

INTERNATIONAL REFERENCE CENTRE
FOR RURAL URBAN WATER SUPPLY AND
SANITATION (IRC)

REPUBLICA DE MOÇAMBIQUE
MINISTERIO DE SAUDE
DIRECÇÃO PROVINCIAL DE SAUDE DE SOFALA
CENTRO REGIONAL DE HIGIENE AMBIENTAL

AGUA AGRESSIVA EM POÇOS NO DISTRITO DE DONDO

Enferrujamento de bombas manuais (Marca RURAL)
e corrosão de betão

Beira
Outubro 1991
Eng^a Marian Marseille

1. INTRODUÇÃO

No ano de 1989 foi feito um controlo de qualidade de água dos poços na aldeia de Macharote, distrito de Dondo. Observou-se que estes poços tinham água agressiva: água com pH baixo e pouca dureza. Nesta altura não houve problemas provocados por esta agressividade.

No ano de 1990 apresentou-se um problema de enferrujamento duma bomba, na aldeia de Samora Machel, distrito de Dondo: Nesta bomba a água saiu com cor vermelha de ferrugem; a população deixou de utilizar a água. A bomba, de marca RURAL, colocada no poço há 1,5 ano, foi substituída. Um controlo da água mostrou que aqui também a água era agressiva, provocando a corrosão do ferro galvanizado da tubagem da bomba.

A agressividade de água é um problema que já se mostrou em vários países, em poços com manilhas de betão e/ou com bombas manuais. A água agressiva provoca:

- corrosão (enferrujamento) de peças de ferro galvanizado das bombas manuais, até a população abandonar o poço e a bomba ficar avariada.
- corrosão de betão nas manilhas filtrantes, que são mais sensíveis que manilhas massivas. Em Guiné-Bissau aconteceu que poços danificaram-se completamente, devido a esta corrosão que provocou as manilhas filtrantes a partir e cair.

Foi decidido pelo EPAR-Sofala e o CRHA na Beira de fazer uma inventari-zação, em fim de:

- conhecer as zonas de água agressiva na área do EPAR-Sofala.
- obter um melhor conhecimento dos complexos processos químicos.
- propôr limites sobre as características químicas da água (pH e dureza), para ser utilizados, também nas outras províncias, na identificação das zonas de água agressiva, que necessitam de medidas preventivas na construção dos poços.

Foi analisada a água em 14 aldeias, nos distritos de Dondo e Nhamatanda, e na cidade da Beira; isto foi feito no período de Outubro 1990 a Setembro 1991. Juntaram-se estes resultados com dados de análises feitas pelo CRHA em anos anteriores. As amostras de água foram colhidas de diferentes tipos de fontes:

- poços e furos manuais, constuídos pelo EPAR
 - furos profundos, constuídos por Geomoc
 - poços sem manilhas e furos de pesquisa, como pontos de referência
- As análises feitas foram principalmente de pH, dureza e ferro, além de CO_2 , condutividade, cálcio e magnésio. Os trabalhos foram feitos em colaboração com os técnicos do EPAR, em particular com o Eng^o Joost Hovenkamp.

Este relatório apresenta os resultados e conclusões gerais; os assuntos químicos e os resultados das análises são apresentados nos anexos.

BN 11803
824 MZD091

2. AGUA AGRESSIVA

2.1 Características químicas de água agressiva

Água é 'agressiva' quando tem certas características químicas:

- um pH muito baixo, o que significa que a água é ácida
- uma dureza muito baixa, o que significa que a água tem um teor baixo de cálcio e de carbonatos (indicado também como 'água muito macia')
- um teor elevado de CO_2

(Além destes, há mais alguns factores que podem influenciar a agressividade da água, como a presença de cloretos e de ácidos de matéria orgânica; mas estes geralmente são menos importantes no âmbito de água potável.)

Os processos de corrosão de betão e de ferro, provocados por esta agressividade de água, são processos químicos bastante complexos, em que o cálcio do cimento e o ferro dissolvem na água. As referidas características químicas não são constantes numa certa água, e são relacionadas uma a outra. Por tudo isso não existem normas bem claras para indicar se a água numa certa fonte é agressiva ou não.

Na base dos dados químicos obtidos na inventarização, elaboraram-se limites sobre o pH e a dureza (veja Anexo 1). Estes limites, que não são muito diferentes dos valores geralmente mencionados na literatura, são os seguintes*):

Limites na base de pH:

- | | | |
|-------------------|-------|--------------------|
| - pH mais que 6,5 | | água não-agressiva |
| - pH 6 - 6,5 | | água suspeita |
| - pH menos que 6 | | água agressiva |

Limites na base de pH e dureza (para no caso que houver possibilidade dum controle de dureza):

- | | | |
|-------------------|-------------------------|-----------------------------|
| - pH mais que 6,5 | e dureza mais que 5°DG | ... água não-agressiva |
| - pH 6 - 6,5 | e dureza 3 - 5°DG | ... água bastante agressiva |
| - pH menos que 6 | e dureza menos que 3°DG | ... água muito agressiva |

Propõem-se estes limites para a avaliação de agressividade de água também nas outras províncias. Nota-se que o controle de pH é um controle simples, que podia ser feito no campo, enquanto que o controle de dureza é mais complicado e só pode ser feito num laboratório.

Durante a inventarização foi observado que a agressividade numa certa fonte ou zona não é constante (veja Anexo 4):

- poços-sem-manilhas ou furos de pesquisa tinham água mais agressiva que poços-com-manilhas, a pequena distância (devido à neutralização pelo cimento dissolvido)
- se um poço-com-manilhas não foi utilizado durante alguns dias, a água ficou menos agressiva (devido à neutralização pelo cimento dissolvido)

*) 1°DG = 17,8 mg CaCO_3 / l = 1 grau de dureza (alemão)

-no fim da estação seca, a água num poço-com-manilhas era mais agressiva que logo depois das chuvas (devido à diferença na profundidade de água: uma superfície reduzida de contacto entre a água e o betão, e uma 'renovação' mais rápida da água no poço dá menos neutralização pelo cimento dissolvido, no período antes das chuvas)

É importante de contar com este tipo de diferenças, na aplicação dos limites acima mencionados.

2.2 Zonas de água agressiva em Sofala

Se a água num certo poço numa aldeia era agressiva, a água nos outros poços também era agressiva. A agressividade de água é relacionada com a situação hidrogeológica: A agressividade pode ser uma das características dum lençol freático numa certa zona - e assim todas as fontes que tiram água deste lençol terão água agressiva. (Veja o Anexo 2 para os dados de agressividade de água por aldeia).

No distrito de Dondo foi controlada a água em poços e furos manuais em 11 aldeias. Estas são fontes do primeiro lençol freático, profundidade 5 - 10 metros. Em quase toda a zona a água destas fontes era bastante a muito agressiva. Somente em 2 aldeias a água era não-agressiva.

Em 6 aldeias foi controlada a água em furos profundos. Estes furos, que tiram a água do segundo lençol freático (profundidade 30 - 50 metros) tinham água não-agressiva.

No distrito de Nhamatanda foi controlada a água em poços em 4 aldeias, e a água em furos profundos em 2 aldeias. Em todas estas fontes encontrou-se água não-agressiva.

Na cidade da Beira foi controlada a água em poços em 11 bairros diferentes. Em algumas zonas a água era bastante a muito agressiva, em outras encontrou-se água não-agressiva. Furos profundos foram controlados em 2 bairros, estes tinham água não-agressiva. (Na Beira não existem muitos furos profundos, devido a problemas de salinidade da água)

Acerca dos outros distritos actualmente não existe informação.

Conclusão:

-área do estaleiro de Água Rural em Dondo água agressiva
 -área do estaleiro de Água Rural em Nhamatanda ... água não-agressiva
 -área de Geomoc em Dondo e Nhamatanda água não-agressiva
 -a cidade da Beira tem várias zonas de água agressiva. Isto pode ser importante se no futuro o EPAR programava de construir poços nesta área.

2.3 Corrosão de ferro

As bombas da marca RURAL têm tubagens de ferro galvanizado. Este material tem alguma resistência contra corrosão, mas esta não é grande. Em contacto com água agressiva, o ferro vai oxidar e dissolver, num processo de enferrujamento. Veja também o Anexo 3 (acerca dos aspectos químicos).

Os resultados deste processo pode-se ver nas bombas:

- as peças de ferro afectadas pela corrosão, são vermelhas de ferrugem
- a água que sai da bomba tem ferrugem, especialmente os primeiros litros que são tirados logo de manhã. Há bombas que dão água com ferrugem durante todo o dia; há também bombas onde a água sai com cor vermelho ou com flocos vermelhos de ferro.

Especialmente a ferrugem que sai na água logo de manhã é uma indicação de enferrujamento da bomba. Mas nota-se que nem sempre a ferrugem continua a sair durante todo o dia. Por isso, se não se vê nada ao meio dia, isto ainda não significa que não há enferrujamento na bomba.

Quando a água fica vermelha durante todo o dia, e tem um sabor desagradável de ferro, a população provavelmente vai abandonar o poço. Além disso, o enferrujamento pode provocar muitas avarias e pode continuar até destruir a bomba.

Num projecto em Ghana, com poços equipados com bombas manuais de tubagens de ferro galvanizado numa zona de água agressiva, encontrou-se que a maior parte das avarias durante os primeiros 2 anos eram provocadas por corrosão. Concluíram que esta situação era muito grave, e concluíram também que isto não era a única zona com estes problemas sérios. (lit. PNUD/Banco Mundial)

No distrito de Dondo as bombas foram colocadas desde 1988, então há menos que 3 anos. Em 4 poços controlou-se a água nos primeiros litros do dia: em todos o teor de ferro era elevado e a água tinha muito ferrugem. 11 Bombas deram água com ferrugem nos controlos feitos durante o dia.

A referida bomba na aldeia de Samora Machel tinha água vermelha durante todo o dia, com ferrugem e flocos vermelhos, e um sabor desagradável; várias pessoas já deixaram de utilizar este poço. Este problema apresentou-se 1,5 ano depois da colocação da bomba. Resolveu-se esta situação pela colocação duma outra bomba.

A única solução para o problema de enferrujamento das bombas é de substituir a bomba por uma de outro tipo, que tem tubagens de plástico.

A nova bomba, de marca AFRIDEV, que será introduzida em Moçambique para substituir a bomba RURAL, tem tubagens de plástico. Então, para as novas fontes, que vão ser equipadas com estas bombas, não vão surgir problemas de enferrujamento. Mas para as bombas RURAL já instaladas, o problema de enferrujamento vai continuar. Pode-se prever que mais bombas na área de Dondo vão ter problemas sérios.

2.4 Corrosão de betão

Água agressiva provoca a corrosão de betão num processo lento de dissolução do cimento (especialmente dos seus componentes de cálcio). Veja também o Anexo 4 (acerca do processo químico desta corrosão).

Esta corrosão não é visível na água; somente análises num laboratório podem mostrá-la. Podem mostrar por exemplo que a água num poço-com-manilhas tem mais dureza e um pH mais alto, que a água num poço-sem-manilhas que se encontra a pequena distância: a água subterrânea tem a mesma composição, mas em contacto com o betão das manilhas algum cimento dissolve e assim o teor de cálcio/a dureza e o pH vão subir. Como resultado a água num poço-com-manilhas fica menos agressiva que a água subterrânea.

As manilhas filtrantes, na parte porosa, são particularmente sensível para esta corrosão: a água tem um contacto intensivo com o betão, num lugar onde a força do material é reduzida. Quando o cimento dissolve, pedras do betão poroso vão soltar-se e cair, o betão perde a sua força e a manilha pode partir. Isto é um processo lento mas contínuo.

Isto aconteceu em Guiné-Bissau, onde estes problemas de danificação de manilhas filtrantes começaram a manifestar-se 6 anos depois do início da construção. Poços em solos estáveis deviam ser recuperados pela substituição das manilhas. Poços em solos arenosos (onde a areia entrou nos poços, o que reduziu a profundidade) ficaram em geral completamente destruídos.

Em Guiné-Bissau recomendou-se a aplicação de manilhas furadas, como alternativa para as manilhas filtrantes: manilhas com furos de 6 mm, com uma inclinação de fora para dentro para reduzir a entrada de areia fina.

No distrito de Dondo não foram utilizadas manilhas filtrantes, mas somente manilhas massivas. Este tipo de manilhas é mais resistente contra a corrosão. Por isso, o problema de poços destruídos devido a manilhas partidas, não vai se apresentar nesta área.

Em geral, era melhor de controlar a agressividade da água, antes de decidir acerca duma colocação de manilhas filtrantes.

3. CONCLUSOES E OBSERVAÇÕES

As zonas de água agressiva, que foram encontradas na inventarização, são as seguintes:

- área do estaleiro de Água Rural em Dondo água agressiva
- área do estaleiro de Água Rural em Nhamatanda ... água não-agressiva
- área de Geomoc em Dondo e Nhamatanda água não-agressiva
- cidade da Beira várias zonas de água agressiva

Enferrujamento das bombas

Em Dondo os poços do EPAR são equipados com bombas da marca RURAL, que têm tubagens de ferro galvanizado. Como a água nesta área é agressiva, pode-se prever problemas de enferrujamento: água vermelha, com sabor desagradável de ferro e avarias das bombas. Estes problemas já apresentaram-se em várias bombas, embora que foram colocadas recentemente, há menos que 3 anos. Uma bomba já devia ser substituída depois de 1,5 ano.

Estes problemas podem-se mostrar também em outras províncias, quando bombas RURAL foram colocadas em fontes de água agressiva.

As novas fontes vão ser equipadas com bombas de marca AFRIDEV. Estas não vão ter problemas de enferrujamento, porque as tubagens são de plástico. Mas para os poços existentes, o enferrujamento vai continuar e poderá provocar problemas sérios.

Corrosão de betão

Os poços na área de Dondo têm manilhas massivas; não foram utilizadas manilhas filtrantes. Por isso, a corrosão de betão não vai dar problemas nesta área.

Em outras províncias poderá haver problemas quando em zonas de água agressiva foram colocadas manilhas filtrantes: as manilhas podem partir e cair, devido a dissolução do cimento.

Recomenda-se de controlar a agressividade da água antes de decidir se os novos poços numa certa zona vão ser equipados com manilhas filtrantes. No caso de água agressiva, deviam-se colocar manilhas massivas ou manilhas furadas, e deixar as manilhas filtrantes.

Os processos químicos

Para os processos químicos da corrosão de ferro e de betão: veja os anexos.

Limites

Propõem-se os limites seguintes na avaliação de agressividade de água - limites na base de pH, bem como limites na base de pH e dureza (para no caso que houver possibilidade de controlar a dureza):

Limites na base de pH:

- | | | |
|-------------------|-------|--------------------|
| - pH mais que 6,5 | | água não-agressiva |
| - pH 6 - 6,5 | | água suspeita |
| - pH menos que 6 | | água agressiva |

Limites na base de pH e dureza:

- | | | |
|-------------------|-------------------------|-----------------------------|
| - pH mais que 6,5 | e dureza mais que 5°DG | ... água não-agressiva |
| - pH 6 - 6,5 | e dureza 3 - 5°DG | ... água bastante agressiva |
| - pH menos que 6 | e dureza menos que 3°DG | ... água muito agressiva |

Na aplicação destes limites deve-se contar também com dados não-analíticos, como o período do ano e o tipo de fonte.

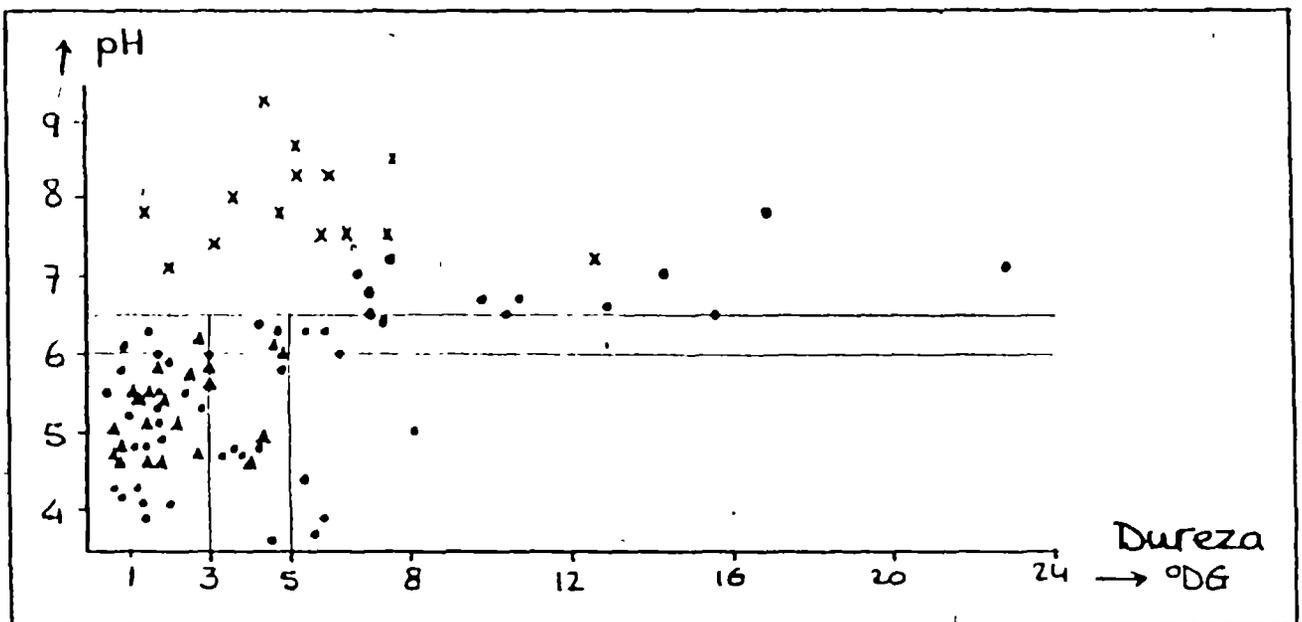
ANEXOS

- Anexo 1 - Limites propostos sobre o pH e a dureza
- Anexo 2 - Agressividade de água em poços e furos, nos distritos de Dondo e Nhamatanda, e na cidade da Beira
- Anexo 3 - Processo químico de corrosão de ferro
- Anexo 4 - Processo químico de corrosão de betão
- Anexo 5 - Documentação

Anexo 1 - Limites propostos sobre o pH e a dureza

No gráfico 1 estão indicados os valores de pH e dureza de 85 amostras de água de poços e furos. Estes são resultados de análises feitas em diferentes períodos do ano.

Gráfico 1: Relação entre pH e dureza em 85 amostras de água de poços e furos nos distritos de Dondo e Nhamatanda e na cidade da Beira.



x furo profundo

● fonte do primeiro lençol freático (poços-com-manilhas e bomba; poços-sem-manilhas, furos de pesquisa): água com teor de ferro normal (menos que 1 mg/l) ou desconhecido

▲ fonte do primeiro lençol freático (poços com bomba) água com ferrugem e/ou com elevado teor de ferro (mais que 1 mg/l)

A.2

Este gráfico mostra, que todas as amostras com ferrugem e/ou com elevado teor de ferro (amostras indicadas por ▲) tinham um pH menos que 6,5 e uma dureza menos que 5°DG. Portanto, uma água que ultrapassa estes limites de pH e dureza podia ser agressiva para o ferro galvanizado das bombas.

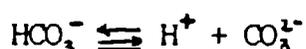
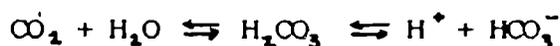
Nota-se que durante o ano há uma variação bastante grande no pH e dureza duma certa água: o mesmo poço que tinha água de pH=6,2 e dureza=4,6°DG em Maio, tinha água de pH=4,8 e dureza=0,8°DG em Novembro (poço de Samora Machel-cajueiros).

A agressividade de água é determinada principalmente por 3 componentes químicos: o pH, a dureza (carbonatos) e o teor de CO₂. A dureza total é a concentração dos sais de cálcio e magnésio na água. Normalmente a maior parte de cálcio e magnésio é combinada com carbonatos. Por isso, a dureza é uma indicação do teor de carbonatos da água.

A dureza, portanto a quantidade de cálcio e magnésio, depende das características do próprio solo: por exemplo, se a areia do lençol freático tinha a sua origem no mar, o teor de cal será elevado; ao contrário em areia de outras origens o cal podia ser quase ausente, no solo bem como na água.

CO₂ é produzido no solo pelos raízes das plantas e árvores, e pelos micróbios e outros animais do solo. Este gás por uma parte vai sair para o ar, e por outra parte vai dissolver na água subterrânea.

Se CO₂ dissolve na água, formando ácido carbónico e carbonatos, acontece o seguinte:



Nota-se que a formação de CO₃²⁻ não acontece nos valores de pH da água agressiva.

Estes são processos de equilíbrio: a concentração de cada componente é relacionada com as outras concentrações. Este equilíbrio de ácido carbónico é importante para a água, porque é um mecanismo de controlar o pH num nível mais ou menos constante. Cada valor de pH tem a sua percentagem fixa de CO₂, HCO₃⁻ e CO₃²⁻.

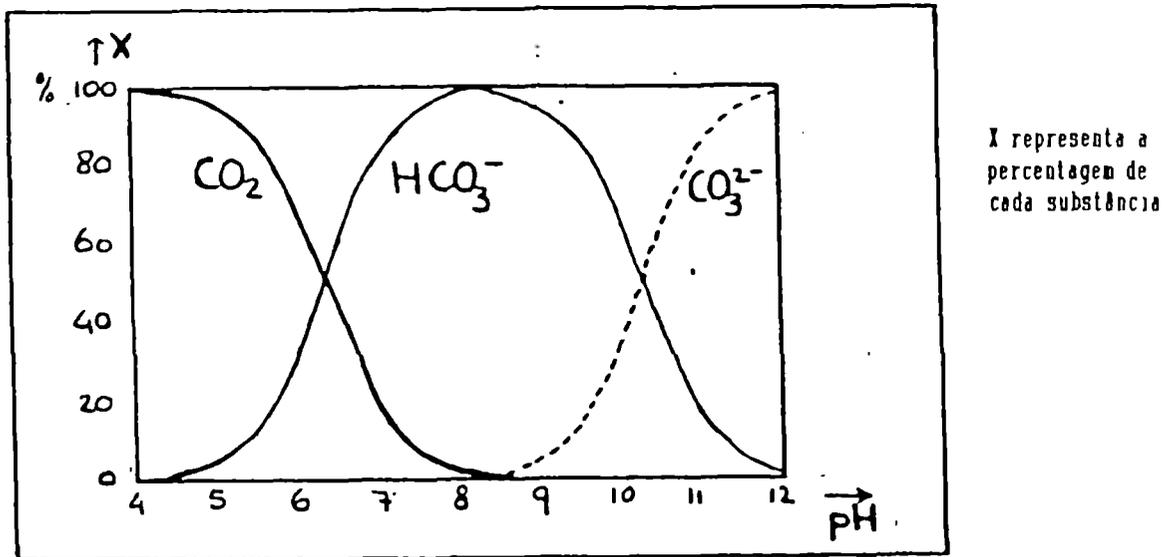
O equilíbrio de CO₂/HCO₃⁻ é caracterizado pelo constante K_a=4,2.10⁻⁷. O gráfico 2 mostra as concentrações de CO₂ e dos carbonatos neste equilíbrio, em função do pH da água.

O gráfico 2 mostra que num pH=6,4 as percentagens de CO₂ e de HCO₃⁻ são iguais. Num pH mais baixo a percentagem de CO₂ fica maior, até 70% num pH=6 e 90% num pH=5,5.

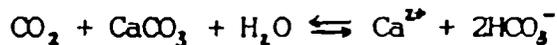
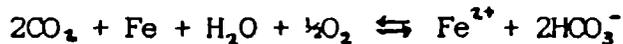
A.3

O valor de pH=6,5 que saiu do gráfico 1 concorda com estes dados: num pH menos que 6,5 a percentagem de CO₂ dissolvido é relativamente grande e portanto a água pode ser agressiva. Num pH menos que 6 esta percentagem é ainda maior.

Gráfico 2: Quantidades dos diferentes componentes no equilíbrio de ácido carbónico, em função do pH da água.



Numa água subterrânea com pH baixo, a maior parte do gás de CO₂ dissolvido na água é presente nesta forma. Este CO₂ tenta formar HCO₃⁻ para melhorar o equilíbrio, reduzir o excesso de CO₂ e aumentar o pH. Em contacto com ferro ou com cimento (contendo cálcio), o CO₂ vai formar HCO₃⁻ num processo de dissolver o ferro ou o cálcio. Este processo é corrosão - corrosão de ferro (=enferrujamento) e corrosão de betão - provocada por água agressiva:



Veja os Anexos 3 e 4 acerca destes processos de corrosão.

Uma água que é agressiva para ferro, é agressiva também para betão (embora que o grau da corrosão pode ser diferente). Por isso, os valores de pH e dureza que saíram do gráfico 1, podem ser utilizados na avaliação de agressividade face ao ferro bem como ao betão.

A.4

O gráfico 1 mostra que sempre, quando o pH era menos que 6,5, a dureza era menos que 5°DG. Então, assim a avaliação de agressividade pode ser baseada no valor de pH. Esta é uma análise rápida e simples, que podia ser feita no campo. Para ter mais certeza, podia-se controlar também a dureza, quando for possível, e utilizar os limites baseados na pH e dureza. Mas nota-se que o controle de dureza é mais complicado e só pode ser feito num laboratório.

Então, na base dos resultados das análises, propõem-se os limites seguintes na avaliação de agressividade de água:

Limites na base de pH:

- pH mais que 6,5 água não-agressiva
- pH 6 - 6,5 água suspeita
- pH menos que 6 água agressiva

Limites na base de pH e dureza:

- pH mais que 6,5 e dureza mais que 5°DG ... água não-agressiva
- pH 6 - 6,5 e dureza 3 - 5°DG ... água bastante agressiva
- pH menos que 6 e dureza menos que 3°DG ... água muito agressiva

Na aplicação destes limites deve-se contar também com dados não analíticos, como:

- o período do ano (como foi explicado com o gráfico 1)
- o tipo de fonte (notando que num poço com manilhas a agressividade pode ser parcialmente neutralizada, veja Anexo 4)
- a situação hidrogeológica (em comparar águas de sítios diferentes, deve-se controlar se vêm do mesmo lençol freático)

Anexo 2 - Agressividade de água em poços e furos, nos distritos de Dondo e Nhamatanda, e na cidade da Beira

A inventarização de agressividade de água foi feita em 17 aldeias nos distritos de Dondo e Nhamatanda, e na cidade da Beira. Incluíram-se também dados do arquivo do CRHA, de análises feitas em anos anteriores.

Todas as aldeias incluídas na inventarização são situadas ao longo da estrada de Beira-Dondo-Nhamatanda, na zona do Rio Pungue. São estas as áreas do EPAR-Sofala nestes distritos (EPAR-Dondo resp. EPAR-Nhamatanda), bem como do Geomoc.

Nas tabelas 1, 2 e 3 apresentam-se os dados da agressividade de água, por aldeia ou bairro.

A.5

Tabela 1: Agressividade de água em poços e furos no DISTRITO DE DONDO
 Período: poços - Outubro/Novembro 1990
 (Macharote: Junho/Agosto 1989)
 furos - 1989/1990, em meses diferentes

ALDEIA	Nº DE FONTES	ACIDEZ (pH)		DUREZA (°DG)		JUÍZO
		variação	média	variação	média	
POÇOS						
Antigos Combatentes	1	5,0	5	1,6	1,5	A
Canhandula	1	6,5	6,5	10,4	10,5	n
Cheringoma	1	5,1	5	2,2	2	A
Dondo	2	4,6 - 5,4	5	1,3 - 1,7	1,5	A
Macharote	6	4,2 - 6,1	5	0,0 - 1,1	1	A
Mafarinha	1	5,5	5,5	1,1	1	A
Muanza	1	6,7	6,5	10,7	10,5	n
Musassa	1	4,9	5	0,6	0,5	A
Mutua	1	3,9	4	1,4	1,5	A
Samora Machel	4	4,2 - 5,5	5	0,6 - 1,7	1,5	A
Savane	4	5,3 - 6,2	6	1,7 - 3,0	2,5	A
FUROS						
Cheringoma	1	7,4	7,5	3,1	3	n
Dondo	3 (1)	7,2 - 8,5	8	7,3	7,5	n
Inhaminga	5 (3)	8,0 - 8,7	8,5	3,7 - 5,1	4,6	n
Macharote	1	8,2	8	-	-	n
Mafarinha	3 (2)	7,1 - 8,5	8	1,4 - 2,0	1,5	n
Muanza	2 (1)	7,5 - 8,5	8	6,9	7	n

1. A = água agressiva; n = água não-agressiva; s = água suspeita

* = em algumas zonas a água é agressiva, em outras não

** = água amarela, agressiva devido a presença de ácidos de matéria orgânica

2. 1°DG = 17,8 mgCaCO₃/l = 1 grau de dureza (alemão)

3. Número de fontes '5 (3)': dados de pH de 5 fontes,
 dados de dureza de 3 fontes

Tabela 2: Agressividade de água em poços e furos no DISTRITO DE NHAMATANDA
 Período: poços - em geral em Outubro/Novembro 1990
 furos - 1989/1990, em meses diferentes

ALDEIA	Nº DE FONTES	ACIDEZ (pH)		DUREZA (°DG)		JUÍZO
		variação	média	variação	média	
POÇOS						
Lamego	1	7,1	7	22,8	23	n
Muda	1	6,3	6,5	5,9	6	n
Nhamatanda	5 (1)	6,8 - 8,9	7,5	14,3	14,5	n
Tica	2	6,7 - 7,0	7	6,7 - 9,8	8,5	n
FUROS						
Nhamatanda	3	7,6 - 8,0	8	-	-	n
Xiluvo	1	8,2	8	-	-	n

Tabela 3: Agressividade de água em poços e furos na CIDADE DA BEIRA
 Período: 1989/1990, em meses diferentes

BAIRRO	Nº DE FONTES	ACIDEZ (pH)		DUREZA (°DG)		JUÍZO
		variação	média	variação	média	
POÇOS						
1 - Macóti	11 (4)	6,3 - 11,9	8	2,0 - 7,0	5,5	S*
2 - Chipangara	3 (1)	6,4 - 6,8	6,5	7,0	7	S*
3 - Ponta Gôa	1	6,8	7	-	-	S*
4 - Chaimite	1	6,6	6,5	12,9	13	n
5 - Proneiros	1	5,7	5,5	-	-	S
8 - Macurungo	3	6,1 - 7,1	6,5	-	-	A**
9 - Munhava	1	7,4	7,5	-	-	S
12A - Chota	9 (5)	5,3 - 7,1	6	1,5 - 6,2	3,5	A**
13 - Alto da Manga	11	6,0 - 7,0	6,5	-	-	S*
14 - Nhacongo	3 (1)	5,6 - 6,2	6	2,8	3	A
15 - Chingussura	66 (15)	4,0 - 7,5	5,5	0,4 - 7,3	3,1	A
FUROS						
1 - Macóti	3 (2)	7,6 - 8,5	8	4,9 - 7,6	6,5	n
20 - Aeroporto	1	8,3	8,5	6,0	6	n

A.7

Estas tabelas mostram, que há várias zonas de água agressiva.

Na cidade da Beira, os bairros de Macurungo e Chota ficam numa zona pantanosa, das 'zonas verdes'. O subsolo tem muito matéria orgânica; a água é amarela e agressiva.

As aldeias de água agressiva em Dondo e os bairros de Chingussura e Nhacongo na Beira, ficam na mesma zona hidrogeológica, na margem do Rio Pungue. É difícil explicar a origem desta agressividade. A areia no solo tem pouco cal, possivelmente foi depositado pelo vento ou pelo Rio. Nesta zona havia grandes florestas; as árvores desapareceram, mas possivelmente a matéria orgânica (das raízes p.e.) ficou no solo, e produz CO_2 na sua decomposição. Estes factores podem ter contribuído à actual agressividade da água subterrânea.

Em resumo, as áreas de água agressiva, encontradas na inventarização são as seguintes:

- área do estaleiro de Água Rural em Dondo água agressiva
- área do estaleiro de Água Rural em Nhamatanda ... água não-agressiva
- área de Geomoc em Dondo e Nhamatanda água não-agressiva
- cidade da Beira várias zonas de água agressiva

Acerca dos outros distritos de Sofala, actualmente não há informação.

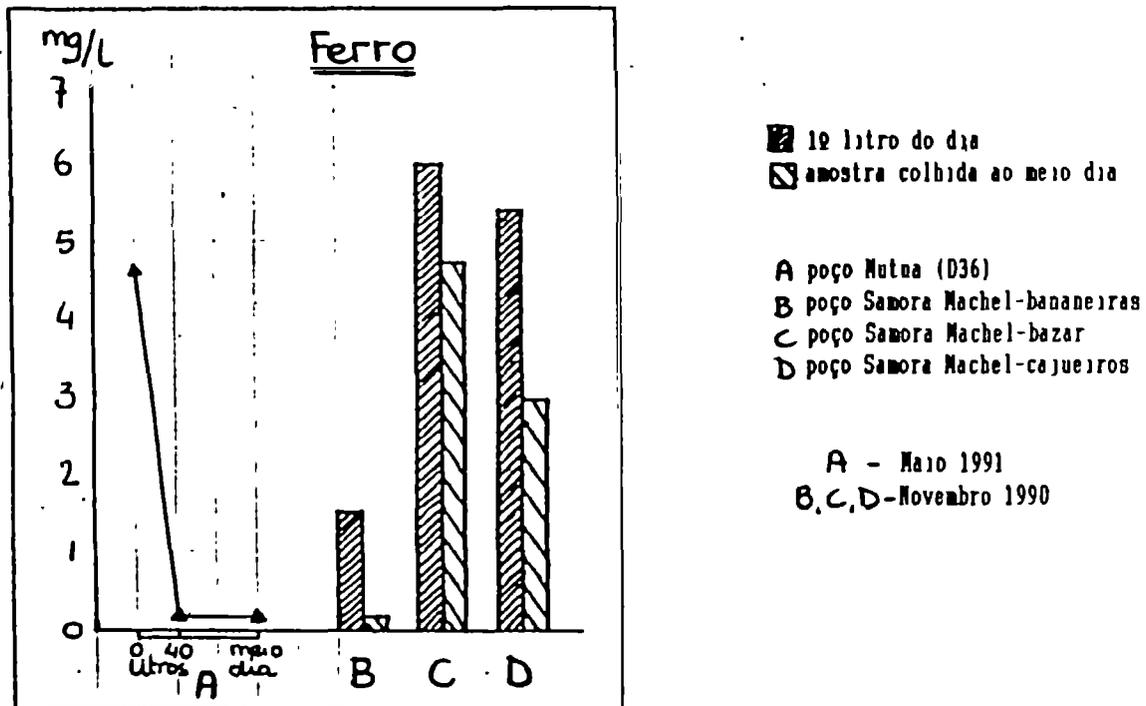
Anexo 3 - Processo químico de corrosão de ferro

Durante a inventarização foi controlado o teor de ferro total na água de 28 bombas, num total de 48 amostras. Em 29 destas amostras foram encontrados elevados teores de ferro durante um uso normal das bombas: estas foram águas de pH menos que 6,5 que tinham uma dureza menos que 5°DG. Estes valores de pH e dureza foram propostos como limites de água agressiva (veja Anexo 1).

Em 4 bombas, na zona de água agressiva, controlou-se o teor de ferro em diferentes horas do dia, durante um uso normal. Nesta mesma zona, 2 bombas ficaram paradas durante alguns dias; controlou-se o teor de ferro durante o primeiro dia de utilização. Os resultados estão apresentados nos gráficos 3 e 4.

Os gráficos mostram que *depois dum período de 'não-utilização', quer uma noite quer alguns dias, os primeiros litros de água que saem da bomba têm um teor elevado de ferro.* Foram encontrados teores de 5 a 30 mg/l. Isto era provocado pela presença de ferrugem. Em geral o teor de ferro logo tinha baixado para um nível normal, de menos que 1 mg/l, depois de bombar uma lata de água.

Gráfico 3: Variação durante o dia no teor de ferro total, na água de 4 poços com bombas da marca RURAL, durante um uso normal. (Veja gráfico 6 para os valores de pH e dureza nestas águas)



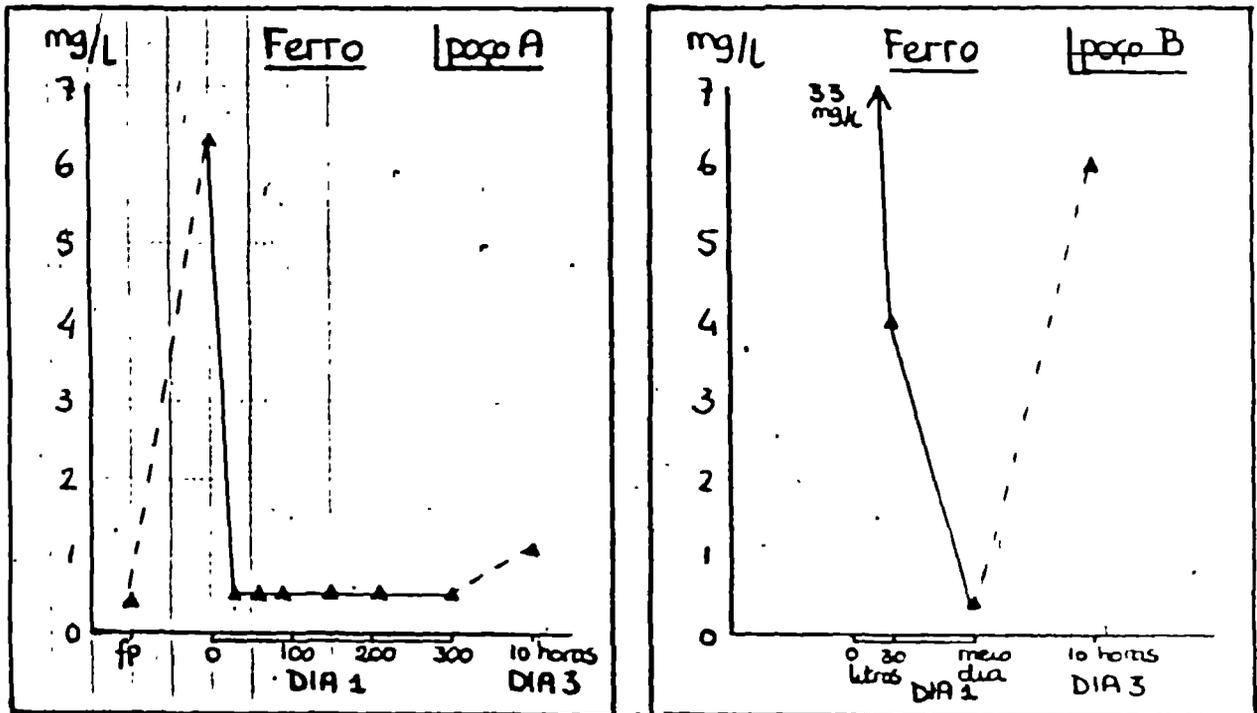
Resultados iguais foram encontrados num estudo de PNUD/Banco Mundial, num projecto em Ghana, com bombas manuais de tubagens de ferro galvanizado, em zonas de água agressiva: a água dos primeiros litros do dia apresentou-se com elevados teores de ferro, até 4 -- 60 mg/l.

Durante o dia a água pode continuar com alguma ferrugem, mas em quantidade pequena, difícil a ver, com que o teor de ferro fica num nível normal. Isto não provoca um cor vermelho nem um sabor desagradável, os consumidores não vão abandonar o poço; mas é um sinal de enferrujamento.

Por isso, especialmente a ferrugem que sai na água logo de manhã, é uma indicação de enferrujamento da bomba. Ao contrário, se durante o dia o teor de ferro é normal, isto ainda não significa que não há corrosão na bomba.

Pode acontecer que a água tem flocos vermelhos, que dão a água uma cor vermelho e um elevado teor de ferro durante todo o dia (como nos poços C e D do gráfico 3). Estes flocos provavelmente são provocados por um tipo de bactérias que às vezes aparecem em águas com muito ferro. Estas bactérias utilizam Fe^{2+} no seu metabolismo e transformam-no em $Fe(OH)_3$, que pode apresentar-se na forma de flocos vermelhos. A presença destas bactérias não podia ser controlada.

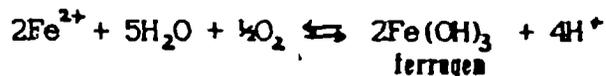
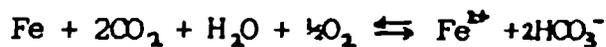
Gráfico 4: Mudanças no teor de ferro total, na água de 2 poços com bombas da marca RURAL, logo depois de alguns dias de não-utilização do poço.



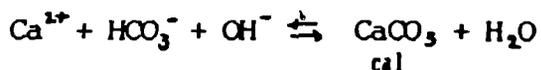
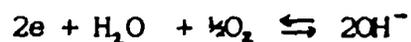
A poço Samora Nachel-cajueiros Maio 1991
 B poço Samora Nachel-bananeiras Maio 1991
 fp furo de pesquisa, há 5 metros do poço

O que acontece nas bombas provavelmente é o seguinte:

O ferro da bomba dissolve na água agressiva, na presença de CO_2 em ambiente ácido. O Fe^{2+} depois é transformado com oxigénio para $\text{Fe}(\text{OH})_3$, na forma de ferrugem.



A ferrugem pode ser depositada na bomba numa camada porosa. Ao mesmo tempo, cal pode ser formado do cálcio e bicarbonato presente na água. Se houver muito cal, podia formar uma camada protectiva que reduz o enferrujamento.



Mas nas bombas referidas quase não haverá esta formação de cal, devido a dureza muito baixa.

O processo de enferrujamento vai mais rápido quando:

- a água é ácida e tem muito CO_2 , o que favorece a dissolução do ferro
- a água tem pouca dureza, da maneira que pouco cal pode ser formado para proteger o ferro
- a água tem oxigénio suficiente

Além destes factores, o corrente e a velocidade da água parecem importantes, mas como estes influenciam a corrosão nas bombas manuais não é bem claro. Nas bombas o corrente não é nada constante; cada noite a água fica estagnada, bem como nas horas calmas durante o dia. Na presença de oxigénio a corrosão sempre continua, mas possivelmente com mais força quando a água está estagnada. Durante o dia, a ferrugem formada logo sai da bomba com o corrente de água, então sai continuamente em pequenas quantidades. Durante a noite há uma acumulação de ferrugem que sairá da bomba tudo em uma vez, logo de manhã com os primeiros litros de água.

A galvanização do ferro (aplicação duma camada protectiva de zinco) fornece alguma protecção contra corrosão, mas esta não é suficiente para águas tão agressivas. Logo que a camada de zinco é danificado, já começa a corrosão.

O enferrujamento de bombas manuais pode provocar problemas sérios:

- a água pode ficar vermelha (somente logo de manhã ou mesmo durante todo o dia) e pode ter um sabor desagradável de ferro. Assim os consumidores vão abandonar o poço.
- a bomba pode apresentar avarias devido a este enferrujamento. Isto foi mostrado no referido projecto em Ghana, onde mais que 60% das avarias das bombas nos primeiros 2 anos foram provocados pela corrosão. Na aldeia de Samora Machel uma bomba devia ser substituída depois de 1,5 ano devido a problemas de enferrujamento.

Os novos poços vão ser equipados com uma bomba de marca 'AFRIDEV', que têm tubagens de plástico. Nas zonas de água agressiva, como Dondo, as novas fontes então, não vão ter problemas de enferrujamento; mas para os poços já existentes nestas zonas, que são equipados com uma bomba 'RURAL', os problemas vão continuar.

Quando a água é agressiva, não há maneira para prevenir ou controlar este processo de enferrujamento nas bombas manuais. A única maneira é de utilizar materiais resistentes, como plástico.

Anexo 4 - Processo químico de corrosão de betão

Os teores de pH e dureza em alguns poços na zona de água agressiva em Dondo, foram controlados mais vezes, para assim procurar:

- se há uma diferença entre a água dentro do poço e a água subterrânea
- se há uma variação durante o ano
- se há uma variação durante o dia
- se há uma mudança durante alguns dias de não-utilização

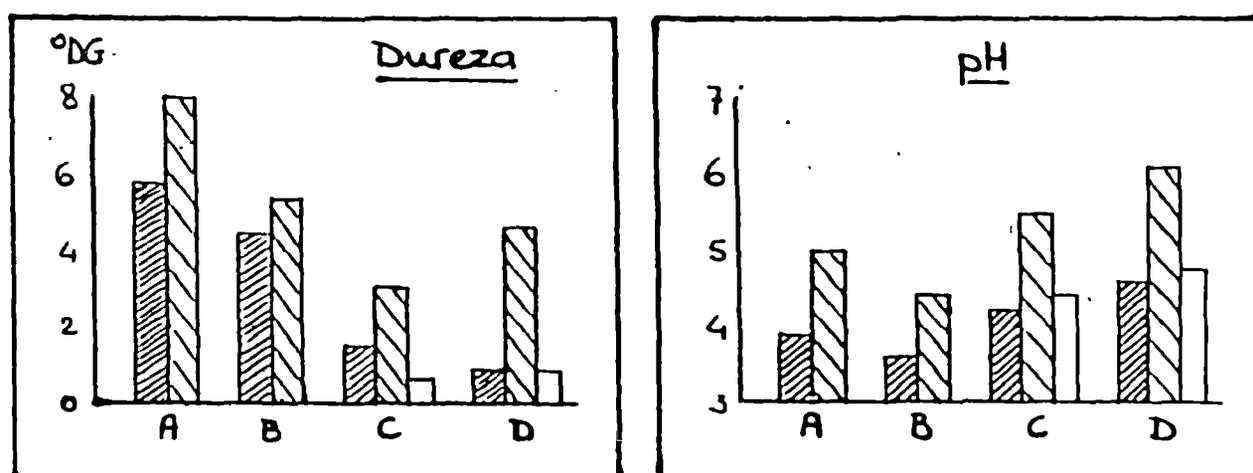
em fim de conhecer melhor os eventuais processos de corrosão de betão das manilhas. Nota-se que todos os poços com manilhas nesta zona têm manilhas massivas, não há poços com manilhas filtrantes em Dondo.

Os gráficos 5, 6, 7 e 8 mostram os resultados.

O gráfico 5, com dados de Maio 1991, mostra que a água subterrânea foi muito mais agressiva que a água nos poços com manilhas: entrando no poço o pH subiu com 1 a 2 unidades, e a dureza subiu com 1 a 3 °DG. (Os pontos de referência de água subterrânea foram poços sem manilhas ou furos de pesquisa, a pequena distância; compararam-se as condutividades para controlar se as águas vinham do mesmo aquífero.) Resultados iguais foram encontrados em Guiné-Bissau, em poços com manilhas dum projecto de água rural numa zona de água agressiva.

Os teores de CO_2 nestas águas eram de 30-100 mg/l, o que é bastante elevado.

Gráfico 5: Diferenças no pH e dureza, entre a água subterrânea e a água dentro dos poços, em 4 poços com manilhas.

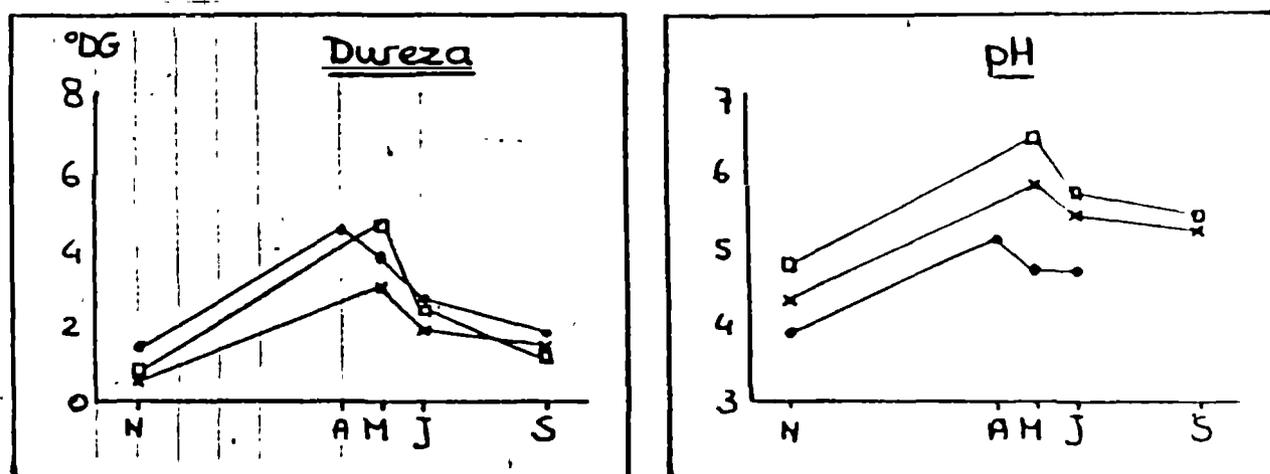


▨ água subterrânea - Maio 1991
 ▩ água dum poço com manilhas - Maio 1991
 □ água dum poço com manilhas - Novembro 1990

A poço Nacharote 1
 B poço Nacharote 2
 C poço Samora Rachel-bazar
 D poço Samora Rachel-cajueiros

No poço B (Gráfico 5) analisaram-se os teores de cálcio e magnésio, os dois componentes que junto constituem a dureza. Encontrou-se que, entrando no poço, o teor de magnésio ficou constante (14 mg/l), enquanto que o teor de cálcio subiu de 9 para 16 mg/l. Assim a subida de dureza ficou na conta do cálcio, que mais provável era proveniente do cimento das manilhas.

Gráfico 6: Variação no pH e dureza durante o ano, em 3 poços com manilhas.



- poço Mutua (D36)
- poço Samora Machel-cajueiros
- × poço Samora Machel-bananeiras

Novembro-Abril-Maio-Junho-Setembro 1990/1991

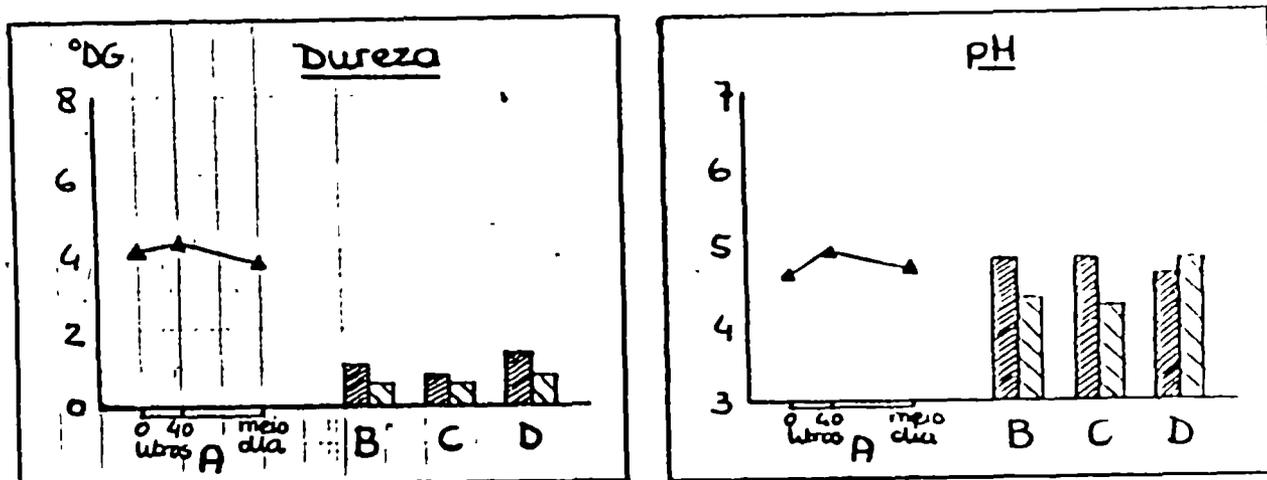
No gráfico 6 foram feitas comparações entre o período antes das chuvas, em Novembro 1990, e depois das chuvas, em Abril/Maio 1991. Encontrou-se que em Maio a água nos poços com manilhas era menos agressiva que em Novembro: a dureza com 2,5 a 3,5 °DG, o pH subiu com 1 a 1,5 unidades. Depois de Abril/Maio, a água começou de novo a ficar mais agressiva.

Uma comparação entre os gráficos 5 e 6 (os dois poços Samora Machel) mostra que em Novembro nos poços com manilhas, o pH e a dureza eram do mesmo nível que na água subterrânea em Maio. (Em Novembro não foram feitas estas comparações com a água subterrânea.)

O gráfico 7 mostra que o pH e a dureza ficam relativamente constante durante o dia. Isto então é diferente do teor de ferro (gráfico 3, dos mesmos poços).

O gráfico 8 mostra o que aconteceu depois de alguns dias de repouso: a água tinha perdida a sua agressividade. No primeiro dia de utilização o pH e a dureza ficaram constante no nível elevado, mas no terceiro dia o pH já tinha baixado com 1 unidade e a dureza com 0,5 a 3 unidades, e assim de novo era agressiva. Isto significa que durante o repouso, num contacto prolongado com o betão das manilhas, a água perdeu a sua agressividade. Com a 'renovação' de água, na entrada de água subterrânea agressiva, a água no poço gradualmente tornou-se de novo agressiva. (Não se conhece o volume de água nestes poços, então não se conhece a velocidade de renovação da água.)

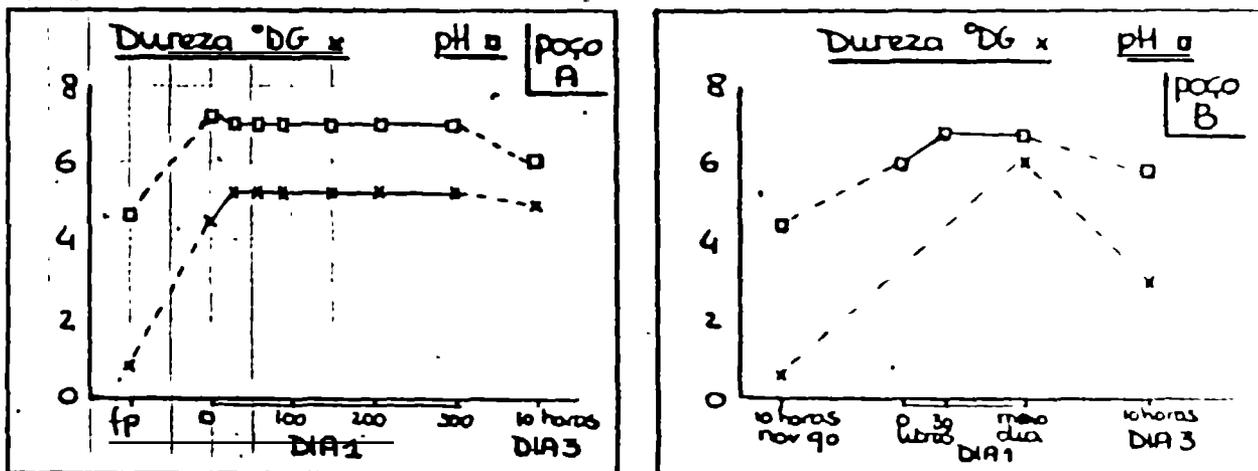
Gráfico 7: Variação no pH e dureza durante o dia, em 4 poços com manilhas.



- ▨ 1º litro do dia
- ▩ amostra ao meio dia

- A poço Mutua (D36) - Maio 1991
- B poço Samora Machel-bananeiras - Novembro 1990
- C poço Samora Machel-bazar - Novembro 1990
- D poço Samora Machel-cajueiros - Novembro 1990

Gráfico 8: Mudanças no pH e dureza depois de alguns dias de não-utilização do poço, em 2 poços com manilhas.



- A poço Samora Machel-cajueiros - Maio 1991
- B poço Samora Machel-bananeiras - Maio 1991
- fp furo de pesquisa, há 5 metros do poço

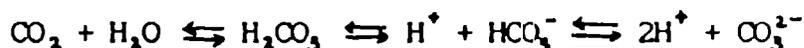
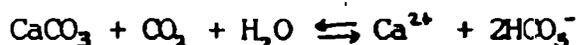
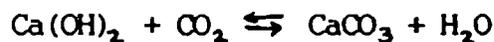
Uma comparação do gráfico 8 com o gráfico 4 (acerca da variação no teor de ferro durante este período) mostra que:

- A agressividade da água precisa de mais tempo para voltar a um nível normal, que o teor de ferro. Parece então que a ferrugem ficou concentrada na tubagem da bomba, donde podia ser logo removida; enquanto que a agressividade era neutralizada em todo o poço, e voltava para um nível normal só muito gradualmente com a entrada e mixtura de outra água.
- Uma vez voltado a um nível normal, a agressividade fica constante, enquanto que o teor de ferro cada dia de novo subirá.

Consequentemente, uma eventual corrosão de ferro das bombas manuais pode-se ver cada dia logo de manhã, muito facilmente; ao contrário uma eventual corrosão de betão não pode ser facilmente registado nos poços, é preciso uma análise de água e uma comparação com uma água de referência.

O que acontece nestes poços com manilhas provavelmente é o seguinte:

O cimento do betão contem cálcio, na forma de Ca(OH)_2 . Num ambiente ácido com muito CO_2 , o cálcio pode dissolver na água:



Assim, quando uma água tem uma dureza baixa (então pouco cálcio e pouco carbonatos) este processo de dissolução tenta reduzir o excesso de CO_2 , e a falta de carbonatos, e estabelecer o equilíbrio num nível de pH mais favorável (veja Anexo 1). Ao contrário, quando esta água depois passa para uma sítio com pouco CO_2 e um pH elevado, pode surgir um excesso de carbonatos, o que é resolvido pelo deposição de cal (CaCO_3). A dissolução e deposição de cal é um processo contínuo, que tenta estabelecer o equilíbrio dos carbonatos num pH mais ou menos constante.

Quando água ácida com muito CO_2 e pouca dureza, como a referida água subterrânea, entra num poço e fica em contacto com o betão das manilhas, o cimento pouco a pouco dissolve na água. A consequência é que a água dentro do poço fica menos agressiva (veja gráfico 5).

Este é um processo lento mas contínuo, que vai mais rápido quando

- a água tem pouca dureza, muito CO_2 e um pH baixo, então quando é agressiva
- o contacto entre a água e o cimento é mais intensivo ou mais prolongado

Estes factores de *intensidade e duração de contacto* explicam os dados do gráfico 6: Em Novembro a profundidade de água nos poços é mais pequeno em relação a profundidade em Abril/Maio. Assim a superfície de contacto é reduzida e também a 'renovação' de água vai mais rápido; consequentemente a agressividade da água fica menos neutralizada que em Maio.

O factor de *duração de contacto* explica também os dados dos gráficos 7 e 8: Se o poço não é utilizado durante alguns dias, a água fica estagnada no poço e tem mais tempo para uma neutralização da agressividade. Numa utilização normal, a água é tirada e logo substituída por outra água subterrânea; o período de contacto é limitado. É um processo lento, por isso a neutralização durante uma única noite não é grande.

A dissolução do cimento das manilhas é um processo contínuo. Para descobrir esta forma de corrosão é sempre preciso de fazer análises de agressividade da água e de compara-las com outra água (água subterrânea) ou com a mesma água num outro período (antes e depois do período das chuvas).

Todos estes dados vêm duma zona de água agressiva, de poços com manilhas massivas. Nesta zona não há poços equipados com manilhas filtrantes. A corrosão de betão massivo é um processo no exterior das manilhas; a manilha pode perder um pouco da sua espessura, mas não perde a sua força. Para os poços em Dondo então não se prevê problemas neste sentido.

No caso de *poços com manilhas filtrantes* as consequências podem ser mais graves, devido a *intensidade de contacto*: A água subterrânea passa mesmo por dentro das manilhas quando entra no poço. Assim, no betão poroso, a água tem um contacto mais intensivo com o cimento (a área de contacto é maior), num sítio onde o betão é mais fraco. Há uma corrosão no interior das manilhas (além da corrosão no exterior): o cimento, que faz a ligação entre as pedras do betão poroso, dissolve - as pedras vão soltar-se e cair - e depois a manilha pode partir-se. Nas zonas de areia fina, entretanto, areia vai entrar no poço com mais facilidade e vai reduzir a profundidade até secar o poço. Isto é um processo muito lento mas contínuo, que leva vários anos até provocar problemas.

Esta corrosão de betão das manilhas filtrante já criou problemas sérios até a destruição de poços, num projecto de água rural no Sul da Guiné-Bissau. Os problemas começaram a manifestar-se 6 anos depois da construção. Neste projecto recomendou-se a aplicação de manilhas furadas, como alternativa para as manilhas filtrantes: manilhas com furos de 6 mm, com uma inclinação de fora para dentro para reduzir a entrada de areia fina. Estes furos facilitam a entrada de água no poço, mas duma tal maneira que a área de contacto entre a água e o betão fica reduzida.

Como os problemas só vão-se mostrar depois de vários anos, já podem ser colocadas muitas manilhas filtrantes antes de descobrir que este método não é próprio. Então, é importante de controlar a agressividade da água com antecedência.

Em resumo pode-se dizer que *nas áreas de água agressiva, não há maneira para prevenir a corrosão do betão das manilhas. Deve-se controlar a agressividade da água com antecedência; no caso de água agressiva deve-se utilizar manilhas massivas ou manilhas furadas, e deixar as manilhas filtrantes*. Também nas áreas onde já construíram poços com manilhas filtrantes, era melhor de controlar a agressividade da água, e se for necessário deixar de utilizar este tipo de manilhas para os novos poços.

Anexo 5 - Documentação

- 'Abastecimento de Água Rural Sul da Guiné-Bissau "Projecto de Buba", Uma avaliação da quarta fase', Francisco Fernandes e.o., DGRH da Guiné-Bissau e DGIS da Holanda, 1990.
- 'Community Water Supply - the Handpump Option - Rural Water Supply Handpumps Project', UNDP/World Bank, Washington, 1987.
- 'Concrete corrosion in dug wells', S.Dermijn and M.vd.Drift, SAWA, Holanda.
- 'Corrosion Phenomena - Causes and Cures', T.E.Larson, (In: 'Water Quality and Treatment - a handbook of public water supplies'), AWWA, USA, 1971.
- 'Guidelines for Drinking Water Quality', WHO, 1984.
- 'Manual for Rural Water Supply', SKAT (Switzerland) and ATOL (Belgium), 1985.
- 'Physical Chemistry with applications to biological systems', R.Chang, USA, 1977.