia mínima de 25-30 cm para não interferir com as medições neutrônicas. Permite acompanhar a evolução do potencial da água no perfil de solo. Os tensiômetros são interligados com um sistema de medição manométrico. A figura representa um sistema de manômetros de mercúrio, como foi utilizado neste estudo;
- um conjunto de extratores de solução do solo (**ES**), igualmente situados em arco de círculo ao redor do tubo de acesso, mas a distância um pouco maior;
- um poço de observação do aquífero (**P**), localizado de maneira excêntrica em relação aos outros equipamentos, mas na mesma cota que o centro da estação.

Exceto os extratores de solução que tem como finalidade acompanhar a evolução das características químicas da água, todos os outros equipamentos visam avaliar e quantificar as transferências de água. Para isto, as cotas das estações devem estar perfeitamente relacionadas entre si e com o nível do açude (ação da gravidade, avaliação do declive da superfície piezométrica...). Os perfis topográficos, correspondendo às seqüências de estações, foram realizados com nível de topógrafo, interpolados com nível de pedreiro, e sempre relacionados com o nivelamento geral e as régua limnométricas.

A Foto 15, a seguir, mostra uma estação de medição completa instalada no campo.



Foto 15. Estação de medição completa.

#### c.2) Instrumentação da área Cajueiro Norte.

A área Cajueiro Norte foi escolhida por sua representatividade em relação à topografia (suave) e aos solos (arenosos), e constituiu a referência para tudo que foi estudado em Cajueiro.

Foi instrumentada com 5 estações completas ao longo de uma seqüência topográfica, tal como representado na Figura 19 e ilustrado pela Foto 16.

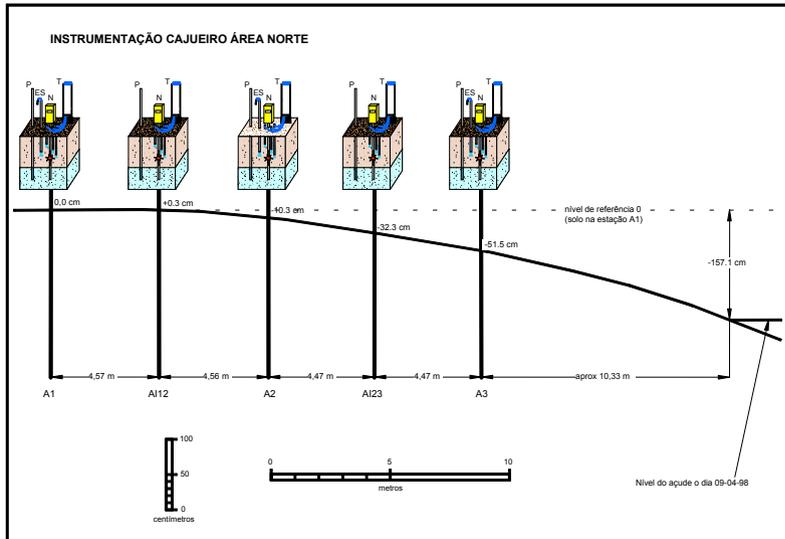


Figura 19. Instrumentação da área Cajueiro Norte.



Foto 16. Vista da seqüência instrumentada Cajueiro Norte.

### c.3) Instrumentação da área Cajueiro Sul.

A área Cajueiro Sul foi estudada como variação do tipo anterior, com uma topografia ondulada, apresentando uma pequena zona plana, com solos mais siltosos (a Foto 12 de um solo siltoso e a Foto 2 do capítulo 2 mostrando um jovem pé de milho afetado pelos sais, são originárias desta zona).

Foi instrumentada com uma estação completa e com três sítios de acompanhamento do nível freático, como mostrado na Figura 20 a seguir.

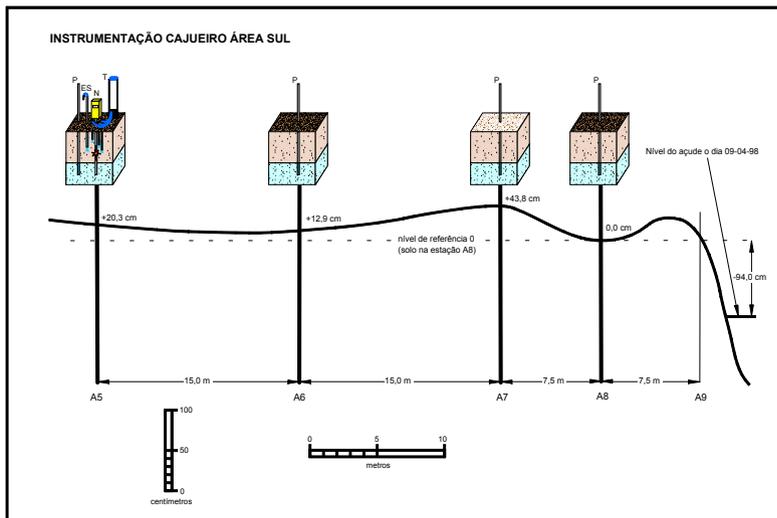


Figura 20. Instrumentação da área Cajueiro Sul.

### **A2.3. Açude Flocos.**

Uma vista geral do açude Flocos é apresentada na Figura 17. Não foi realizado levantamento topográfico/batimétrico. Foi utilizado, para as localizações gerais, um croqui do açude é apresentado na Figura 21. Os perfis topográficos ao longo dos quais foram situados os poços de observação do nível freático, e em relação aos quais foi acompanhado o nível da água do açude, foram levantados com nível de topógrafo e interpolados com nível de pedreiro. Mas nada foi relacionado com o nivelamento geral e todas as cotas são relativas a uma referência local escolhida arbitrariamente. Na ausência de réguas limnométricas, o nível do açude foi monitorado utilizando-se canos plásticos perfurados colocados no açude, que funcionaram como poços estabilizadores e foram tratados como os poços de observação do nível freático.



Foto 17. Vista geral do açude Flocos.

CROQUI DO AÇUDE FLOCOS EM 25-09-98  
levantado por P. Gazin

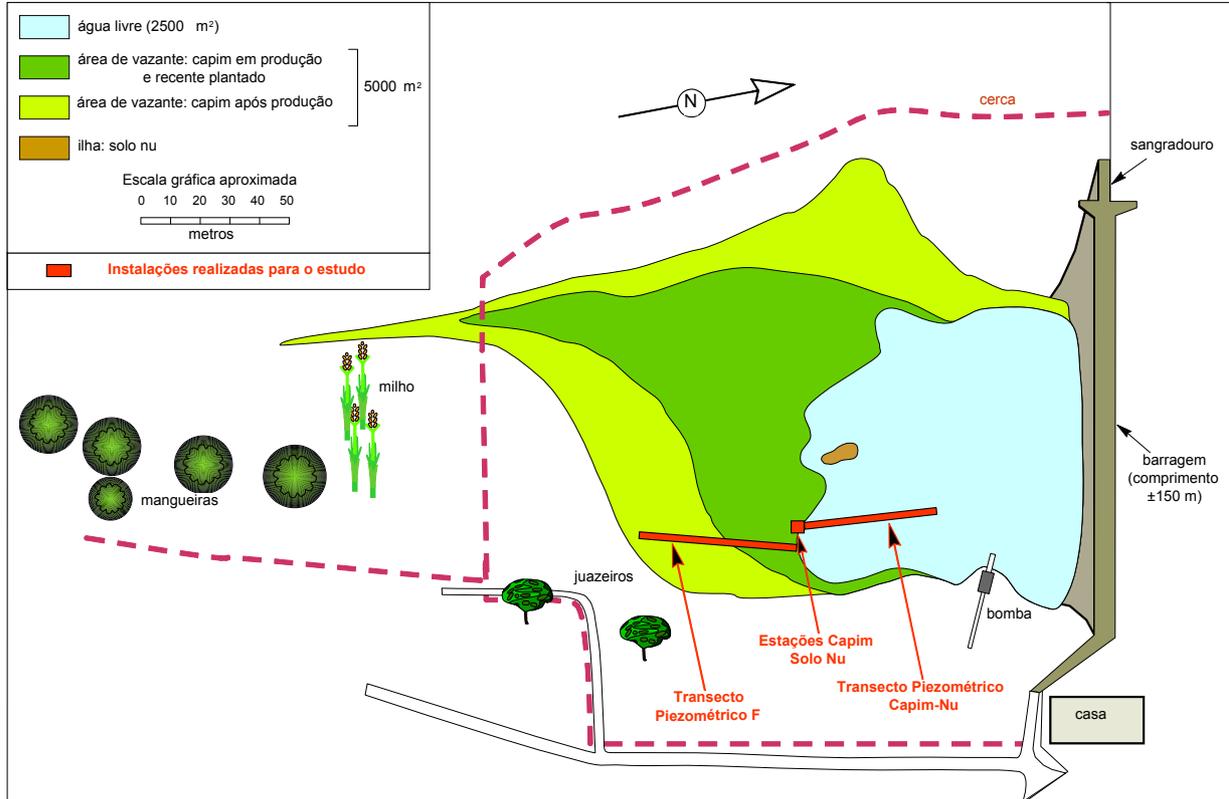


Figura 21. Croqui do açude de Flocos em 25/09/98.

#### a) Características básicas.

O açude Flocos é um açude pequeno. A superfície na cota de sangria é estimada em pouco mais que 1 ha. A superfície do açude que pode ser aproveitada com cultura de vazante foi avaliada em 0,75 ha. A área apresenta um declive suave, sendo excelente para o cultivo de vazante.

Como já foi assinalado na apresentação dos locais estudados, página 8, o açude Flocos é um açude velho, com uma centena de anos, e o seu dimensionamento é tal que ele, normalmente, sangra várias vezes ao ano.

Todos os solos apresentam um horizonte superficial argiloso muito pouco permeável, acima de um conjunto de horizontes arenosos bem permeáveis, repousando sobre o substrato rochoso (micaxisto) diversamente alterado, que se encontra a uma profundidade nunca superior a 1,10 metros. Das margens para o centro do açude, a espessura do horizonte superficial argiloso passa de 20 até uns 50 cm de espessura, enquanto a profundidade total do solo passa de um pouco mais que um 1,0 metro a 0,7 metros. Junto com essas transições, existe uma diferença que permite a divisão em duas categorias de comportamento bem diferente:

- nos solos da vazante, exceto os da caixa do açude, o horizonte superficial apresenta uma rede poligonal de fissuras. As fissuras são pouco abertas (da ordem de 2 cm), fecham-se quando o solo se umedece e a superfície é plana. Nenhum caráter vértico é observado. Este perfil de solo é apresentado na Foto 18, na qual pode-se observar uma fenda aberta até os 20 cm, o aspecto granuloso e a estrutura contínua dos horizontes arenosos sub-jacentes;
- na caixa do açude, com teores de argila semelhantes, o horizonte superficial atinge 40 a 50 cm de espessura e é totalmente diferente.



Foto 18. Perfil de solo da vazante, longe do centro do açude.

As fissuras são largamente abertas, da ordem de 5 cm e a superfície apresenta o microrelevo marcado. Isto indicaria que o solo apresenta características vérticas; mas com a particularidade que as fissuras ficam abertas abaixo da água, o que não é um fenômeno comum. A Foto 19 mostra essas fendas abertas, vistas na superfície do solo na beira do açude. A Foto 20 mostra um perfil do solo no qual o lençol se encontra a 40 cm de profundidade.

Concluindo a respeito dos dois tipos de solos observados, em termos de permeabilidade quando alagados: o primeiro é muito pouco permeável,

enquanto o segundo permite um eficiente escoamento da água do açude através das fissuras.



Foto 19. Aspecto superficial do solo fissurado do centro do açude.



Foto 20. Perfil de solo fissurado no centro do açude.

b) Instalações para o monitoramento da vazante.

A pesquisa conduzida em Flocos apoiou-se nas observações e medições realizadas, ao longo do período do projeto, nas instalações específicas e em numerosas medições complementares relativas a salinidade das águas intersticiais do solo realizadas em extratos obtidos “in situ”. A seguir são apresentadas as instalações permanentes que permitiram o monitoramento da vazante.

b.1) Acompanhamento da evolução conjunta do nível do açude e do nível do freático na vazante.

As observações foram realizadas em duas seqüências de poços de observação, mostradas na Figura 21. O perfil topográfico e a localização dos poços de observação são apresentados na Figura 22. Os resultados destas observações estão apresentados nas Figuras 5 e 6, respectivamente páginas 25 e 26.

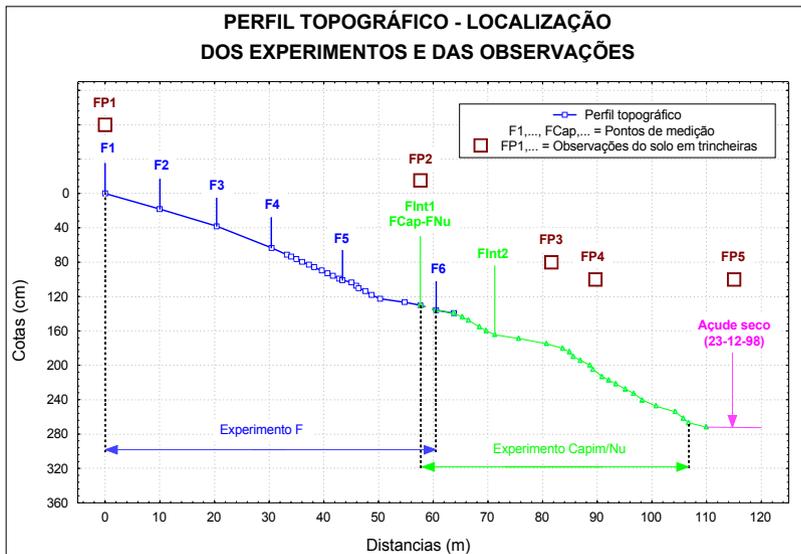


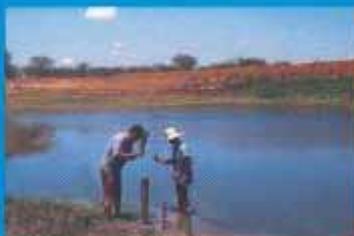
Figura 22. Perfil Topográfico - Localização dos experimentos e das observações.

b.2) Comparação da dinâmica da água no solo com capim e no solo nu, experimento denominado “Cap-Nu”.

Com a finalidade de avaliar a dinâmica da água no solo com capim e com o solo mantido sem vegetação, solo nu. Na vazante do açude duas parcelas contíguas foram monitoradas, uma com capim Marreca e a outra com o solo nu (Foto 21). As parcelas, com dimensão de 3 x 3 m, foram locadas, aproximadamente, a 60 m perpendicular a parede e a 30 m da margem direita do açude. Na parte central destas parcelas foram instaladas estações completas de medidas semelhantes as de Cajueiro. Para as determinações de umidade do solo utilizou-se uma sonda NARDEUX-20. As medidas foram realizadas três vezes por semana, a cada 10 cm, até a profundidade de 100 cm. Também, três vezes por semana, foram realizadas leituras tensiométricas, do nível do lençol freático e do nível do açude.



Foto 21. Parcelas com capim e solo nu na vazante do açude de Flocos.



**CNPq**

**Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**  
Projeto Valorização dos Recursos Aquáticos em  
Açudes do Semi-Árido de Pernambuco  
Convênio CNPq-UFRPE-UFPE/IRD



**UFPE/DEN**

Universidade Federal de Pernambuco  
Departamento de Energia Nuclear

**IRD**

**Institut de recherche  
pour le développement**

ISBN 85-7315-082-3



9 788573 150827

25 ANOS  
LABORATÓRIO  
DE HIDRÁULICA  
UFPE

ISBN 27099-1455-7



9 782709 914550