



**sawa**

PROJECTS & CONSULTANCY

*Water Supply & Sanitation  
Land, Water & Environment  
Institutional Development*

212.5 96DE

## **A DESINTEGRAÇÃO DE BETÃO EM POÇOS EM GUINÉ BISSAU**

**Versão final**



**Outubro 1996  
Dick Bouman**

*SAWA, Beukenlaan 2b, 6711 NH Ede, The Netherlands  
tel: +31.318.653380; fax: +31.318.651636; E-mail: sawa@worldaccess.nl*

212-5-96DE-19119

## CONTEÚDO

TERMINOLOGIA

RESUMO/ENGLISH SUMMARY

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 Contexto	1
1.2 O problema	1
1.3 A pesquisa	2
1.3.1 O inventário geral	3
1.3.2 A pesquisa específica (extra)	3
1.3.3 A análise química	4
1.3.4 Métodos de análise	4
1.4 O relatório	4
1.5 Agradecimentos	4
<b>2. PROCESSOS DE DESINTEGRAÇÃO</b> .....	<b>5</b>
2.1 Introdução	5
2.2 Desintegração química	5
2.2.1 Modelo I	5
2.2.2 Modelo II	6
2.2.3 Modelo III	7
2.2.4 Outros processos químicos	7
2.3 A desintegração mecânica	8
2.3.1 Pressão do material do lado	8
2.3.2 Impacto de baldes	8
2.3.3 Crescimento de cristais	8
2.3.4 Ferro corroído	8
<b>3. ANÁLISE DOS ESTUDOS QUÍMICOS</b> .....	<b>9</b>
3.1 Estudos químicos	9
3.1.1 Estudo de 1986	9
3.1.2 Estudo de 1996	9
3.1.3 Comparação dos dados dos diferentes estudos	10
3.2 Qualidade original	11
3.3 Mudança de água nos poços	12
3.4 Análises de correlação	16
3.5 Distribuição geográfica	16
<b>4. IMPORTÂNCIA DOS FACTORES E INDICADORES DE DESINTEGRAÇÃO</b> .....	<b>18</b>
4.1 Factores e indicadores	18
4.1.1 Qualidade de água	18
4.1.2 Factores ambientais	19
4.1.3 Características do filtro	21
4.1.4 Qualidade do betão	22
4.1.5 Outros factores	24
4.1.6 Conclusões	25
4.2 Explicação da diferença entre Buba e São Domingos	25
4.3 Quantificação do processo	25
<b>5. CONCLUSÕES E RECOMMENDAÇÕES</b> .....	<b>27</b>
5.1 A síntese	27
5.2 Recomendações para uma pesquisa adicional	30
5.3 Recomendações para uma melhora tecnologia	30
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>30</b>

LIBRARY IRC  
PO Box 93190, 2509 AD THE HAGUE  
Tel.: +31 70 30 689 80  
Fax: +31 70 35 899 64

BARCODE: 19119  
10

212.5 96 DE

## Figuras

1a.	Mapa de Guiné Bissau	0
1b.	Localização dos sectores na Zona Sul	0
1c.	Corte típica da hidrogeologia	0
1d.	Perfis típicos da parte superior dos aquíferos	0
2.	Os 4 tipos de anilhas de filtro aplicados	1a
3.	Classificação da agressividade em função da dureza e $\text{CO}_2$ -livre	5a
4.	A concentração de $\text{CO}_2$ , $\text{HCO}_3^-$ e $\text{CO}_3^{2-}$ em função do pH	5a
5.	Explicação do modelo II	7
6.	Correlação entre a diminuição média de $\text{CO}_2$ -agressiva e o teor média original de $\text{CO}_2$ agressiva (a) e o pH média original	12a
7.	Variações durante o ano do pH e da Dureza em 4 poços com anilhas compactas na zona costeira em Moçambique (Marseille, 1991).	13a
8.	Mapa da distribuição dos poços mais afectados	16a
9.	Mapa de zonas com necessidade de recuperar os poços	16a
10.	Mapa do material aquífero	16a
11.	Mapa da salinidade das fontes de água	17a
12.	Mapa do pH das fontes de água	17a
13.	Mapa do teor de ferro nos poços melhorados	17a
14.	Mapa do teor de ferro nos furos	17a

## Tabelas

1.	Solvabilidade de $\text{CO}_2$ em função da pressão de água:	7
2.	Comparação de dados químicos de 1986 e 1996	9a
3.	Médias hidro-químicas na Zona Sul e São Domingos	9a
4.	Mudanças da qualidade de água entre a estação seca e húmida em furos manuais e poços	10a
5.	Mudanças da qualidade de água entre poços tradicionais e poços melhorados nas diferentes estações	10a
6.	Dados hidro-químicos de furos do Sul	11a
7.	Comparação de dados hidro-químicos de furos e poços nos sectores da Zona Sul	11a
8.	Mudança das médias entre os furos/poços tradicionais e poços melhorados	12a
9.	Cálculos da vida útil média de filtros em Buba, Gabu e São Domingos	24a

## Anexos

I	Termos de referência
II	Dados básicos das anilhas aplicadas
III	Comparação de dados químicos de 1986 e 1996
IV	Dados químicos do estudo de Karmer e Talsma (1986)
V	Factores de correlação para alguns parâmetros químicos
VI	Médias do inquerito e análise estatística

## TERMINOLOGIA

Acidez	Capacidade de neutralização de uma base ou alcali; oposta à alcalinidade. Normalmente é expressa como pH; $\text{pH} < 7$ significa, que há mais $\text{H}^+$ que $\text{OH}^-$ na solução.
Ácido carbônico	Ácido, formado pelo Carbono e Oxigênio e/ou Hidrogênio na forma de gás (Gás carbônico ou Dí-óxido de carbono; $\text{CO}_2$ ) ou dissolvido ( $\text{CO}_2$ , $\text{HCO}_3^-$ ou $\text{CO}_3^{2-}$ em água com acidez alta, média ou baixa, respectivamente)
Alcalinidade	Capacidade de neutralização dum ácido, especialmente pelos ions carbonato e bicarbonato. Também água ácida pode ter alguma alcalinidade mensurável. A alcalinidade é determinada juntando-se uma solução ácida padrão à água e notando-se a quantidade exigida para a mudança de cor de dois indicadores químicos diversos, geralmente fenolftaleína e metil-orange. É exprimida em equivalentes de $\text{CaCO}_3$ ; $\text{HCO}_3^- = 0,82 * \text{CaCO}_3$ em mg/l
Bleeding	Processo de saída de cimento flúido da parede de construções de betão durante o processo de curação (bleeding = hemorragia). Este cimento torna-se facilmente em Carbonado de Cálcio (ver "carbonatização")
Carbonatização	Processo de transformação de Silicatos de Cálcio e Cálcio Hidratos no betão para Cálcio Carbonatos sob a influência do Ácido Carbônico ( $\text{CO}_2$ ), especificamente no ar livre.
Conductividade Eléctrica	Indicação dos Sais Totais Dissolvidos na água, exprimida em micro-Siemens/cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). A relação entre CE e STD é dependente da composição de água. Numa solução de $\text{CaCO}_3$ ; $\text{CE} (\mu\text{S}/\text{cm}) = 2,5 * \text{CaCO}_3 (\text{mg}/\text{l}) (25^\circ\text{C})$ Numa solução de $\text{NaCl}$ ; $\text{CE} (\mu\text{S}/\text{cm}) = 2,1 * \text{NaCl} (\text{mg}/\text{l}) (25^\circ\text{C})$
$\text{CO}_2$	Ver Ácido carbônico
Curação/curar	O tratamento de betão depois da criação, para otimizar os processos químicos que resultam em betão bem duro. Normalmente a curação leve 3 até 4 semanas. O tratamento principal é regar ou cobrir o betão para deixa-lo húmido e para controlar a temperatura.
Dureza	Capacidade de neutralização sabão. Os ions de Cálcio e Magnésio são a causa deste capacidade. Distinguem-se Dureza de Cálcio e Dureza Total. A Dureza Total é a dureza de Cálcio e a dureza devido do Magnésio. É expressa em equivalentes de $\text{CaCO}_3$ . 1 Grau Alemá de Dureza = 17,8 mg/l $\text{CaCO}_3$ .
Franzetti	Tipo de filtro em anilhas com forma de janelas. Utilizado em Gabu.
Mol;mmol/l	A molidade é equivalente ao número de ions dum sal. 1 Mol é equivalente a 1 milhão de ions. 1 mmol/l = peso em mg/l dividido pelo peso atómico do sal. Peso atómico de C = 12,01; Ca = 40,1; H = 1,0; O = 16,0; $\text{CaCO}_3 = 100,1$ ; $\text{HCO}_3^- = 61$ ; $\text{CO}_2 = 44$
Portland	Tipo/marca de cimento, que tem uma composição definida.

## RESUMO

Este relatório é o resultado duma análise de pesquisas de 1986 e 1996 para explicar os processos de desintegração de betão em poços no Sul de Guiné Bissau. A desintegração de anilhas de betão em poços de água é um fenómeno, que necessita uma atenção específica na zona costeira de Guiné Bissau. A dissolução de Cálcio do betão diminuiu drasticamente a vida útil de poços melhorados, constituídos de anilhas de betão aberto (filtros porosos). O processo de desintegração acontece quando a água subterrânea é muito agressiva, quer dizer é ácida e tem uma dureza baixa. São condições frequentemente encontradas em regiões com rochas ácidas alteradas e zonas costeiras com sedimentos marinhos.

O relatório faz análises científicas. No capítulo 2, a análise começa com os modelos químicos da desintegração de betão em que a dissolução directa do betão e a dissolução indirecta do betão pelo processo intermédio da carbonatização são os mais relevantes. Os factores mais importantes que influenciam o processo são a qualidade da cura do betão (betão verdade ou betão que consiste de carbonatos); a superfície de contacto entre a água e o betão; a acidez alta da água; o teor alto de ácido carbónico; e o teor baixo de elementos básicos como cálcio (baixa Dureza).

Na análise dos dados das pesquisas, no capítulo 3, verificam-se os processos químicos na comparação das características químicas da água original nos furos manuais e tradicionais com as da água nos poços melhorados. Um problema nesta análise é que os dados de diferentes estudos não são bem comparáveis. Um factor limitando é que a maior parte do estudo foi feita no fim da estação seca, enquanto a água torna-se muito mais ácida no início da época húmida: o pH baixa com valores de 1 até 2,6 para valores de 3,7-5,1 na água original. No fim do capítulo 3 a distribuição geográfica de vários parâmetros são analisados. As conclusões principais são que:

- \* Os dados das pesquisas suportam os modelos de dissolução de capítulo 2, em que os dois tipos de dissolução são relevantes
- \* Os poços mais afectados estão bem concentrados em zonas geográficas, nas quais se podem fazer as seguintes análises:
  - Quase todos os poços na zona sedimentar têm problemas graves, sendo a desintegração do betão e/ou a entrada de areais. Quase nenhum dos poços no sócolo cristalino tem problemas
  - Não existe uma relação directa entre o pH ou a Conductividade eléctrica com as zonas mais afectadas. O grau de desintegração não se pode unicamente relacionar ao grau da agressividade da água: dentro da zona com água agressiva há mais factores importantes que contribuem à desintegração
  - As zonas com os poços mais afectados estão ligadas a aquíferos argilosos de origem marinha, enquanto a desintegração nas zonas com aquíferos arenosos é menos avançada. Pode-ser que a possível existência de pirite nestes sedimentos e o processo de oxidação/redução na zona de flutuações do nível de água é determinante para a acidez, mas esta hipótese não foi verificado
- \* O processo de desintegração é muito mais elevado no início da estação húmida que na estação seca
- \* Há indicações fortes que o processo de desintegração diminua logo que as anilhas sejam arrombadas

No capítulo 4 analisa-se a importância de diferentes factores a partir dos resultados do capítulo 3 e duma análise estatística da diferença significativa das médias de parâmetros entre o grupo de poços mais afectados e o grupo de poços menos afectados. Um modelo que tenta calcular a vida útil a partir dos factores relevantes, que foi utilizado no passado, não dá resultados viáveis.

Na base da análise de capítulo 4, o capítulo 5 dá uma lista de factores e a sua importância. Os factores mais relevantes são ligados à qualidade de água, o tipo de aquífero e a qualidade de construção, sendo:

- \* a alta agressividade da água
- \* o sub-solo de argilas de origem marinho
- \* a aplicação de filtros abertos com pequena espessura da parede (7 cm)
- \* métodos inadequados de fabricação das anilhas (mistura água/agregatos/cimento; cura inadequado; compactação; supervisão)

Na base do conhecimento dos factores mais relevantes, o relatório conclui com recomendações para a construção de poços nas condições péssimas na zona costeira de Guiné Bissau no futuro, sendo a escolha do meio de captação e um melhoramento da tecnologia de construção de anilhas

## ENGLISH SUMMARY

This report is the result of an analysis of field surveys made in 1986 and 1996 to explain the process of disintegration of concrete rings in shallow wells in the South of Guinea Bissau. The disintegration of the concrete rings is a phenomena, which needs special attention in this coastal zone. The dissolution of Calcium from the concrete rings reduces the life time of the improved wells, built out of rings of open concrete (porous filters). The process of disintegration is significant with aggressive water, e.g. when water is acid, has carbonic acid and contains few basic elements, like calcium. These conditions are frequently found in regions with weathered acid rocks and in coastal zones with marine deposits.

The report makes a scientific analysis. In chapter 2, the analysis starts with the chemical models of concrete disintegration, of which the most important are the direct dissolution of concrete or the indirect dissolution through the process of carbonatization. The most important factors are quality of the curing of the concrete (is the concrete real, or is it already consisting of Calcium Carbonate right from the beginning); the area of the contact surface between water and concrete; a high acidity; a high content of carbonic acid; and a low hardness.

In the analysis of the field data in chapter 3, the processes are verified by comparing the chemical characteristics between the original water in hand drilled wells and traditional wells and of the water in the improved shallow wells. One of the problems in this analysis is that the data of the different studies are difficult to compare. Another limiting factor is that most of the data were collected during the dry season, whereas the water is much more acid in the beginning of the wet season: the pH drops with 1.0 to 2.6 units to figures between 3.7 and 5.1. At the end of chapter 3 the geographical distribution of different parameters is analyzed.

The main conclusions are:

- \* The survey data support the dissolution models of chapter 2; the direct and indirect dissolution are relevant
- \* The most affected wells are concentrated in geographical zones, for which one may draw the following conclusions:
  - Almost all the wells in the sedimentary area have problems, being disintegration of concrete and/or the entrance of sands; very few wells above the crystalline rocks have these problems;
  - The areas with the affected wells are not associated to the most acid areas. There is also no relation with the Electrical Conductivity. It is not possible to relate the degree of disintegration with the degree of aggressiveness: within the areas with aggressive water there are other factors which contribute to the decay of the concrete rings
  - The most affected areas have clayish (marine) aquifers, whereas the concrete in wells in areas with sandy (marine) aquifers is less often affected. The possible existence of pyrite and its seasonal oxidation/reduction may be an important determining factor for the acidity, but this hypothesis has not been verified, yet.
- \* The disintegration process is much more intensive during the beginning of the wet season than during the dry season
- \* There are strong indications that the disintegration process reduces when the concrete rings fall apart

The important factors for the disintegration are analyzed in chapter 4. This analysis is based on the results of chapter 3 and on a statistical analysis of significant differences of the average values of parameters for the group of affected and that of less affected wells. A model to calculate the life span of the wells, based on the most relevant factors and used in the past, doesn't give reliable results.

Based on the results of chapter 4, chapter 5 gives a list of factors and their relative importance. The most relevant factors are associated to the water quality, aquifer type and construction quality, being:

- \* the high aggressiveness of water
- \* the sub-soil of marine clays
- \* the application of open concrete and the limited thickness of the wall of the rings (7 cm)
- \* inappropriate methods for ring construction, being the water/cement/aggregate mixture, the short curing period, the lack of compaction and a poor supervision in the field

Based on this knowledge, the report concludes with recommendations for the future construction of wells under the poor conditions of the coastal zone of Guinea Bissau, being on the choice of well technology and the improvement of the construction of rings.

Figura 1a: Mapa de Guiné Bissau (Vissher 1982)  
 Figura 1b: Localização dos sectores no Sul

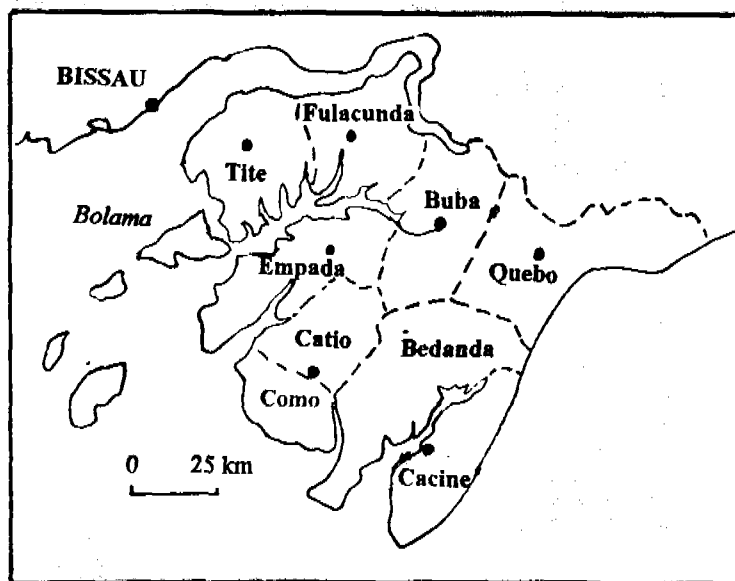
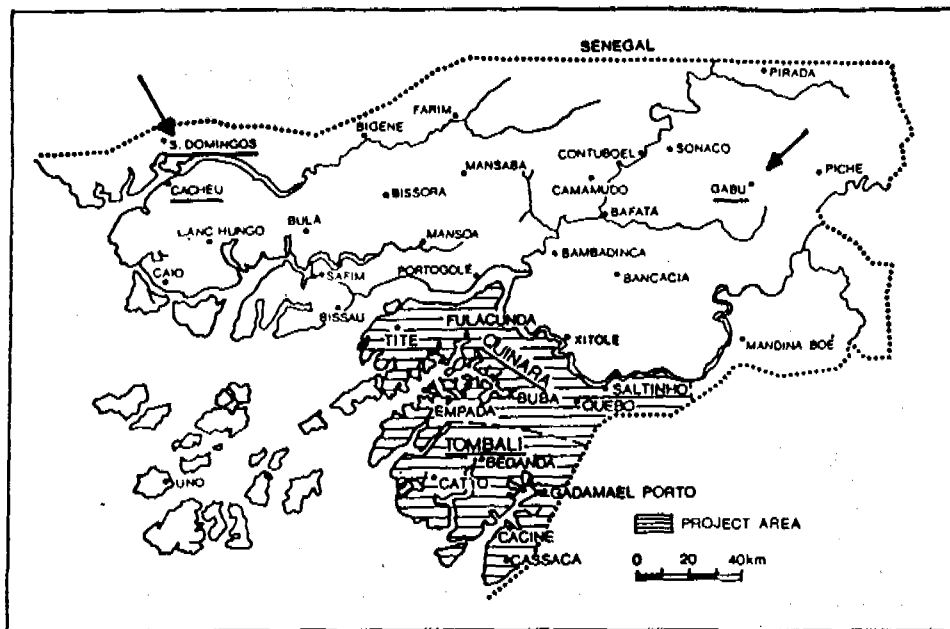
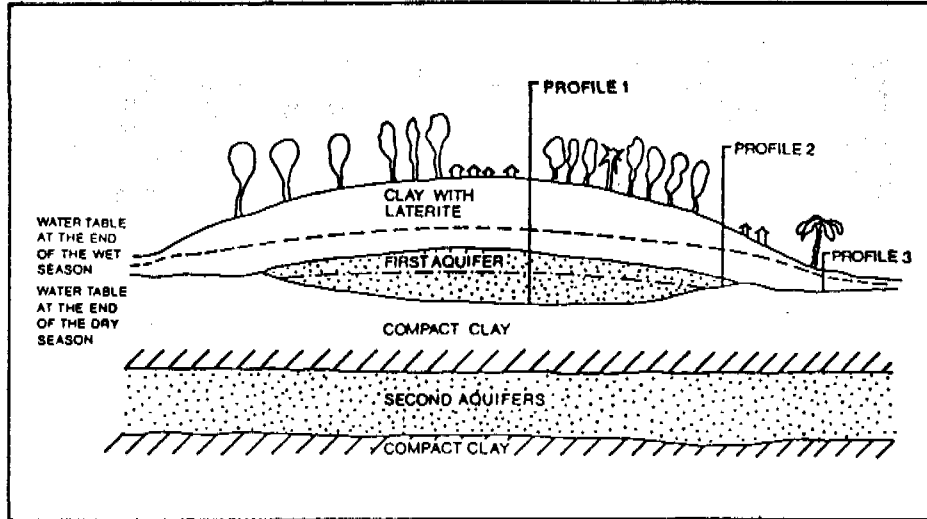


Figura 1c: Corte típica da hidrogeologia  
 Figura 1d: Perfis típicos da parte superior dos aquíferos  
 (Visscher 1982)



Profile	1	2	3
Depth (m)			
2.0	laterite with sandy clay	laterite with sandy clay	laterite
4.0			laterite, with streaks of clay
7.0	dense laterite with streaks of clay		dense homogeneous clay
	fine sand (aquifer)	laterite clayey sand (aquifer)	
12.0 to 16.0	dense clay	dense clay	



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Contexto

A desintegração de anilhas de betão em poços de água é um fenómeno, que necessita uma atenção específica na zona costeira de Guiné Bissau. A dissolução de Cálcio do betão diminuiu drasticamente a vida útil de poços melhorados, constituídos de anilhas de betão aberto (filtros porosos). O processo de desintegração acontece quando a água subterrânea é muito agressiva, quer dizer é ácida e tem uma dureza baixa. São condições frequentemente encontradas em regiões gneisse graníticas alteradas e zonas costeiras em rochas sedimentares.

A experiência em Guiné Bissau mostra, que a composição química da água e o tipo de filtro não são os únicos factores que determinam a velocidade do processo de desintegração. Os poços com filtros porosos na zona de São Domingos no Norte do país são menos sensíveis para o processo, enquanto a água é mais agressiva que no Sul. Para conhecer os factores de influência, o Governo da Holanda decidiu de dar um apoio financeiro a uma pesquisa para as causas da desintegração. A descrição dos resultados da pesquisa é o objectivo principal deste relatório. A pesquisa fazia parte dum inventário geral para determinar um programa de recuperação na zona Sul da Guiné Bissau, na área do anterior projecto "Buba". Este projecto com apoio holandês, construiu 772 fontes de água, sendo 322 furos manuais e 450 poços com filtros porosos. 96% destes fontes já foram construídos no período 1980-1986.

No projecto Buba foram utilizados anilhas porosas. São anilhas com a parte média constituída por betão sem material fino, que dá uma estrutura aberta que facilita a água passar a anilha. Este tecnologia era escolhida para facilitar a entrada de água, especialmente em zonas de baixa permeabilidade.

Em Guiné Bissau foram aplicados os seguintes tipos de anilhas (ver figura 2 e Anexo II):

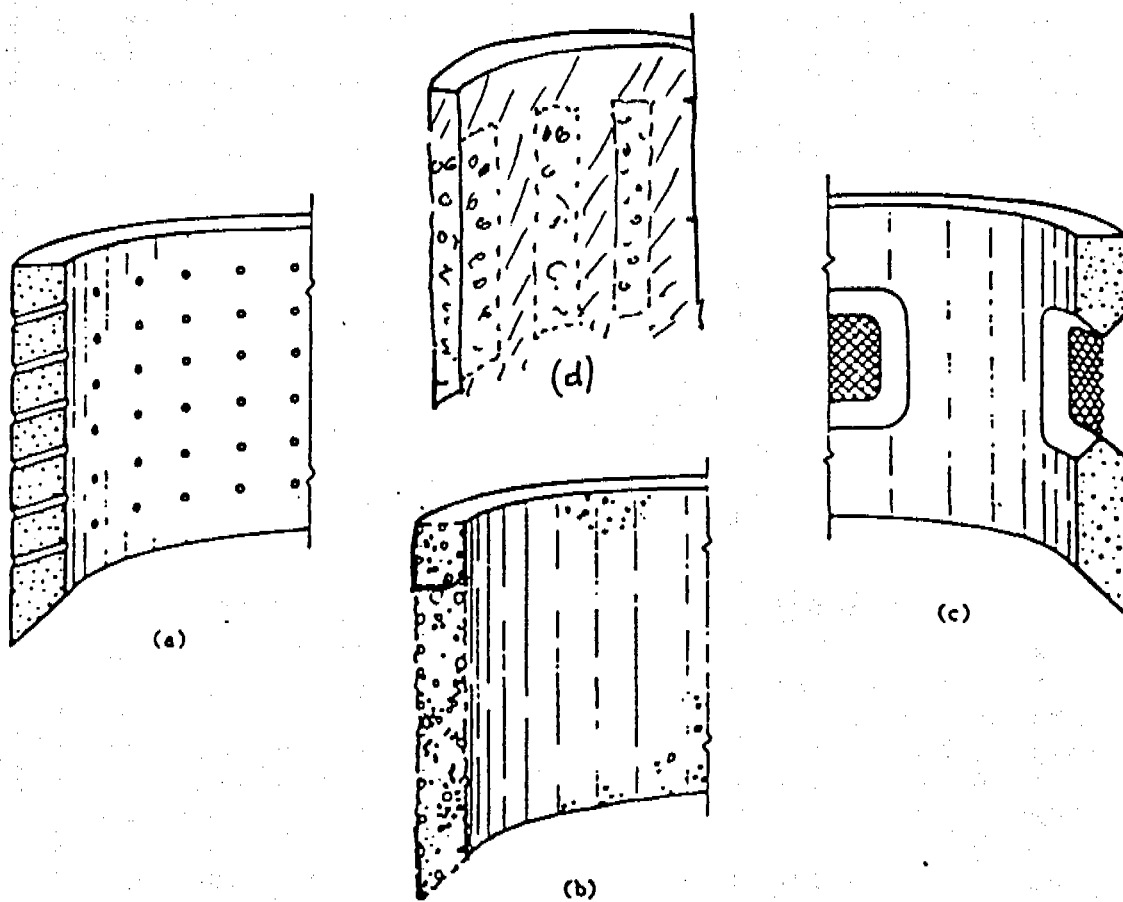
1. Anilhas porosas: uma parte da anilha é constituída de betão sem areia ('betão sem fines'), dando uma alta permeabilidade (projecto de Buba e primeiros poços em Cacheu/São Domingos)
2. Anilhas perfuradas: há muitas perfurações inclinadas de diametro de uns milímetros na anilha (para cima na direcção interior), que deixam passar a água (possivelmente os poços recuperados em Buba, alguns poços em Cacheu/São Domingos)
3. Anilhas "Franzetti": há varias janelas na anilha; nas janelas encontra-se betão poroso (Gabu)
4. Anilhas com colunas de filtro: em vez de janelas, foram feitas colunas de filtro para aumentar e estabilidade da anilha (experimentes em Buba)

### 1.2 O problema

O problema da desintegração já foi reconhecido em 1984/85. Nesta altura, a idade média dos poços era 3 anos. O projecto pediu o TNO (Instituto da Tecnologia da Holanda) para fazer uma análise da qualidade do betão, na qual foi concluído que os filtros têm uma resistência suficiente contra forças mecânicas no sub-solo (TNO 1985). Em 1986 uma pesquisa hidro-química resultou na conclusão que a água agressiva não podia ser o factor único no processo (Kramer e Talsma 1986). Já em 1986, os consultores da SAWA na Holanda iniciaram um estudo de literatura mais larga, que resultou numa publicação numa revista (Dermijn 1986), num pedido de troca de experiência em Water Lines (1986) e num inquérito para 40 projectos, do que 9 projectos responderem (1987). Nesta investigação verificou-se que o problema de Guiné Bissau é bastante típico. Entretanto, os respondentes foram avisados acerca do problema e tomavam medidas para evitá-lo. Em Moçambique, um estudo mais detalhado foi feito na província de Sofala, analisando as mudanças na qualidade de água em função do tempo (Marseille, 1991).

Também na literatura, encontravam-se poucas referências aos problemas de betão em anilhas de poços. A única referência vinha de Paquistão, onde se registrou num projecto de UNICEF um problema de fraqueza do betão, referindo ao conteúdo de material orgânico nas areias e cascalho, que foram utilizados (UNICEF 1986).

Figura 2: Os 4 tipos de anilhas de filtro aplicados



- (a) anilhas furadas
- (b) filtro poroso (betão sem areias)
- (c) Franzetti ou Janelas
- (d) colunas de filtros porosos

O processo de desintegração segue as fases seguintes:

1. a lisura da parede das anilhas de filtros desaparece
2. o cascalho individual torna-se solto e cai
3. pedras de betão tornam-se soltos e caem
4. as anilhas partem completamente

Em aquíferos arenosos, as fases 3 e 4 são acompanhadas pela entrada de areia no poço, que pode encher o poço até o poço torna-se seco. Este processo de entrada de areia não se limita aos poços com o problema da desintegração de betão. 31% dos poços pouco ou não afectados pela desintegração não são operacionais e 8% têm uma operacionalidade limitada, contra 36% e 13% para os poços mais afectados.

No inventário de 1985 (Buba 1985), 62% dos poços tinham problemas graves (fase 3 e 4 e/ou entrada de areia), e 11% tinham problemas ligeiros. Destes poços 40% eram afectados pelo processo de desintegração. Em 1989, 55% dos poços foram afectados, apesar dum programa de recuperação, em que 10% dos poços eram reconstruídos com filtros adoptados (Schoolkate 1990). Em 109 poços (mais que a metade dos poços afectados) não havia água suficiente para o abastecimento da população. 25 destes poços puderem ser recuperados por cerca de f 3000,= por poço (Schoolkate 1990). Com um valor de investimento de f 12.000,= por poço (Visscher, Hofkes 1982) para os outros 84 poços, isto significa uma perda temperada de fundos com um valor de f 1.100.000,=.

Uma investigação, feita no quadro da avaliação da quarta fase do projecto de Buba em Outubro 1990, concluiu que finalmente se prevê que todos os poços serão afectados pelo processo de desintegração. Na pesquisa de 1996 verificou-se a situação seguinte:

- \* 63% dos poços não têm sempre água
- \* 27% estão seco (durante a pesquisa)
- \* 49% dos poços podem se considerar como não operacionais permanentemente, do que 85% por falta de água, 2% por avaria da bomba e 13% por razões não identificadas (abandonados, sabor etc)
- \* 56% dos poços tem problemas com o filtro no sentido de cascalhos soltos (18%), ou de filtros com buracos e anilhas quebradas (38%)
- \* Depois da construção a profundidade dos poços diminuiu com 1,5 m na média pela entrada de areias de cima (da parte de cuvelagem não revestido), do lado (pelas anilhas quebradas) e de baixo (areia fluente).
- \* os poços problemáticos estão concentrados na zona geologica sedimentar, enquanto na zona do socolo Paleozóico (a parte oriental) quase nenhum dos poços tem problemas

Neste relatório se utiliza as definições seguintes:

- \* os poços menos afectados são os poços sem anilhas quebrados ou furados
  - \* os poços mais afectados são os poços com buracos nas anilhas ou com anilhas quebradas.
- Notá-se que só 38% dos poços com anilhas quebradas está fora do uso.

### 1.3 A pesquisa

Em 1990, a SAWA apresentou, ao pedido do Departamento de Abastecimento de Água e Saneamento (DAAS) em Guiné Bissau, uma proposta para fazer um estudo com objectivo de descobrir as origens do problema e de preparar uma proposta para uma recuperação dos pontos de água no Sul do país. Em 1996, a Direcção Geral de Recursos Naturais (DGRN) apresentou os Termos de Referência para o estudo à Embaixada da Holanda, pedindo financiamento para o estudo.

A coordenação do estudo, bem como a parte que diz respeito à animação e manutenção foi a responsabilidade do Projecto de Manutenção e Animação de Água Rural (PMAAR/DAAS). A SAWA dava um apoio à coordenação e encarregou-se da parte técnica do estudo. A logística do estudo

entregou ao SNV da Holanda.

No início do mês de Março 1996 o consultor Dick Bouman da SAWA apresentou um documento intitulado "Análise dos problemas da desintegração de betão em poços em Guiné Bissau" que resume as conclusões e hipóteses de todos os relatórios já dedicados ao assunto. O documento indicava também quais as análises químicas e ensaios a fazer no quadro da pesquisa. Logo depois, a SAWA apresentou um primeiro esboço do formulário a utilizar durante a pesquisa.

O PMAAR/DAAS também começou as preparações necessárias para finalizar a parte da pesquisa no terreno antes da entrada das chuvas. No início do mês de Abril efectuou-se uma visita de acompanhamento pelo consultor Michiel van der Drift da SAWA, que terminou com a formação do pessoal técnico. O formulário foi adaptado e continha finalmente 84 perguntas.

Três equipas técnicas fizeram a pesquisa no campo de Abril até Julho 1996. A pesquisa específica foi continuada no mes de Outubro 1996.

### 1.3.1 O inventário geral

No inventário geral foram recolhidos os dados de quase todos as fontes existentes no Sul e de algumas fontes em São Domingos. São dados para analisar correlações estatísticas entre factores importantes e a vida útil da fonte e para verificar variações regionais ou fisiográficas. Neste inventário também dados para fazer um programa de recuperação foram recolhidos.

O inventário geral foi feito nas seguintes fontes:

- \* quase todos os poços melhorados no Sul (secas e não secas): 473
- \* todos os furos manuais no Sul: ca 327
- \* fontes tradicionais, se estão numa distância de menos que 500 m dum poço melhorado e nas mesmas condições geográficas (só 14 dos 50 foram feitos, por causa da maior distância, diferenças na posição topográfica; e falta de água)
- \* poços com anilhas porosas em São Domingos (11)
- \* poços com anilhas perfuradas em São Domingos (11)
- \* fontes não cimentadas em São Domingos, associados às fontes acima mencionadas (0 em vez de 20!)

A pequena quantidade de fontes tradicionais analisadas, não era suficiente para fazer conclusões sobre a diferença na qualidade de água entre os poços melhorados e os poços tradicionais; uma das partes mais importantes da pesquisa.

### 1.3.2 A pesquisa específica (extra)

O objectivo da pesquisa específica (extra) era de saber mais sobre a qualidade do betão, e as variações da qualidade de água durante o dia e durante o ano.

Fez-se a pesquisa específica (extra) em:

- \* 4 poços utilizados com anilhas porosos perto de Buba (2 estações)
- \* 2 furos manuais perto de Buba (2 estações)
- \* 2 poços com anilhas porosos perto de São Domingos; idade >10 anos (estação seca)
- \* 2 poços com anilhas perfurados perto de São Domingos; idade >10 anos (estação seca)

Além dos estudos acima mencionados, verificou-se a qualidade da construção e do betão por entrevistas com construtores poceiros e por uma inspecção do betão.

### 1.3.3 A análise química

Na preparação da pesquisa foi decidido fazer uma análise hidro-química global e não detalhada, por as razões seguintes:

1. No passado foi feito um estudo hidro-químico bem detalhado (Kramer e Talsma 1986)
2. Um mesmo estudo detalhado deveria precisar muito tempo e um orçamento muito elevado
3. As possibilidades duma supervisão da pesquisa eram limitadas, que não permitia dar uma garantia para uma grande exactidão nas medições

Por estas razões os métodos de análise foram limitados a indicadores globais com uma precisão limitada:

- \* Temperatura com Aparelho de campo simples digital
- \* Conductividade Eléctrica com aparelhos existentes em Guiné
- \* pH com aparelho simples digital de campo (precisão de 0,01) e com fios indicadores de cor (4-7) (precisão de 0,1)
- \* Dureza Cálcico e Total com titração de gotas de frascos com topo de borracho até a mudança de cor (número de gotas = indicação) (precisão de 6,8 mg/l)
- \* Alcalinidade Fenolftaleína e Total com titração de gotas de frascos com topo de borracho até a mudança de cor (número de gotas = indicação) (precisão de 6,8 mg/l; 5-100 mg/l)
- \* CO<sub>2</sub> com titração de gotas de frascos com topo de borracho até a mudança de cor (número de gotas = indicação; 5-100 mg/l)
- \* Fe com titração; comparação de cor (precisão de 0,3 e 1 mg/l; 0-10 mg/l)
- \* NO<sub>3</sub> com titração; comparação de cor (precisão de 5 mg/l; 0-50 mg/l)

Originalmente só duas equipas foram planificadas para fazer o estudo, e os instrumentos foram lhes enviados. A terceira equipa fazia as análises com instrumentos diferentes. Isso causava variações sistemáticas numa parte dos dados.

### 1.3.4 Métodos de análise

Para a análise de dados foram utilizados 2 programas de computador:

1. Excell (Microsoft) para fazer ficheiros de dados, análises estatísticas, tabelas e gráficos
2. GWW, Groundwater Software for Windows (Nações Unidas 1995) para fazer as análises da distribuição geográfica de alguns factores

### 1.4 O relatório

O objectivo deste relatório é a descrição das causas do problema de desintegração e a análise e documentação das experiências existentes com tipos diferentes de filtros, relacionados à agressividade da água.

O relatório tem a estrutura seguinte:

- capítulo 2: os processos da desintegração: uma análise teórica
- capítulo 3: a análise das pesquisas de 1986 e 1996
- capítulo 4: a análise da importância das diferentes factores e indicadores
- capítulo 5: as conclusões e recomendações

### 1.5 Agradecimentos

Agradece-se a todas as organizações e pessoas que contribuíram para este estudo. São devidos agradecimentos específicos ao DGRN/DAAS por fazer o estudo de campo e para o SNV para o apoio logístico. Pelas contribuições pessoais o autor não poderia deixar de agradecer o consultor Sr. Michiel van der Drift para o apoio actual, os ex-parceiros Sr. Simon Dermijn e Sr. Mark Noort para as suas iniciativas e o Sr. Hans Schoolkate para o seu comentário construtivo.

## 2. PROCESSOS DE DESINTEGRAÇÃO

### 2.1 Introdução

Distinguem-se 2 processos de desintegração:

1. Desintegração química: a dissolução de Cálcio do betão
2. Desintegração mecânica: pressão da terra ou destruição por baldes

### 2.2 Desintegração química

Há vários processos químicos que podem resultar na desintegração do betão:

1. A dissolução de Cálcio do betão por água subterrânea agressiva (modelo I)
2. A dissolução de Cálcio do betão por uma combinação de 'carbonatização' do betão pela influência do CO<sub>2</sub> no ar, seguida por uma dissolução do Carbonato de Cálcio pela água subterrânea. Há duas origens do CO<sub>2</sub>:
  - 2.1 o CO<sub>2</sub> vem da água subterrânea (modelo II)
  - 2.2 o CO<sub>2</sub> vem do ar livre (modelo III)
3. Outros processos como a entrada de água salgada ou sulfatada.

#### 2.2.1 Modelo I

##### Agressividade

A desintegração química é devido à agressividade da água, que é dependente de 3 parâmetros:

- \* um pH baixo (<6.5),
- \* uma Dureza baixa (<90 mg/l CaCO<sub>3</sub>) e
- \* um valor alto de CO<sub>2</sub> dissolvido (>30 mg/l).

São características típicas das águas do aquífero freático em Guiné Bissau fora da influência das águas salobres do mar.

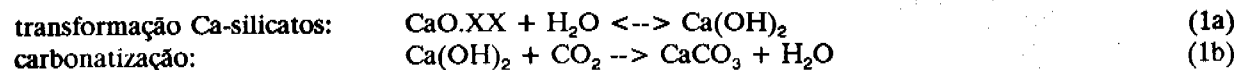
O teor de CO<sub>2</sub> é alto, devido o clima húmido com material orgânico no sub-solo. Há pouco cálcio nos subsolos dos Planaltos antigos, devido ao processo de dissolução no solo no clima húmido tropical. Pelo valor alto de CO<sub>2</sub> (Ácido carbónico) e a dureza baixa, o pH é baixo.

A figura 3 dá uma classificação da agressividade.

##### Carbonatização

Acerca a metade do cimento do tipo Portland é constituído de CaO. Na produção de betão, este CaO muda em Silicatos de Cálcio (CaO.xx), se o betão é bem curado. Na superfície do betão formam-se Hidratos de Cálcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) sob a influência da abundância de água. Se a curação é incompleta, e o contacto com ar livre é demasiado cedo, o CO<sub>2</sub> do ar reage com o Ca(OH)<sub>2</sub> e forma Carbonato de Cálcio (CaCO<sub>3</sub>). Este processo se define como a "carbonatização". Conforme o Biczók (1972), em betão aberto (betão sem cascalho fino) os processos incompletos da curação resultam numa transformação de CaO para CaCO<sub>3</sub>.

Este processo de carbonatização resume-se nas formulas seguintes:



Este processo é muito importante, porque os Carbonatos de Cálcio (CaCO<sub>3</sub>) são muito mais fáceis de dissolver que os Hidratos de Cálcio (Ca(OH)<sub>2</sub>). Entanto, o processo de dissolução é muito mais rápido em betão aberto e betão mal curado que em betão compacto e bem curado.

O processo de carbonatização não para no fim do período da curação, mas continua permanentemente,

Figura 3:

Classificação da agressividade em função da dureza e  $\text{CO}_2$ -livre (dados do estudo de Kramer e Talsma, 1986; gráfico de SKAT 1980;  $\blacktriangle$  = água original (furos manuais/poços tradicionais);  $\circ$  = poços melhorados)

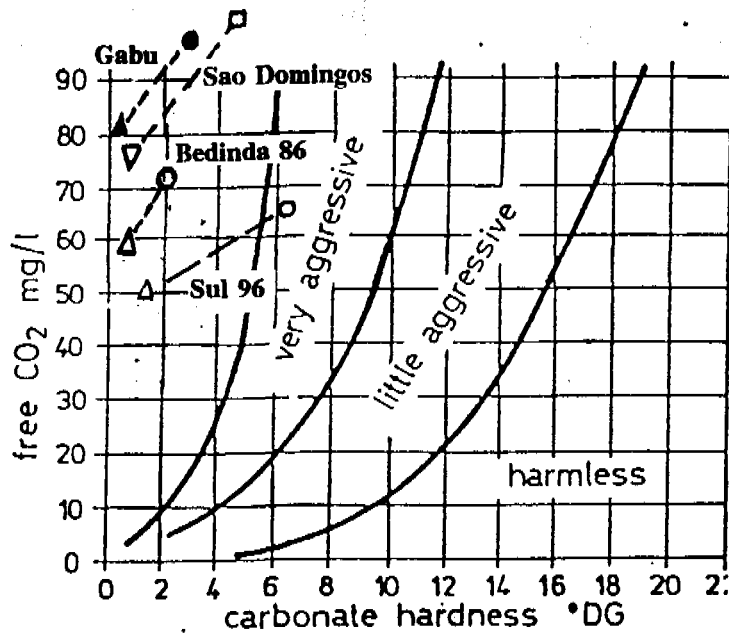
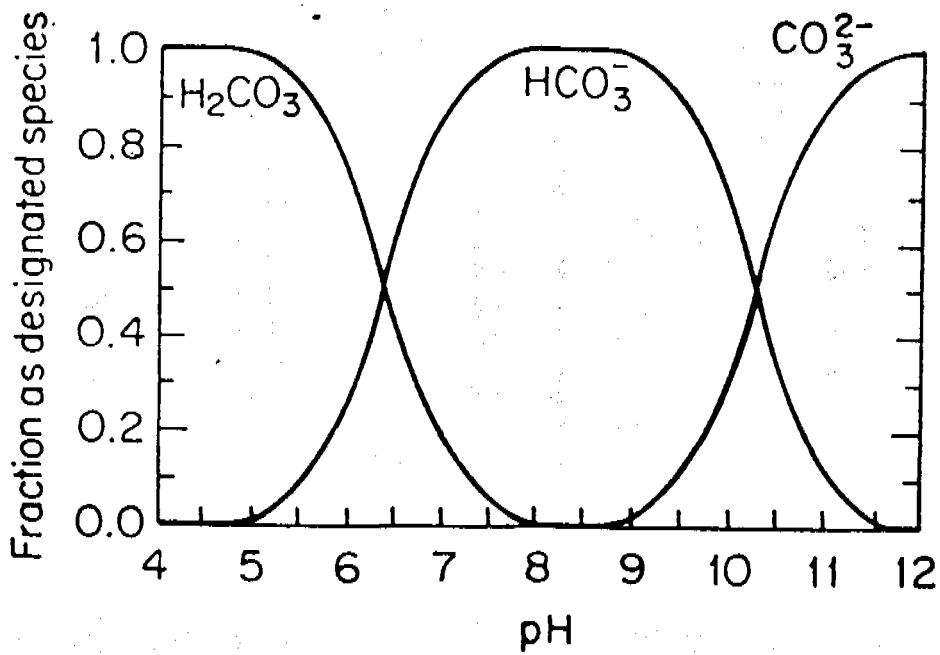


Figura 4: A concentração de  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{CO}_3^{2-}$  em função do pH (gráfico geral)

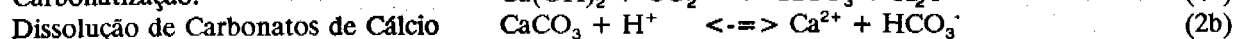
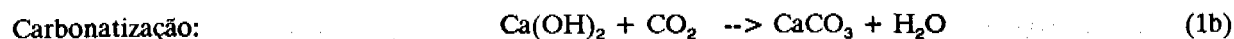
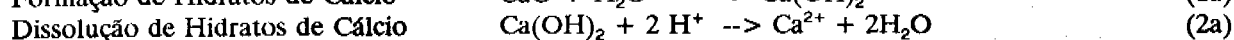
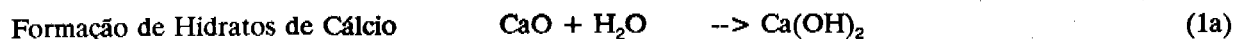


especificamente no ar livre sob a influência do gás de  $\text{CO}_2$ . A literatura dá indicações sobre a velocidade do processo de "carbonatização" em betão (a partir da parede) em condições de ar livre, que varia de menos que 2 mm/ano até 8 mm/ano. Condições de ar húmido e misturas 'secas' de betão são menos favoráveis para o processo de carbonatização (CUR/VB 1984). Em betão aberto, o processo de carbonatização não continua só da parede, mas actua em todos os poros. A distância do poro para o cascalho é normalmente menos que 10 mm, que significa que, no ar livre, o betão poroso pode ser carbonatizado num período de 2 a 5 anos.

O processo de carbonatização não só é importante para a desintegração do betão, mas também para a corrosão do ferro do revestimento, que, em sua vez, resulta numa desintegração rápida do betão.

### Dissolução

O processo de desintegração do betão resume-se nas formulas seguintes:



Em betão bem curado, a formação de Hidratos de Cálcio (1a) é muito lenta.

A dissolução de Hidratos de Cálcio (2a) e a carbonatização (1b) são bastante lentas em betão compacto.

A dissolução de Carbonatos de Cálcio (2b) é muito rápida em água agressiva. Se o Cálcio formado em 2b é retomado do betão, todos os processos continuam sem atingir um equilíbrio.

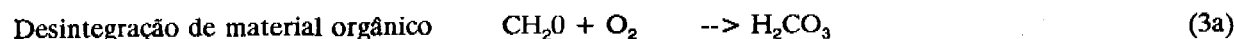
Em betão aberto e betão mal curado, o processo 2b pode começar directamente e em todas as zonas de contacto.

### Ácido Carbónico

Para estes processos são necessários os prótons ( $\text{H}^+$ ) e Ácido Carbónico ( $\text{CO}_2$ ) do ar ou na água.

As fontes destes partículas são as chuvas e o material orgânico no solo. O pH natural da água de chuva é ácido, mas os dados de Guiné Bissau não são conhecidos. Na Holanda o pH variava na época pré-industrial entre 4,6 e 6,4 (CUR/VB, 1984).

O material orgânico desintegra-se num ambiente aeróbio, em que processo se forma  $\text{H}_2\text{CO}_3$ :



Formação de Ácido Carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ )

Há 4 tipos de Ácido Carbónico dissolvidos na água:

- \*  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ; que é dominante nas águas ácidas (pH < 6,5)
- \*  $\text{HCO}_3^-$ ; que é dominante nas águas de pH entre 6,5 e 10,5
- \*  $\text{CO}_3^{2-}$ ; que é dominante nas águas hiper-alcálicas (pH > 10,5)
- \*  $\text{CO}_2$  dissolvido; a quantidade depende da pressão

O equilíbrio é dado em figura 4, que diz, que em água com pH=6,5, 50% do Ácido Carbónico é na forma de  $\text{H}_2\text{CO}_3$ -dissolvido e 50% na forma de  $\text{HCO}_3^-$ . Com pH=6,0, isto é 70% e 30% respectivamente. Com pH=5,5, isto é 90% e 10%. O pH é normalmente neutralizado por  $\text{CaCO}_3$  no sub-solo, mas na ausência de  $\text{CaCO}_3$ , o pH vai baixar e o Ácido Carbónico é predominante na forma de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  dissolvido.

Nestas condições os processos 1b, 2a e 2b são rápidos, que significa uma alta desintegração do betão. Este processo era considerado como o processo principal de desintegração do betão, aqui definido como Modelo I.

#### 2.2.2 Modelo II

Além deste processo debaixo do nível de água, pode se pensar num outro processo em que o ar livre é importante, também. Este modelo II é desenvolvido pelo autor, para explicar algumas questões não resolvidos nos estudos anteriores.



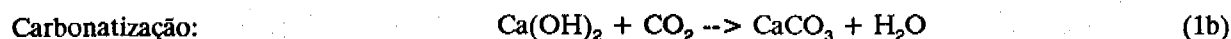
O factor principal no modelo II é a existência duma diferença grande no nível de água (pressão) dentro do poço e directamente fora do poço. Isto acontece principalmente em solos argilosos com extracções instantâneas rápidas no poço.

Um abaixamento instantâneo do nível tem como consequência, que a pressão na água desce rapidamente na zona do filtro. A solvabilidade de  $\text{CO}_2$  diminue rapidamente com a diminuição da pressão (ver tabela 1)

Tabela 1: Solvabilidade de  $\text{CO}_2$  em função da pressão de água:

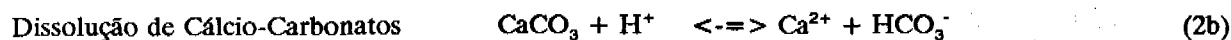
Pressão (m água)	0,0	0,1	0,3	0,6	1,0	2,0	3,0
Solvabilidade $\text{CO}_2$ mg/l	0,44	14,8	44	88	148	296	444

O teor de  $\text{CO}_2$  nas águas subterrâneas na Zona Sul é entre 30 e 100 mg/l, que pode ser dissolvido sob 0,25 - 1,00 m de água. Quando a pressão desaparece, quase todo o  $\text{CO}_2$  é transformado em gás. Este  $\text{CO}_2$  pode reagir com o betão no chamado processo de "carbonatização".



Este processo acontece quando o nível de água é baixa e o nível no aquífero ainda é alto.

Quando o nível de água do poço sobe, quando não está utilizado, a água agressiva no poço pode dissolver o  $\text{CaCO}_3$  (formado) novamente, e resulta num processo de desintegração rápida. Em vários poços uma deposição de carbonatos de cálcio era encontrada acima do nível freático.



Neste processo o "C" ainda vem da água original num sistema fechado.

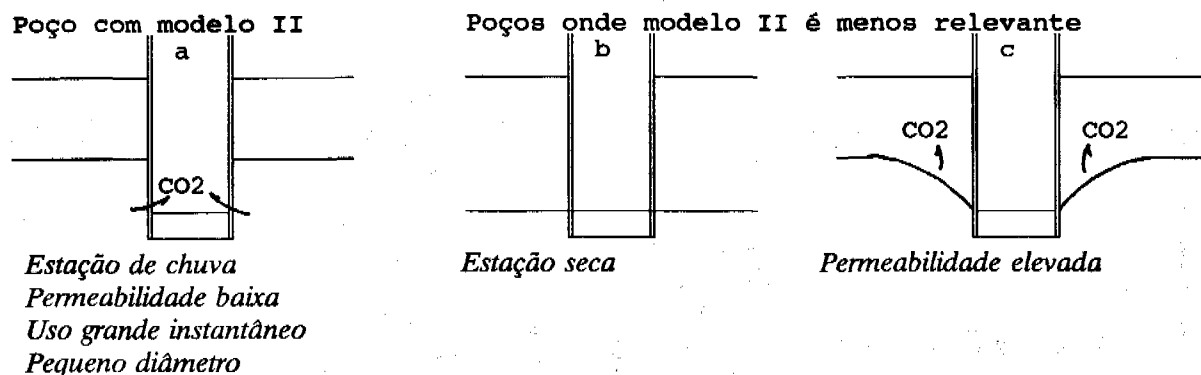


Figura 5: Explicação do modelo II

### 2.2.3 Modelo III

Modelo III é um variante do Modelo II. Em vez do  $\text{CO}_2$ -gás que vem da água, o  $\text{CO}_2$  do ar também pode reagir com o betão na parte superior do poço conforme as formulas 1b e 2b. Neste processo mais "C" está dissolvido na água no poço, que se pode esperar do balanço da solução do Modelo I. O teor baixo de  $\text{CO}_2$  no ar, o pequeno inter-câmbio entre o ar no poço e no ar livre e a alta humidade do ar no poço são factores que delimitam a importância deste processo.

### 2.2.4 Outros processos químicos

A literatura menciona outros processos químicos, que podem resultar numa desintegração de betão. Estes processos não são de grande importância na maioria dos poços em Guiné Bissau.

Os processos principais são:

1. **Entrada de sulfatos:** o teor de sulfatos é demasiado pequeno nas amostras analisadas durante o projecto. Só nas áreas de mangal ou nos depósitos de mangal antigos, o teor de sulfatos pode ser bastante elevado, em combinação com um pH < 4. A oxidação de pirite nos sedimentos marinhos pode contribuir para um pH muito baixo.
2. **Entrada de água salobra:** o teor de Sais Totais é muito baixo, com excepção das áreas litorais. Na pesquisa de 1996 só 7 poços tinham uma Conductividade Eléctrica elevada (1325 - 6540  $\mu\text{S/cm}$ ) do que só um poço (com CE de 1900  $\mu\text{S/cm}$ ) tinha problemas.

### 2.3 A desintegração mecânica

Há vários processos de desintegração mecânica que podem facilitar a desintegração total:

1. A desintegração pela pressão alta do material ao lado do poço
2. A desintegração pelo impacto mecânico dos baldes na parede do poço
3. A desintegração pelo crescimento de cristais nos poros pelas mudanças na humidade
4. A desintegração pela força mecânica de ferro corroído

#### 2.3.1 Pressão do material do lado

A TNO (1985) fez uma análise do risco deste processo de pressão externa, e concluiu que as anilhas têm força suficiente para resistir a pressão. Todavia a pressão pode ser mais importante, quando a anilha desenvolve-se mais fraca, devido o processo de dissolução.

#### 2.3.2 Impacto de baldes

Baldes metálicos que tocam à parede do poço podem ser um factor importante na desintegração e deixam as partículas soltes cair. Este processo é de relevância para explicar a diferença entre a Zona Sul e Cacheu/São Domingos. Na Zona Sul usavam-se baldes metálicos; em Cacheu/São Domingos baldes de borracho. Neste momento só 5% dos poços ainda estão equipados com baldes metálicos.

#### 2.3.3 Crescimento de cristais

Nas zonas de flutuações de água, o sal que está nos poros pode formar cristais, se o nível baixa. Estes cristais podem crescer, cada vez que os poros são molhados. Pela pressão das cristais nos poros fechados, o betão pode fracturar. Isto pode acontecer se a água for muito salgada. Não se estima que este processo é de importância na maioria dos poços.

#### 2.3.4 Ferro corroído

Nas anilhas porosas implantavam-se 2 barras circulo de ferro como revestimento no topo e na base para dar mais firmeza às anilhas durante o transporte. As barras não centradas, foram facilmente atingível para a água agressiva, que resulta numa corrosão rápida do ferro. Ferro corroído faz o betão partir e pode ser um factor na desintegração. Até agora, este processo nunca foi verificado nos poços.

### 3. ANÁLISE DOS ESTUDOS QUÍMICOS

#### 3.1 Estudos químicos

Neste relatório os seguintes estudos foram utilizados:

1. O estudo de 1986 (Talsma e Kramer), em que uma selecção de poços, furos manuais e fontes tradicionais foram analisados com instrumentos sofisticados e por pessoal bem treinado em Buba (Sector de Bedanda), Gabu e São Domingos/Cacheu
2. O estudo actual (de 1996), em que quase todos os poços e furos manuais e uma selecção pequeno de fontes tradicionais na Zona Sul, bem como uma selecção pequena de poços em São Domingos foram analisados com instrumentos simples
3. Um estudo em Moçambique (Marseille 1991), em que alguns poços foram analisados durante alguns meses.

##### 3.1.1 Estudo de 1986

Em 1986, o SNV iniciou uma pesquisa química para melhor conhecer o processo de desintegração do betão nas anilhas de filtro (Kramer e Talsma, 1986). Neste estudo amostras foram tomadas numa selecção de poços melhorados com baldes e bombas, de poços tradicionais e de furos manuais nas regiões de Tombali, Gabu e Cacheu/São Domingos. Este capítulo é principalmente baseado nos dados recolhidos neste estudo. É pena, que este estudo não fez um inventário completo em que os dados de desintegração e os factores de influência podiam ser relacionados com os dados químicos.

Originalmente, o estudo planificou estudar as mudanças na qualidade de água, quando a água entra nos poços, por comparar a qualidade de água em poços melhorados com a qualidade em furos próximos de pesquisa. Pela grau de in-transparência e o teor de ferro nas águas dos furos de pesquisa, isto não era possível. Por isso, o estudo comparava a qualidade de água nos poços melhorados com a qualidade nos furos e poços tradicionais, onde não havia uma influência de dissolução de cimento. Por isso só se pode utilizar as médias na análise.

O estudo excluiu as fontes com teores de Sais Totais acima de 400 mg/l, porque a presença de Cloretos podia influenciar a análise do processo.

O estudo também concluiu que era necessário fazer as análises logo na fonte, em vez de levar as amostras para o laboratório. Dentro dum período de 14 dias, o pH subiu 0,3 e 1,3 unidades num frasco enchido completamente e meio enchido, respectivamente. Depois de 4 semanas, o pH subiu 1,5 unidades em ambas as amostras. Por isso, os dados das amostras do projecto mesmo, não são aptos para analisar os equilíbrios no pH, CO<sub>2</sub> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, porque as amostras foram analisadas no laboratório.

##### 3.1.2 O estudo de 1996

O estudo químico de 1996 tinha como objectivo geral de ter uma ideia global da qualidade de água em relação do processo de dissolução de betão, bem como dos outros parâmetros relevantes para a recuperação, sendo o teor de ferro e nitratos.

As análises hidro-químicas na pesquisa actual não são tão sofisticadas como as análises anteriores. As análises foram feitas com instrumentos simples e com pouca supervisão e têm dados erráticos e dados com pouca precisão. Razões para o uso de instrumentos simples eram:

- \* a escolha da metodologia
- \* falta da necessidade de repetir o estudo de 1986
- \* altos custos de instrumentos sofisticados
- \* longa duração de análises detalhados
- \* limitações do pessoal e da supervisão

TABELA 2  
COMPARAÇÃO DADOS QUÍMICOS DE 1986 E 1996 (ver Anexo III)

	Altitude	Material Aquif.	Estado revest. capt.	pH 1996	pH 1986	d pH	CE 1996	CE 1986	d CE	CO <sub>2</sub> 1996	CO <sub>2</sub> 1986	d CO <sub>2</sub>	DurCa 1996	Dur Ca 1986	d Dur Ca
	a	b	c				uS/cm			mg/l			mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Pocos SDomingos	1,50	1,00	1,33	6,80	6,12	0,76	168	147	35	46	128	-79	61	74	-3
Pocos Bedanda	1,56	2,20	1,78	6,16	6,09	0,07	103	97	6	44	72	-32	22	34	-12
Furos Bedanda	1,45	2,13		5,13	5,13	0,00	79	57	21	41	63	-21	12	12	0

a: 1=planalto; 2 = zona de transicao; 3=vale;planicie

b: 1= areia; 2= arenosa; 3= argilosa; 4=argilo-lateritico

c: 1= sem problemas; 2=pedacos soltos; 3=boracos nas anilhas; 4= anilhas quebradas

TABELA 3  
MEDIAS HIDRO-QUÍMICAS NA ZONA SUL E SAO DOMINGOS (Estação Seca)

	Temperatura	pH	Conductividade Eléctrica	NO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	Fe	Dureza Calcica	Dureza Total	Alcalinidade Total	
	C		uS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l CaCO <sub>3</sub>	mg/l CaCO <sub>3</sub>	mg/l CaCO <sub>3</sub>	
<b>ZONA SUL 1996</b>										
Pocos tradicionais		27,9	5,93	188	9	52	1,3	37	50	22
Furos manuais		28,4	5,90	80	11	53	0,6	32	41	20
Pocos melhorados		28,3	6,38	238	10	66	1,2	111	119	40
<b>BEDANDA 1996 (a)</b>										
Furos manuais		28,2	5,23	85	12	42	0,3	19	37	12
Pocos melhorados		28,2	6,26	133	11	57	0,9	54	80	40
<b>BEDANDA 1986 (a)</b>										
Pocos tradicionais			5,33	145		60		11		
Furos manuais			5,12	53		73		26		
Pocos melhorados			5,97	112		71		36		
<b>SAO DOMINGOS 96 (a)</b>										
Pocos melhorados		28,5	6,80	142	12	42	0,5	47	54	45
<b>SAO DOMINGOS 86 (a)</b>										
Pocos melhorados			6,21	171		131		96		

a: Não pode se comparar os dados de tabela 2 e 3, porque as médias da tabela 2 são baseadas numa selecção limitada dos poços de tabela 3

### 3.1.3 Comparação dos dados dos diferentes estudos

Tabela 2 dá uma comparação dos dados químicos dos estudos de 1986 e 1996 das mesmas fontes em Bedanda e São Domingos. Pode se observar que há grandes variações dos valores nas fontes individuais em Bedanda e São Domingos. Entretanto, as médias do pH, CE e Dureza em Bedanda não são significantemente diferentes. Mas em São Domingos há grandes desvios.

As razões para as desvios podem ser o seguinte:

1. desvios sistemáticos por causa de diferenças no método de análise.
2. desvios não sistemáticos por causa da pouca precisão nas análises individuais
3. desvios por mudanças reais na qualidade de água (sazonais ou sobre os anos)

Por causa da supervisão limitada, é muito difícil indicar qual razão é o mais plausível.

Há muitos factores que podem contribuir para a flutuação da qualidade de água numa fonte. Alguns factores são.

1. A estação. Tabelas 4 e 5 mostram que há grandes mudanças no pH, CE, dureza, e outros sais entre a estação seca e o início da estação húmida. Estas mudanças foram verificadas em Moçambique, também.
2. A hora do dia: a influência deste factor foi verificado e quase não tem influência: as vezes há variações mas não estão ligadas à hora do dia
3. Mudança do aquífero que contribui para o poço: muitos poços/furos são abastecidos por 2 aquíferos: um aquífero superior e um aquífero mais profundo. A qualidade da água nestes aquíferos pode ser diferente. Quando o aquífero superior secar, a qualidade do aquífero profundo vai dominar.
4. Mudança da qualidade de água num aquífero pela contaminação, por mudanças na recarga 'natural'; por uma salinização do aquífero; ou por desflorestação

O facto que em 2 dos 2 furos manuais havia uma subida grande do pH e num dos 2 furos havia um grande subida da CE e do CO<sub>2</sub> mostra que os factores 3 ou 4 podem ser de importância.

Uma outra prova que não todas as variações são devido ao tipo ou precisão de medição é o facto que os poços em que as anilhas estão destruídas o pH, a CE e a Dureza Cálcica baixavam muito mais entre 1986 e 1996 que nos outros poços. Isto pode-se explicar com o hipótese que nestes poços o processo de desintegração/solução foi intensivo em 1986 (alta pH, CE e Dureza), mas diminuiu quando a anilha arrombou e a água podia entrar no poço sem passar o filtro.

O problema das desvios e da precisão limitada dos dados de 1996 é, que conclusões na base de diferenças entre 1986 e 1996 devem ser feitas com cuidado e nunca podem ser consideradas como provas mas só como indicações.

Na base da comparação dos dados dos dois estudos ficou claro, que o estudo de 1986 só foi feito no sector de Bedanda (um dos 9 sectores no Sul). A tabela 3 mostra, que os valores médias de Bedanda deviam muito das médias da zona Sul. O mesmo vale para a parte dos poços destruídos em Bedanda, que é só 15%, contra 55% na zona Sul. Isto explica parcialmente, porque na base dos dados químicos, não era possível explicar a diferença entre a intensidade do processo de destruição na Zona Sul e em São Domingos; os dados de Bedanda não foram representativos.

#### Conclusões:

- \* O problema das desvios e da precisão limitada dos dados de 1996 é, que conclusões na base de diferenças entre 1986 e 1996 devem ser feitas com cuidado e nunca podem ser consideradas como provas mas só como indicações.
- \* Os dados do estudo de 1986 não foram representativos para a Zona Sul.
- \* No fim da estação seca a água original pode conter mais sais dissolvidos que no início
- \* Com a arrombamento das anilhas, o processo de dissolução pode diminuir, porque o pH, CE e dureza nestes poços baixaram significantemente entre 1986 e 1996

Desintegração de betão em poços em Guiné-Bissau

TABELA 4: MUDANÇAS DA QUALIDADE DE AGUA ENTRE ESTAÇÃO SECO E HUMIDO EM FUIROS MANUAIS E POÇOS

	CE-seco	CE-hum	dCE	pH-seco	pH-hum	dPH	CO2-seco	CO2-hum	dCO2	DurCa-seco	DurCa-hum	dDureza Ca	Fe-seco	Fe-hum	dFe	NO3-seco	NO3-hum	dNO3
<b>Furos manuais</b>																		
Q002	39	37	-2	7,00	4,73	-2,27	75	75	0	2	17	15	0,4	1,5	1,1	4,4	4,4	0,0
Q307	29	31	2	6,90	5,00	-1,90	90	100	10	5	17	12	0,3	0,3	0,0	8,8	4,4	-4,4
Q318	31	53	22	5,90	4,38	-1,52	38	85	47	18	17	-1	0,3	0,2	-0,1	4,4	22	17,6
Q027	18	77	59	7,00	4,70	-2,30	25	90	65	5	17	12	0,3	0,6	0,3	8,8	17,6	8,8
Q004	17	19	2	5,69	3,87	-1,82	45	65	20	5	17	12	0,3	0,2	-0,1	4,4	4,4	0
Q091	67	75	8	5,80	4,60	-1,20	20	70	50	8	17	9	0,3	0,4	0,1	22	22	0
Q077	75	93	18	6,90	5,00	-1,90	36	55	19	20	34	14	0,3	0,2	-0,1	13,2	26,4	13,2
Q025	24	24	0	6,80	4,87	-1,93	120	100	-20	7	17	10	0,3	0,5	0,2	4,4	4,4	0
Q216	88	137	49	7,00	4,83	-2,17	70	40	-30	11	17	6	0,4	0,7	0,3	8,8	30,8	22
Q263	20	95	75	5,56	5,04	-0,52	65	50	-15	34	34	0	0,3	0,2	-0,1	22	30,8	8,8
Q115	10	73	63	5,75	4,64	-1,11	50	65	15	34	17	-17	0,2	0,2	0	22	30,8	8,8
MEDIA	38	65	27	6,39	4,70	-1,69	58	72	15	14	20	7	0,3	0,5	0,1	11	18	6,8
MUDANÇA			70%			-27%			25%			48%			47%			61%
<b>Pocos</b>																		
Q032	72	85	13	6,70	5,75	-0,95	90	55	-35	17	51	34	0,4	0,2	-0,2	4,4	4,4	0,0
Q074	35	52	17		6,60		25	30	5	11	34	23	0,6	0,2	-0,4	4,4	4,4	0,0
T385-melh	113	141	28	6,00	5,10	-0,90	24	60	36	28	51	23	0,6	0,5	-0,1	8,8	17,6	8,8
Q012	46	30	-16		3,90		90	95	5	8	17	9	0,5	0,4	-0,1	8,8	4,4	-4,4
Q088	30	26	-4	6,50	4,50	-2,00	85	95	10	7	17	10	1	0,5	-0,5	8,8	4,4	-4,4
MEDIA	59	67	8	6,40	5,17	-1,28	63	67	4	14	34	20	0,6	0,4	-0,3	7,0	7,0	0,0
MUDANÇA			13%						7%			139%			-42%			0%

TABELA 5: MUDANÇAS DA QUALIDADE DE AGUA ENTRE POCOS TRADICIONAIS E MELHORADOS E ENTRE A ESTAÇÃO SECO E HUMIDO

	CE-seco	CE-hum	dCE	pH-seco	pH-hum	dPH	CO2-seco	CO2-hum	dCO2	DurCa-seco	DurCa-hum	dDureza Ca	Fe-seco	Fe-hum	dFe	NO3-seco	NO3-hum	dNO3	Profundidade
T385-trad	191	170	-21	6,60	4,00	-2,60	46	55	9	23	34	11	0,5	0,4	-0,1	13,2	26,4	13,2	7,90
T385-melh	113	141	28	6,00	5,10	-0,90	24	60	36	28	51	23	0,6	0,5	-0,1	8,8	17,6	8,8	9,67
Mudanca t-m	-78	-29		-0,60	1,10		-22	5		5	17		0,1	0,1		-4,4	-8,8		
T355-trad	46	52	6	5,60	3,50	-2,10	40	65	25	10	17	7	0,5	0,5	0,0	17,6	13,6	-4,0	11,82
T355-melh		29			5,00			70			109			1,5			13,2		11,45
Mudanca t-m		-23			1,50			5			92			1,0			-0,4		
T188-trad	26			5,7			56			8			0,7			8,8			9,9
T188-melh	42			5,8			58			11			0,2			8,8			
Mudanca t-m	14			0,1			0			3			-0,5			0			

### 3.2 Qualidade original

Tabela 3 dá um resumo das médias, encontradas nas 3 regiões no estudo de 1986 e nas 2 regiões do estudo de 1996 na estação seca.

A água nos furos e poços tradicionais é ácida, muito suave e contém muito Ácido Carbónico.

A água em Cacheu/São Domingos é a mais agressiva com um pH média de 4,6, CO<sub>2</sub> total de 86 mg/l e uma dureza de 13 mg/l CaCO<sub>3</sub>. Não é muito diferente da água em Gabu. A água em Bedanda é um pouco menos agressiva, com pH 5,15, CO<sub>2</sub>-total de 60 mg/l e uma dureza de 13 mg/l CaCO<sub>3</sub>. Enquanto a água na inteira Zona Sul é a menos agressiva com uma pH média de 5,93, um CO<sub>2</sub>-total de 52 mg/l e uma dureza cálcica de 35 mg/l CaCO<sub>3</sub>. Entretanto, a água de todas as mostras de furos e poços tradicionais é muito agressiva (figura 3).

Comparando as médias de diferentes parâmetros químicos com a percentagem de poços mais afectados em cada sector (tabela 6 e 7) pode-se concluir que:

1. há uma relação positiva com o teor calculado de CO<sub>2</sub>-agressivo. Comparando a média com as médias em Gabu e São Domingos, a relação desaparece, porque as médias do CO<sub>2</sub>-agressivo estão mais elevadas, enquanto os poços estão menos afectados.
2. não há uma relação directa com o pH média, a Conductividade média, o CO<sub>2</sub>-total, a Dureza cálcica, a dureza total e a alcalinidade.

O grau da agressividade não é uma indicação para a velocidade da desintegração das anilhas, porque a zona com a água menos agressiva tem a percentagem mais elevada com poços afectados. Pode-se concluir, que todas as áreas têm água muitíssimo agressiva, mas que a razão da desintegração não se pode relacionar unicamente ao grau da agressividade mas à desintegração é influenciada por outros factores também.

Na base dos dados de alguns poços tradicionais e furos manuais com pequena distância para um poço melhorado e das médias dos estudos diversos pode-se concluir que:

1. A Conductividade Eléctrica nos furos manuais é muito mais baixa que nos poços tradicionais
2. O pH nos furos manuais é um pouco mais baixa que nos poços tradicionais
3. Os dados de CO<sub>2</sub> e Dureza não dão uma relação única
4. Os furos têm menos ferro que os poços, especialmente na estação seca
5. O valor média dos nitratos é comparável (9-11), mas pode aumentar muito no início da época húmida, especialmente nos furos (o chamado "Nitrate push" no clima tropical).
6. A Alcalinidade é comparável

As diferenças 1, 2 e 4 podem ser explicados por 2 razões:

1. Os furos são feitos em material arenoso e muitos poços são feitos em aquíferos argilosos. As argilas podem conter mais minerais dissolvidos.
2. Os furos são feitos em aquíferos mais profundos

O segundo hipótese parece menos relevante porque o valor de nitratos é comparável.

Tabelas 4 e 5 mostram as mudanças da qualidade entre o fim da estação seca e o início da estação húmida. Na base destes dados pode-se concluir que:

1. o pH desce muito no início da estação húmida nos furos (até 1,7 unidades) e nos 2 poços tradicionais (2,1 e 2,6 unidades) e torna a níveis ácidos perigosas (dissolução de Alumínio etc)
2. a Conductividade Eléctrica cresce muito nos furos (aumento de 70%)
3. o teor de CO<sub>2</sub> cresce bastante nos furos com 25%
4. também o teor de ferro e nitratos nos furos aumenta com 47% e 61% na média

Há duas explicações as mudanças 2-4:

1. a água de recarga traz sais acumulados no sub-solo como nitratos, ferro etc.
2. na época húmida desenvolve-se um aquífero sazonal nos laterítos, que contém mais sais que o aquífero mais profundo

A baixa do pH é mais difícil explicar. Normalmente o pH sobe por causa do aumento de sais totais

Desintegração de beta em pocos em Guiné Bissau

TABELA 6  
DADOS HIDRO-QUÍMICOS DE FUIROS DO SUL (1996)

FUIROS SUL	% pocos mais afectados pela desintegracao	Altitude	Temperatura	pH	CE	NO3	CO2 total	CO2 agr. calculado	Fe	Dureza Calcica	Dureza Total	Alcalinidade
	%	a			uS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l CaCO3	mg/l CaCO3	mg/l CaCO3
Bedanda	16	1,6	29,2	5,23	85	12	42	33	0	18	37	12
Quebo	21	1,7	29,0	5,58	82	11	43	23	0	9	31	11
Tite (b)	29	1,0	29,5	5,60	137	9	107	71	2	51	51	14
Cacine	34	1,8	27,8	5,85	89	9	52	30	0	41	51	27
Buba	42	1,3	28,6	5,76	68	10	51	31	0	30	37	17
Como (c)	50	1,7	29,0	6,52	126	11	41	11	1	50	58	28
Catio	63	1,5	28,1	5,91	87	13	67	37	0	53	60	24
Empada	68	1,1	28,7	6,21	50	13	49	22	0	19	27	17
Fulancuno	88	1,4	29,0	5,70	92	8	74	47	2	23	29	12
MEDIA	48	1,4	28,4	5,90	80	11	53	32	1	32	41	20

a: 1=planalto; 2 = zona de transicao; 3=vale;planicie  
 b: No Sector de Tite so 3 furos foram analisados  
 c: Em Como estao incluidos furos com agua salobra e basica

TABELA 7  
COMPARACAO DE DADOS HIDRO-QUÍMICOS DE FUIROS E POCOS NOS SECTORES DA ZONA SUL (1996)

Sector	% desintegrado	pH			CE			Dureza			CO2			Alcalinidade			Aumento Dureza Calcico nao carbonico	Porcentagem Aumento Dureza Carbonica nao carbonato			
		furos	pocos	d	furos	pocos	d	Dur Ca furos	Dur Cal pocos	d Dur Cal	CO2tot furos	CO2tot pocos	dCO2 tot	Alcalinidade furos	Alcalinidade pocos	dAlcalinidade					
					uS/cm		mg/l CaCO3				mg/l		mg/l CaCO3		mg/l CaCO3	mg/l CaCO3	%				
Bedanda	16	5,23	5,92	0,69	85	133	48	19	54	35	42	57	15	33	32	-2	12	40	28	7	20%
Quebo	21	5,58	6,08	0,50	82	82	0	9	38	29	43	56	13	29	28	-1	11	28	17	12	41%
Cacine	34	5,85	6,43	0,58	89	204	115	41	105	64	52	79	27	30	30	0	27	27	0	64	100%
Buba	42	5,76	5,92	0,16	68	257	189	30	114	84	51	67	16	31	37	6	17	28	11	73	87%
Catio	63	5,91	6,37	0,46	87	132	45	53	101	48	67	60	-7	37	24	-13	24	37	13	35	73%
Empada	68	6,21	6,54	0,33	51	123	72	19	82	63	49	57	8	22	19	-3	17	57	40	23	37%
Fulacunda	88	5,70	6,46	0,76	92	87	-5	23	57	34	74	73	-1	47	27	-20	12	30	18	16	47%
MEDIA	47	5,75	6,25	0,50	79	145	66	28	79	51	54	64	10	33	28	-5	20	38	18	33	64%

Sectores extraordinarios

Como (a)	50	6,52	7,3	0,78	126	1061	935	50	412	362	41	63	22	14	5	-9	28	91	63	299	83%
Como (b)	50	6,78	7,49	0,71	126	191	65	50	329	279	41	44	3	11	1	-10					
Tite (c)	29	5,80	6,45	0,85	137	321	184	51	123	72	107	91	-16	71	34	-37	14	36	22	50	69%

a Inclui pocos com agua salobra e pocos com agua com pH>8  
 b Excluidos pocos com agua salobra;  
 c No sector de Tite so 3 furos foram analisados  
 d CO2 Agr = (CO2tot\*(-0,344\*pH + 2,59)); Correlecao = 0,95



(cálcio etc.), como acontece nas amostras em Moçambique (ver figura 7). Um hipótese é, que há pirites (Fe-sulfatos) nas argilas marinhas na zona em que o nível de água varia. Durante a época seca, o pirite está num processo de oxidação que produz ácidos. Estes ácidos são dissolvidos quando o nível de água sobe. O processo de oxidação/redução de pirites é bem conhecido nas argilas de mangal salgada e resulta num pH abaixo de 4.

Esta diminuição do pH pode ser um factor muito importante na desintegração do betão. Isto pode ser uma explicação porque os valores de pH tomados na estação seca não podem explicar a intensidade do processo em várias partes da área. É pena que não há dados para o socolo cristalino. Também falta de conhecimento da existência de pirites ou outros elementos que produzem acidez. Seria útil verificar a existência de pirites do Centro de Geologia do IICT em Lisboa, que está a fazer um estudo detalhado (1:50.000) da cobertura Meso-cenozóica com um estudo geo-químico comparativo.

Uma outra observação é que na comparação entre o pH e a posição dos furos no terreno, não se encontrou uma relação relevante. Por isso pode-se excluir o hipótese que a água nas depressões é mais ácida que nos planaltos.

#### Conclusões:

- \* A água em todas as zonas é muitíssimo agressiva, especialmente em São Domingos e Gabu e menos na Zona Sul
- \* A razão da desintegração não se pode relacionar só ao grau da agressividade mas à desintegração é influenciada por outros factores também
- \* A água nos aquíferos captados pelos furos é mais ácida que a água nos poços tradicionais, provavelmente relacionado ao material aquífero
- \* O pH da água original desce drasticamente no início da época seca
- \* O pH da água nas vales/planícies não é significantemente diferente da água nos planaltos

### 3.3 Mudança de água nos poços

O estudo de 1986 falhou na comparação da qualidade de poços individuais com a água original em piezómetros, poços tradicionais ou furos pertos. No estudo de 1996 esta comparação foi planificada novamente. Mas o estudo de 1996 falhou também pelas seguintes razões:

- \* foram feitas só 14 análises de poços tradicionais, em vez das 50 planificadas, porque havia poucos casos em que um furo estava perto dum poço tradicional (<500m) em condições topográficas semelhantes, e muitos poços tradicionais não tinham água
- \* Destas 14 amostras, só 9 podiam ser relacionadas a um poço conhecido; dos outros a distância e a posição não eram conhecidas
- \* Destes 9 poços, só 7 estavam numa distância menos que 100 m, os outros estavam em 300 - 390 m.
- \* Destes 7, um poço não tinha dados da original, um poço tinha dados duvidosos, um poço estava relacionado a um furo e só 4 poços tradicionais estavam ligados a poços melhorados pertos (15 e 26 m).

Nos 2 poços tradicionais úteis a CE, a Dureza e a Alcalinidade são significantemente mais baixa que nos poços melhorados pertos. Os dados do pH (7.9!) não eram viáveis. Estes subidas correspondem com as subidas das médias dos dados, que corresponde com o processo de dissolução do betão.

Na tabela 7 são resumidas as mudanças nos diferentes sectores da Zona Sul e a percentagem de poços muito afectados. Desta tabela pode-se concluir que não há uma relação directa entre a percentagem de poços muito afectados e a mudança das médias químicas entre a água original e a água nos poços melhorados. A subida da Dureza Cálcica, que é uma indicação da intensidade de dissolução nos poços, é a mais baixa nas zonas com menor e maior destruição. A baixa subida nas zonas com menor desintegração pode se relacionar à velocidade limitada do processo de dissolução

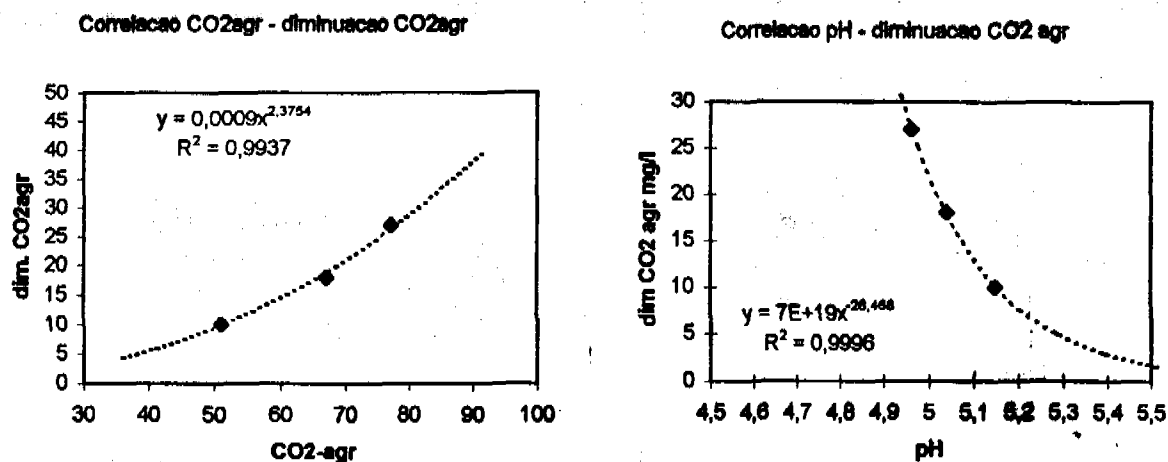
**Tabela 8 · Mudanças nas médias hidro-químicas de furos/poços tradicionais e poços melhorados**

(a) em mg/l	pH	Dureza mg/l CaCO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub> -agr mg/l	CO <sub>2</sub> -total mg/l
Zona Sul total 96	5,93 → 6,83	37 → 111		52 → 66
Zona Sul corrigida 96	5,81 → 6,25	28 → 79	(29 → 25)	50 → 58
Buba/Bedanda 96	5,13 → 6,16	12 → 34	(10 → 6)	41 → 44
Buba/Bedanda 86	5,15 → 5,97	13 → 36	51 → 41	60 → 73
Gabu 86	5,04 → 6,24	7 → 48	67 → 49	81 → 99
São Domingos 86	4,96 → 6,21	13 → 96	77 → 50	87 → 131
São Domingos 96	→ 6,80	→ 61	→	→ 46

(b) em mmol/l	pH	Dureza mmol/l CaCO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub> -agr mmol/l	CO <sub>2</sub> -total mmol/l
Zona Sul corrigida 96	5,81 → 6,25	0,28 → 0,79		1,14 → 1,32
Buba/Bedanda 96	5,13 → 6,16	0,12 → 0,34		0,93 → 1,00
Buba/Bedanda 86	5,15 → 5,97	0,13 → 0,36	1,16 → 0,94	1,37 → 1,65
Gabu 86	5,04 → 6,24	0,07 → 0,48	1,52 → 1,12	1,83 → 2,24
São Domingos 86	4,96 → 6,21	0,13 → 0,96	1,74 → 1,14	1,98 → 2,97

(c) a mudança	δpH	δDureza mmol/l CaCO <sub>3</sub>	δCO <sub>2</sub> -agr mmol/l	δCO <sub>2</sub> -total mmol/l
Zona Sul corrigida 96	0,90	0,51		0,16
Buba/Bedanda 96	1,03	0,22		0,07
Buba/Bedanda 86	0,82	0,23	- 0,22	0,28
Gabu 86	1,20	0,41	- 0,40	0,41
São Domingos 86	1,25	0,83	- 0,60	0,99

**Figura 6:** Correlação entre a diminuição média de CO<sub>2</sub>-agressiva e (a) o teor média original de CO<sub>2</sub> agressiva e (b) o pH média original (só as médias de 1986)



nestes poços. A baixa subida em Fulacunda corresponde com o hipótese, que nos poços destruídos a água não necessita passar os poros nas anilhas, que resulta numa diminuição do processo de dissolução.

Na tabela 8 podem-se verificar as mudanças entre as médias nas 3 regiões diferentes.

As mudanças em Bedanda (no estudo de 1986 e 1996) são menores que nas outras regiões. Contrário às conclusões de estudos anteriores, as mudanças na Zona Sul são mais elevadas que em Gabu e comparáveis com as mudanças em São Domingos.

A Figura 6 tenta dar uma relação entre o teor de  $\text{CO}_2$ -agressiva na água original (nos furos) e a diminuição do  $\text{CO}_2$  agressiva quando entra nos poços (a) ou entre o pH e a diminuição do  $\text{CO}_2$  (b). Estes gráficos são baseados nos dados de 1986. Incluindo as médias dos sectores do  $\text{CO}_2$ -agressivo calculado de 1996, não se verifica esta relação bonita. Por isso parece impossível fazer conclusões únicas destes dados ou há inexactidões ou enganos demais nos dados de 1996. Especialmente o teor de  $\text{CO}_2$  total é um valor muito duvidoso, devido ao maneira de medição e a influência do pH ácido na medição.

### O processo

Quando a água passa pelas anilhas dos poços melhorados, o Cálcio dissolve-se na água. Por isso, os valores de Cálcio aumentam na água dos poços, e neutralizam uma parte do  $\text{CO}_2$  livre. Como consequência há um aumento da Dureza ( $\text{CaCO}_3$ ), pH e Conductividade Eléctrica e uma diminuição de  $\text{CO}_2$  agressivo. O aumento da Dureza e a diminuição de  $\text{CO}_2$  agressivo é mostrado nos valores das tabelas 7 e 8. O aumento da dureza é o mais pronunciado em Cacheu/São Domingos. Isto pode ser explicado, porque lá se usa as vezes conchas ( $\text{CaCO}_3$ ) como cascalho em vários poços. A dissolução deste  $\text{CaCO}_3$  resulta num aumento mais pronunciado da dureza nas médias. Uma outra explicação pode ser que o volume de água em Buba é muito mais elevado, que da menos tempo para a água de atingir um equilíbrio, especialmente quando a água está baixa. Em 4 poços em São Domingos a pesquisa mediu um uso diário de  $1,3 \text{ m}^3/\text{d}$  (0,2 - 3,4) contra  $2,2 \text{ m}^3/\text{d}$  (1,5-2,9) em 3 poços na Zona Sul.

A tabela 8c também mostra, que o total de  $\text{CO}_2$  livre aumenta consideravelmente.

Em mmol/l, esta subida é mais ou menos equivalente à subida da Dureza com excepção dos dados de 1996.

Os dados confirmam qualitativamente o processo de dissolução no betão.

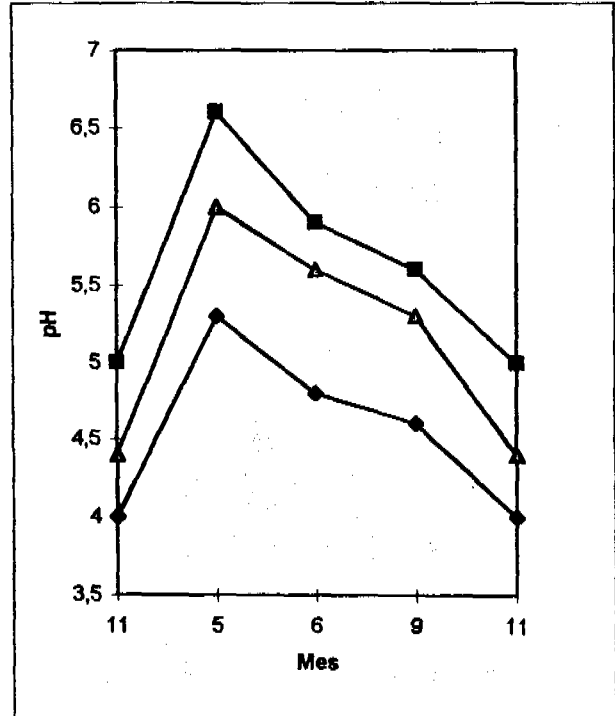
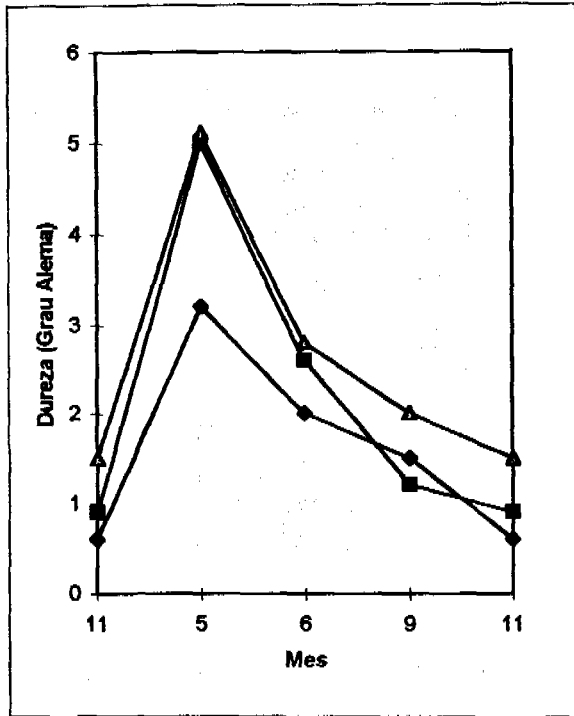
Na teoria a diferença entre a Dureza e a Alcalinidade dá a parte da dureza que não é ligada aos carbonatos. A tabela 3 mostra, que na água original, acerca 40% da Dureza Cálcica não são ligados aos carbonatos (9-15 mg/l  $\text{CaCO}_3$ ). Nos poços melhorados esta diferença aumenta consideravelmente (65% ou 71 mg/l) que quer dizer que a maior parte do aumento da dureza não está ligada ao aumento dos carbonatos. Na teoria a parte do aumento da dureza cálcica associada aos carbonatos (a Alcalinidade) é equivalente ao processo de dissolução de  $\text{CaCO}_3$  (da parte carbonatizada). A parte do aumento da dureza cálcica que não é associada à Alcalinidade é equivalente à dissolução de  $\text{Ca(OH)}_2$ . A última coluna em tabela 7 dá a parte, associado à dissolução do  $\text{Ca(OH)}_2$ . Quer dizer que na média um terço da dissolução é devido a dissolução de  $\text{CaCO}_3$  (pelo processo intermédio da carbonatização) e que de dois terço é devido à dissolução directa do betão. O processo da carbonatização era o mais relevante em Bedanda, Empada, Quebo e Fulacunda. O processo de dissolução directa é o mais relevante em Tite, Catio, Buba e Cacine.

### Influências sazonais

O parágrafo 3.2 mencionou a baixa drástica do pH na água original no início da estação húmida. Nos poços melhorados esta baixa é um pouco menos (1.28 na média contra 1.69 nos furos) e está associado a um crescimento da dureza elevada (139%). Destes dados pode-se concluir que o aumento da acidez na água original resulta num aumento da dissolução de betão (descida menos pronunciada

Figura 7

Variações durante o ano do pH e da Dureza em 3 poços com anilhas compactas na zona costeira em Moçambique (Marseille, 1991).



e subida alta da dureza).

Num estudo em Sofala/Moçambique, encontravam-se as mudanças seguintes entre o início e o fim da estação seca, em anilhas compactas (figura 7):

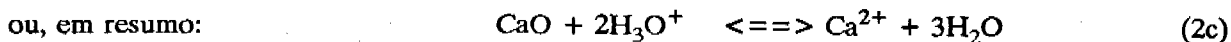
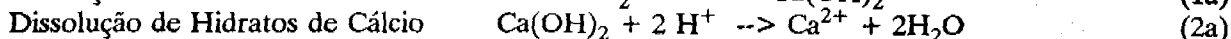
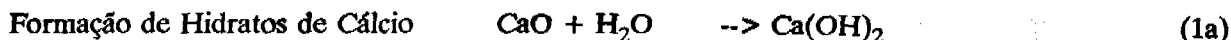
- \* em relação à dureza da água subterrânea, a água nos poços melhorados é 15 - 35 mg/l  $\text{CaCO}_3$  mais dura no início da estação seca, mas desce para os valores da água subterrânea original no fim da estação seca.
- \* em relação ao pH da água subterrânea, a água nos poços melhorados é 1 - 1.5 unidades mais alto no início da estação seca, mas desce para o valor da água subterrânea no fim da época seca.

Estes dados indicam, que o processo de solução é quase ausente no fim da época seca, quando o nível está muito baixo. Nota-se que a água original não tem estas variações maiores que acontece em Mocambique, provavelmente porque em Moçambique há mais Cálcio no sub-solo.

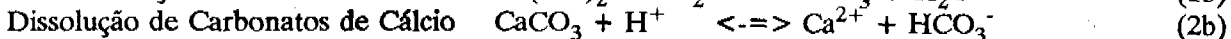
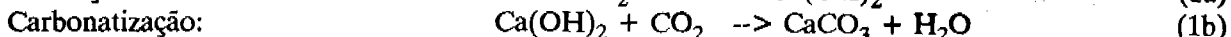
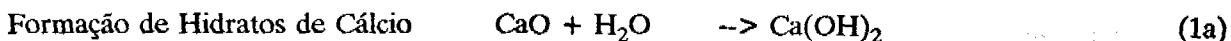
### Dis-equilíbrio do Carbono

Uma mudança que necessita uma análise mais detalhada é o aumento do total de Carbono ('C') nos dados de 1986 entre a água original e a água nos poços melhorados. Não se podem utilizar os dados de 1996 para esta análise por causa dos valores duvidosos.

Se o processo fosse só a dissolução de betão, não deveria haver um aumento do total do Carbono.



Mesmo se o processo segue uma fase intermédia pela formação de  $\text{CaCO}_3$  (Modelo 2) também não há uma mudança final no C: a mesma quantidade de "C" entra na área do poço que sai.



O aumento de Carbono nas amostras só se pode explicar se entra Carbono-extra de fora.

### Origem do Carbono extra

O aumento do valor total de C entre as amostras nos furos/poços tradicionais e os poços melhorados indica que uma parte do "C" extra deve vir de fora. Visto que o aumento de "C" é associado a um aumento de "Ca", pode se concluir que uma parte do C-extra vem da dissolução de  $\text{CaCO}_3$ , em que a  $\text{CO}_3^{2-}$  foi formado num período anterior.

Há 3 hipóteses para explicar a presença de  $\text{CaCO}_3$  no betão:

1. Quase todo o betão já foi carbonatizado durante o período de cura. Neste hipótese, o  $\text{CO}_2$  extra vem do  $\text{CO}_2$  do ar livre (ou de material orgânico no cascalho), que formou o  $\text{CaCO}_3$  durante a cura.
2. A carbonatização do betão aconteceu na primeira fase, enquanto a solução vinha depois. Pode-se pensar em varias alternativas:
  - 2.1 a carbonatização é dominante nos primeiros anos, a dissolução predomina nos anos

- seguintes (não é muito provável; Kramer e Talsma (1986) não encontravam uma correlação relevante entre a qualidade de água e a idade)
- 2.2 a carbonatização acontece na estação húmida, a dissolução predomina na estação seca (não é muito provável; estudos de Guiné e Moçambique indicam, que a dissolução de Cálcio era mais elevada na estação húmida (Marseille, 1991))
  - 2.3 a carbonatização acontece quando o nível de água no poço baixa muito durante o dia; nestes condições o  $\text{CO}_2$  que sai da água como gás ataca o betão. Este "C" armazenado, se dissolve quando o nível sobe (Modelo II);
3. A carbonatização acontece com níveis baixos no poço, onde as anilhas têm contacto com o ar livre (modelo III). Isto acontece na estação seca, enquanto a dissolução está concentrada na estação húmida.

Só nos hipóteses 1 e 3 se pode explicar que o total de "C" aumenta.

Há indicações fortes que o primeiro hipótese é muito relevante.

1. O período de curação foi muito curto; os moldes foram desmontados das manilhas depois de 1 dia. As anilhas novas foram postas na sombra e molhadas 2 vezes em 4 dias; depois as anilhas não foram molhadas mais. Normalmente, o betão tem que ficar molhada durante 20 dias. Senão, a mistura entra em contacto com o ar livre e a mistura não muda em betão, mas em cal (Carbonatos de Cálcio) e a temperatura dentro da mistura aumenta acima de valores aceitáveis. A firmeza de betão que cura só 1 dia é só 20%-30% da firmeza do betão que cura 20 dias. Em betão aberto, que não foi bem molhada, o ar livre pode entrar em todas partes da anilha.
2. Observações de partes de anilhas que nunca foram aplicadas nos poços e sempre estavam no ar livre mostram uma pequena firmeza também. Estas amostras dão uma reacção positiva com fenolftalíne (e HCL) que mostra que o pH é menor que 9, que é uma indicação que o material do betão não é constituído por Silicatos de Cálcio, mas por Carbonatos de Cálcio.

O processo 2.3, onde a carbonatização acontece acima do nível de água no poço e abaixo do nível de água no aquífero, é suportado pelas seguintes factores:

1. Os poços em São Domingos foram feitos em aquíferos arenosos, onde a permeabilidade é alta. Não há grandes variações diárias por causa do uso da água (nos 4 poços em que as variações diárias foram observadas, a variação do nível era uns centímetros).
2. Os aquíferos dos poços mais afectados na Zona Sul são significativamente mais argiloso que os poços menos afectados.
3. Os dados de Moçambique e Guiné mostram que o processo de dissolução é o mais forte na época húmida.

O processo do hipótese 3 (Modelo III) pode acontecer, mas é menos provável, porque a circulação de ar fresco nos poços semi-fechados é limitada.

Os outros hipóteses têm menos suporte das observações no campo.

### Conclusões

- \* A subida da CE, pH, Dureza e Alcalinidade entre a água original e a água nos poços melhorados suporta a teoria da dissolução
- \* Não há uma relação directa entre a mudança de CE, pH e Dureza,  $\text{CO}_2$  total,  $\text{CO}_2$  agressiva e a percentagem dos poços afectados nos sectores da Zona Sul
- \* Os valores de  $\text{CO}_2$  total são duvidosos
- \* Os dados de Guiné e de Moçambique em poços com anilhas fechadas mostram que o processo de dissolução de betão é muito mais pronunciado na estação húmida
- \* A subida do teor de Carbono entre a água original e a água nos poços melhorados indica que na passagem das anilhas  $\text{CaCO}_3$  é dissolvido, que era formado sob a influência do ar (Modelo III) ou já no processo de fabricagem (Modelo I, variante da carbonatização inicial).
- \* Um terço da dissolução do betão parece ser pelo processo de carbonatização, a outra parte pela dissolução directa.

### 3.4 Análises de correlação

A análise de cima é baseada nas médias dos dados.

Há grandes variações entre dados de poços e furos individuais, mas é muito difícil fazer conclusões a partir dos dados de fontes individuais. No relatório de preparação (SAWA/Bouman Março 1996) foram feitas análises de correlação de dois (ou mais) parâmetros de fontes individuais. (Os Anexos VI-VIII desta relatório davam uma representação gráfica de correlações entre o pH, a Conductividade Eléctrica, a dureza ( $\text{CaCO}_3$ ), o  $\text{HCO}_3$ , o  $\text{CO}_2$  total e a percentagem  $\text{CO}_2$  agressiva do  $\text{CO}_2$  total). A melhor correlação encontrava-se entre o pH e a percentagem de  $\text{CO}_2$  agressiva do  $\text{CO}_2$  total. A correlação indica que o processo de dissolução resulta num aumento do pH e numa neutralização do  $\text{CO}_2$  agressiva. Mas a variação entre diferentes poços ainda é alta.

A correlação entre a Conductividade Eléctrica e a Dureza era fraca nas águas originais, com a excepção dos poços tradicionais em Bedanda. Quer dizer, que só nos poços tradicionais em Bedanda, as variações na Conductividade Eléctrica são principalmente determinadas pelo  $\text{CaCO}_3$ .

Nos poços melhorados existe uma boa correlação entre a CE e a dureza. Pode-se concluir que a dissolução do betão é o factor determinante na Conductividade Eléctrica.

O estudo de 1996 também dá possibilidades para fazer análises de correlação entre as médias de alguns parâmetros nos poços mais afectados e nos poços menos afectados.

1. O pH nos poços mais afectados está mais elevado que nos poços menos afectados (6,55 contra 6,37), que indica que o processo de dissolução é mais elevada nos poços mais afectados.
2. a CE nos poços mais afectados está menos elevado (150 versus 290  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Este valor é muito influenciado por umas amostras salobres nos poços não destruídos
3. O valor de  $\text{CO}_2$  total está mais elevado nos poços mais destruídos (79 contra 59  $\text{mg}/\text{l CO}_2$ ), suportando a dissolução mais elevada.
4. A dureza Cálcica nos poços mais afectados (125  $\text{mg}/\text{l}$ ) está mais elevada que nos poços menos afectados (103  $\text{mg}/\text{l}$ ) e nos furos (32  $\text{mg}/\text{l}$ ). O processo é evidente.
5. A alcalinidade nos poços mais afectados (44) e menos afectados (41) estão quase iguais, mas deviam muito da alcalinidade nos furos (20  $\text{mg}/\text{l CaCO}_3$ ).
6. O teor de Ferro é o mais elevado nos poços mais destruídos (1,45 contra 1,14  $\text{mg}/\text{l}$ ) e muito mais elevado que nos furos (0,57  $\text{mg}/\text{l}$ ). É uma indicação que o revestimento está atacado pela corrosão, especialmente nos poços mais afectados.

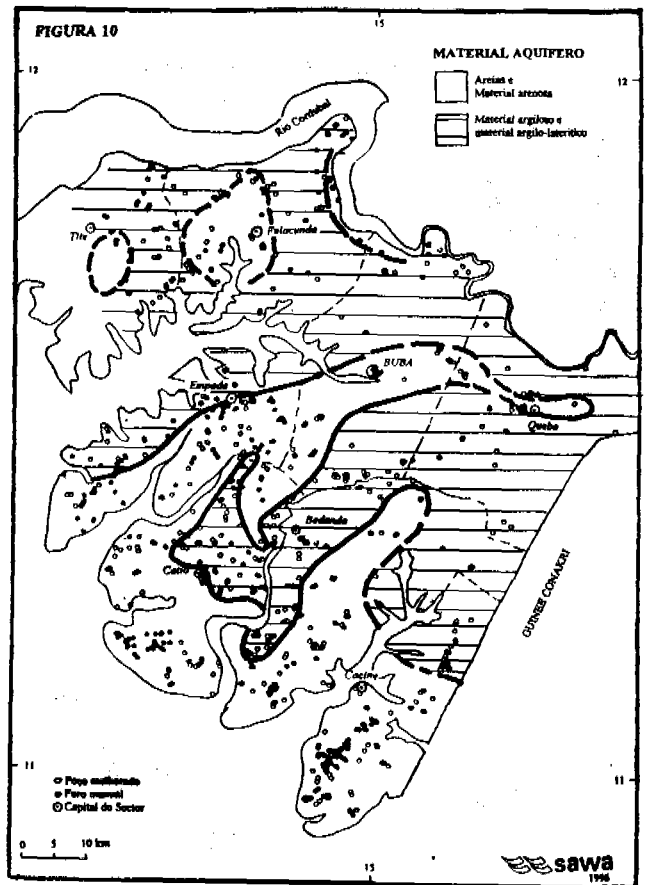
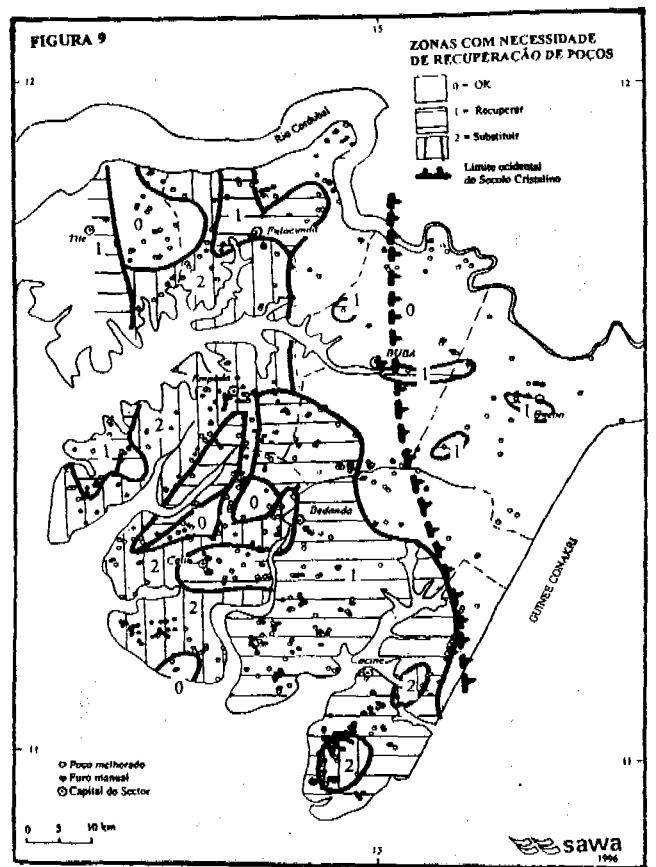
#### Conclusões

- \* As análises de correlação entre parâmetros químicos não resulta em conclusões firmes, com a excepção que a dissolução de betão é o factor determinante para o CE nos poços melhorados
- \* O pH,  $\text{CO}_2$ , Dureza e alcalinidade estão mais elevado nos poços mais afectados que nos poços menos afectados pelo processo de dissolução
- \* O revestimento das anilhas está corroído, visto o alto teor de ferro nos poços mais afectados

### 3.5 Distribuição geográfica

Na base do inquérito de 1996 era possível fazer mapas geográficos de vários parâmetros relevantes. Foram feitos os mapas seguintes:

1. Mapa da distribuição dos poços mais afectados (figura 8)
2. Mapa de zonas com necessidade de recuperar os poços (figura 9)
3. Mapa do material aquífero (figura 10)
4. Mapa da salinidade das fontes de água (figura 11)
5. Mapa do pH das fontes de água (figura 12)
6. Mapa do teor de ferro nos poços melhorados (figura 13)
7. Mapa do teor de ferro nos furos (figura 13)





**Distribuição de poços mais afectados**

A figura 8 mostra, que os poços mais afectados estão bem concentrados numa faixa com orientação Norte-Sul (N5, N6 e N7) com algumas excepções. Os poços no Socolo Cristalino não têm problemas graves, que é evidente na figura 9 também. Os poços na zona costeira de Tite, Como, Bedanda e Cacine também não têm problemas, com excepção de algumas áreas baixas (vales e mangal; N0, N2 e N4). A distribuição não parece ter uma relação directa com os diferentes sub-centros de construção das anilhas.

**Material aquifero**

A figura 10 dá o tipo de material da camada aquífera dos poços e furos manuais, que normalmente fica entre 5 e 14 metros de profundidade. A parte oriental é argilosa (e/ou laterítico) porque representa a cobertura alterada das rochas cristalinas. São argilas com alta estabilidade. A parte costeira é arenosa e representa sedimentos marinhos, como areias fluidas. As areias entram o interior, que representam provavelmente antigos leitos do Rio Cordubal e/ou outros rios. Comparando figura 8 e 10, pode-se fazer a análise que os poços nas zonas arenosas são menos afectados que nas zonas argilosas fora do socolo cristalino.

**Salinidade**

A figura 11 representa a Conductividade Eléctrica da água nas fontes. Na zona costeira, não parece ser uma relação entre o grau de desintegração (figura 8) e a salinidade.

**Acidez (pH)**

A figura 12 representa o pH nas fontes durante o fim da época seca de 1996. Contrário a o que se pode esperar, as zonas com o pH abaixo de 6 são as zonas menor afectadas, que indica que o pH (na época seca) não é uma indicação do risco da desintegração do betão. É de salientar, que o pH nos poços na zona sedimentar baixou-se consideravelmente no início da estação húmida. Um mapa do pH na estação húmida poderia ser muito interessante, e pode resultar numa relação mais directa entre o pH e as zonas mais afectadas.

**Teor de Ferro**

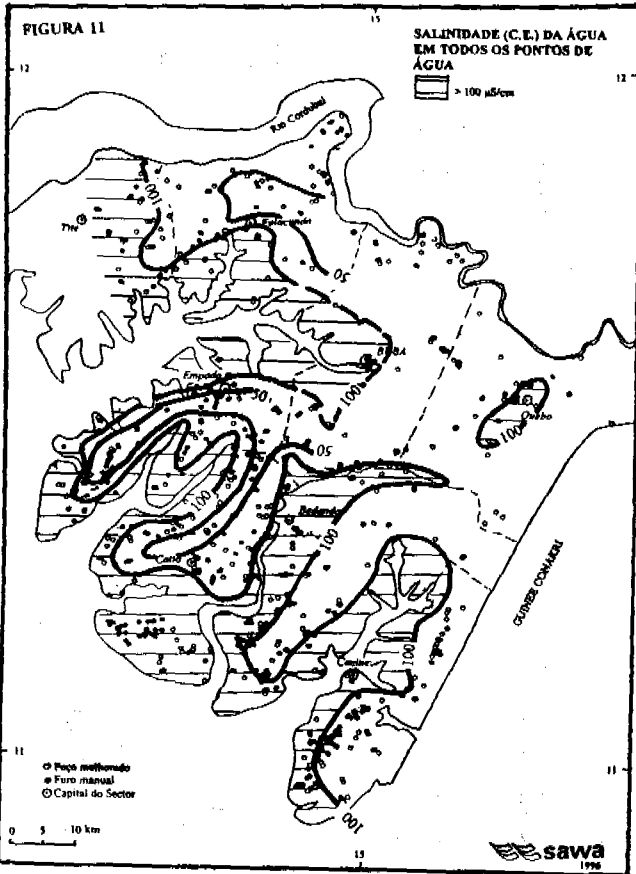
O teor de ferro está muito menos elevado nos furos que nos poços (figura 13 e 14). Mas os centros mais elevados se reconhece nos 2 mapas, que significa que o alto teor de ferro nos poços provavelmente é relacionado a condições naturais e não à corrosão do revestimento das anilhas.

**Hipótese**

A análise da distribuição geográfica dos poços mais afectados e algumas parâmetros mostra, que não existe uma relação com a salinidade ou o pH durante a estação seca. A maioria dos poços afectados estão numa faixa Norte-Este.

O hipótese é, que esta faixa representa sedimentos antigos, formados em condições de mangal salobra. A leste desta faixa estava o continente; a oeste da faixa estava a zona marinha com sedimentos mais arenosos. Na faixa de argilas de mangal havia uma acumulação de pirites. A oxidação/redução destes pirites durante as flutuações sazonais do nível de água explicam as flutuações graves do pH e o mal estado dos poços.

Este hipótese tem que ser verificado por uma análise sedimentológica e a medição do pH durante a estação húmida.



#### 4. IMPORTÂNCIA DOS FACTORES E INDICADORES DE DESINTEGRAÇÃO

A conclusão mais importante do capítulo 3 é, que embora toda a água seja muito agressiva, não se pode relacionar o grau de destruição das anilhas com as indicadores químicas que determinam a agressividade de água (pH, CO<sub>2</sub> e dureza). Quer dizer, que há muitos outros factores importantes, como os factores da qualidade de betão, a flutuação diária do nível de água etc. Na pesquisa de 1996 tentou se verificar a possível importância dos diferentes factores no processo de desintegração na base do inquérito.

O método principal era de comparar as médias de duas populações:

1. os poços menos afectados (pergunta 65: 1 = revestimento sem problemas; 2 = pedaços soltas)
2. os poços mais afectados (pergunta 65: 3 = filtro do revestimento mostra buracos; 4 = filtro quebrado)

Foi utilizado o "Normal Distribution Test" para determinar se a diferença entre as duas populações era significativa. O coeficiente de variação (t) é calculado na base das médias (m<sub>1</sub> e m<sub>2</sub>) e das variâncias (s<sub>1</sub> e s<sub>2</sub>) das duas populações (N<sub>1</sub> e N<sub>2</sub>):

$$t = (m_1 - m_2) / ((s_1^2/N_1 + s_2^2/N_2)^{1/2})$$

- Se  $|t| < 1$  a diferença não é significativa
- Se  $1 \leq |t| \leq 1,65$  a diferença é pouco significativa (80-90% provável que as duas populações não fazem parte da mesma)
- Se  $1,65 < |t| < 2$  a diferença é significativa (90-95% provável que as populações não fazem parte da mesma)
- Se  $2,0 \leq |t|$  a diferença é muito significativa (>95% provável que as populações não fazem parte da mesma)

O Anexo VI dá o coeficiente de variação para todos os parâmetros por sector e para a Zona Sul inteira. Quase todos os parâmetros são quantificados. Cuidado com as médias, porque a quantificação às vezes é hipotética, e não sempre é um valor verdade.

#### 4.1 Factores e indicadores

##### 4.1.1 Qualidade de água

- A1. Acidez da água. A literatura indica que águas com um pH de 6-6,5 são ligeiramente agressivas e têm um pH menor que 6 é muito agressiva. Visto, que a água na maioria dos furos manuais tem um pH entre 4,5 e 5,7, este factor é considerado importante. No início da estação húmida o pH baixa consideravelmente, mesmo até valores abaixo de 4. Esta diminuição é associado a um grande subida da Dureza Cálcica nos poços, que mostra a importância do pH.
- A2. Baixa dureza da água. A literatura indica que águas com uma dureza entre 54 e 90 mg/l CaCO<sub>3</sub> são ligeiramente agressivas e com uma dureza de menor que 54 mg/l são muito agressivas. Porque a Dureza das águas nos furos manuais é entre 0 e 35 mg/l (dados de 1986), este factor é considerado muito importante.
- A3. Teor alto de Ácido Carbónico. Com teores baixos da dureza (menos que 35 mg/l CaCO<sub>3</sub>), quase todo o Ácido Carbónico livre é agressivo (SKAT 1980).
- A1-A3 A combinação de factores A1, A2 e A3 determina a agressividade de água. A combinação de factores A2 e A3 é resumida em figura 3 (1 DG = 17.8 mg/l CaCO<sub>3</sub>). Na base deste figura pode se determinar o grau de agressividade.

Um outro índice é chamado o "Índice de Agressividade" (Hach, 1992)

$$IA = \text{pH} + {}^{10}\log\{\text{Dureza}\} + {}^{10}\log\{\text{Alcalinidade}\} \quad (\text{Dureza e Alcalinidade em mg/l CaCO}_3)$$

(IA < 10: muito agressivo; 10 < IA < 12: média agressiva; IA > 12: não agressiva)

Em 90% das análises das águas subterrâneas nos furos manuais e nos poços tradicionais em 1986 o pH é entre 4,5 e 5,5. Em 90% das mesmas análises a dureza é entre 4 e 20 mg CaCO<sub>3</sub> por litro, sendo o  ${}^{10}\log\{\text{Dureza}\}$  entre 0,6 e 1,3. A alcalinidade nos dados de 1996 é entre 11 e 28 mg CaCO<sub>3</sub> por litro na média, sendo o  ${}^{10}\log\{\text{Alcalinidade}\}$  entre 1,0 e 1,3. Isto significa que o IA na maioria das águas subterrâneas é menos que 7,5, que é muitíssimo agressivo.

Estes 3 factores de agressividade são muito importantes, mas não são os únicos factores.

- A4. Teor alto de cloretos na água. Um teor alto de cloretos na água pode contribuir à formação de cristais e estimular a desintegração mecânica. Também pode contribuir à corrosão do ferro de revestimento. Na pesquisa de 1996, o teor de Sais Totais é muito baixo, com excepção da zona litoral. Na pesquisa de 1996 havia 7 poços com um Conductividade Eléctrica elevada (1325 - 6540) do que só um poço (com CE de 1900) tinha problemas. Por isso o factor não é relevante.  
A Conductividade Eléctrica original foi na média 40% mais elevada nos poços mais afectados, mas esta relação foi muito influenciada por alguns valores excepcionais em Catio (2) e Buba (1).
- A5. Teor alto de sulfatos. Sulfatos podem provocar uma desintegração rápida do betão. As análises do projecto (1980-1985) mostram, que o teor de sulfatos é demasiado pequeno nas amostras analisadas. Só nas áreas de mangal ou nos depósitos de mangal antigos, o teor de sulfatos pode ser bastante elevado, em combinação com um pH < 4. A literatura (Biczók 1972) indica que Magnésio Sulfatos podem ser muito destrutivos para o betão. A ocorrência de MgSO<sub>4</sub> está associada à dissolução de lateritos (silicatos e alumínio) e pode ser um factor relevante.
- A6. O teor baixo de sais totais. A análise dos dados de 1996 dos poços melhorados indica que 45% dos poços muito afectados têm uma CE abaixo de 50 µS/cm, contra 34% nos poços menos afectados. Embora isto pareça uma diferença significativa, uma parte da diferença já se pode explicar pela diminuição da dissolução quando as anilhas já são muito destruídas. Nos sectores, as médias do CE nos furos não podem ser relacionados à percentagem de poços mais destruídos. Por isso o baixo CE não parece um factor adicional à agressividade da água.

#### 4.1.2 factores ambientais

- B1. Geografia. A área costeira de Guiné Bissau é constituída por planaltos pouco elevados (20-40 m acima do mar) e vales e depressões. Nos vales a acumulação de matéria orgânica é mais alta, que pode resultar num pH mais baixo (factor A1) e agressividades mais elevadas. Na análise dos dados dos furos de 1996 a posição no terreno não tinha uma relevância para o pH. De facto em todos os sectores o pH nos furos nos planaltos e nas vales foram mais ou menos iguais. Só em Fulacunda havia uma diferença de 0,29, mas aqui os aquíferos nos planaltos foram mais ácidos que nas baixas!  
Comparando a posição topográfica dos poços mais afectados com a dos menos afectados por sector, havia muitas vezes uma diferença significativa. Em Bedanda, Buba, Como, Empada e Fulacunda há relativamente mais poços mais afectados nos baixos que nos planaltos (coeficiente de significância de 1,01 até 3,62), mas é o contrario em Quebo, Cazine e Tite.

Não é possível explicar a diferença e por isso, este factor não se pode considerar útil como uma indicação.

Na base da distribuição concentrada das áreas com poços mais afectados pode-se concluir que há factores importantes, relacionado à geografia (material aquífero, construtor do poço ou outro).

- B2. Material do aquífero. Em aquíferos de permeabilidade baixa, o processo de Modelo II pode ser muito importante. Isto pode explicar a diferença entre a desintegração rápida na Zona Sul em relação a Cacheu/São Domingos. Na Zona Sul furos foram construídos em aquíferos permeáveis e poços só em aquíferos argilosos. Então em Cacheu/São Domingos, os poços também foram construídos em aquíferos permeáveis. Todos os poços investigados em São Domingos em 1996 tinham areias como o principal material aquífero.

A análise dos dados de 1996 indicava, que a maioria (70%) dos poços mais afectados se encontra em aquíferos argilosos, contra 40% dos poços menos afectados. Sem Como, o valor primeiro mesmo soube para 85 - 90%.

A conclusão é que poços em aquíferos arenosos têm muito menos risco para desintegrar que em aquíferos argilosos. Esta conclusão suporta a importância do Modelo II.

Esta conclusão não quer dizer que os poços nos aquíferos arenosos têm menos risco de tornar secos, porque nos aquíferos arenosos a destruição da anilha tem consequências mais graves que nos aquíferos argilosos. Nos aquíferos arenosos a entrada de areia pode secar o poço enquanto nos aquíferos argilosos as paredes podem ficar estáveis.

A concentração de poços mais afectados em certas zonas pode ser explicada por a existência de substâncias agressivas no sub-solo. O mais provável é, que as argilas marinhas contêm pirite, cuja oxidação pode resultar num pH muito baixo. Este hipótese ainda necessita uma verificação.

- B3. A falta de estabilidade do aquífero tem relação com o grão de destruição do revestimento. Em 42% dos poços mais afectados o aquífero foi classificado de ser não estável, contra 28% nos poços menos afectados. A falta de estabilidade pode provocar pressões mais elevadas nas anilhas. Mas não se pode excluir que valores são influenciados por uma opinião subjectiva do inqueridor. A estabilidade pode explicar a diferença entre a zona do socolo cristalino e as áreas sedimentares. A estabilidade da cobertura alterada acima do socolo pode-se considerar como boa. Nos sedimentos há varias camadas com pequena estabilidade, como lentes de areias flúidas e argilas que crescem muito sob a influência da água.

- B4. Caudal do poço (número de utentes). Um caudal mais elevado resulta numa dissolução mais rápida. Este factor pode ser de relevância, porque o caudal na Zona Sul é mais elevado (99-133-314 hab/poço) que em Cacheu/São Domingos (anónimo 1986). Estes dados foram verificados no estudo de 1996, onde o caudal médio em 4 poços na Zona Sul era 2,2 m<sup>3</sup>/dia contra 1,3 m<sup>3</sup>/dia em 3 poços em São Domingos. O número de utentes por poço foi parte do inquérito, mas falhou pela interpretação errática das perguntas. Não há uma relação entre a percentagem de poços mais destruídos e as médias teóricas de habitantes por ponto de água, calculado por sector.

Também não existe uma relação positiva entre o tamanho das aldeias e a percentagem de poços mais afectados. Ao contrario, a média de habitantes nas aldeias com poços mais afectados é 70% menos que nas aldeias com poços menos afectados

Conclui-se que o caudal parece ser importante, mas não podia ser verificada satisfatoriamente.

Também relevante pode ser a variação do uso do poço em diferentes estações. Estas variações anuais foram analisadas em 5 poços e 2 furos. Só num caso o uso estava mais que 25% diferente: mais baixa na estação húmida.

- B5.** Fluctuações diárias e amplitude de variações do nível de água. Este factor é importante em Modelo II. As Balantas nas tabancas buscam água só 2 vezes por dia entre 6-8 e 17-20 horas. Isto significa 2 fluctuações com uma amplitude alta por dia. O padrão de uso pelo Fulani em Buba é completamente diferente e é concentrado entre 10 e 19 horas com fluctuações mais suaves (Visscher 1981). Estes dados não foram confirmados nas observações em 1996. Em 3 poços em São Domingos se verificou que entre 50 e 70% do uso diário foi tirado nos primeiros 3 horas do dia. Os mesmos valores foram encontrados em 5 pontos de água em Buba. Só num poço havia dois períodos intensivos. Por isso, não se prevêem muitas diferenças entre as duas regiões da parte de padrões culturais.  
Em combinação com o alto caudal diário e a baixa permeabilidade do aquífero, as fluctuações diárias na Zona Sul são muito mais elevadas e podem ser um factor importante na destruição (Modelo II). Mas nos poucos poços onde o rebaixamento foi medido, não se encontrou grandes fluctuações.
- B6.** Os dados de fluctuações sazonais são muito inexactos e duvidosos. Nos poços mais destruídos a média é 3,5 m contra 4,1 m para os poços menos afectados. Por isso pode-se concluir que a fluctuação anual não parece um factor significativo para explicar o risco de desintegração.

#### 4.1.3 Características do filtro

- C1** Tipo de filtro. O tipo de filtro é de grande importância. As anilhas de betão aberto (gravilha; betão sem fines) são muito mais sensíveis, por ter uma superfície de contacto largo, mal processo de cura e uma estrutura não compacta. Também o ferro de revestimento é mais atingível para os processos de corrosão. Este factor é evidente, e muitos projectos não aplicavam o betão aberto, mas anilhas perfurados ou mesmo anilhas compactas.
- C2** Superfície total do filtro. Uma superfície maior significa a entrada de menos água por unidade de superfície (cm<sup>2</sup>). A superfície é dependente de
- C2a** Número de anilhas filtrantes. Normalmente foram aplicadas 3 anilhas filtrantes.
- C2b** Altura do filtro. Em diferentes projectos foram utilizadas diferentes dimensões para os filtros. Na Zona Sul cada anilha de 1 m tinha 50 cm de filtro. No projecto Prakla, a altura de filtro era 80 cm. A força foi obtido por ter uma parede de 10 em vez de 7 centímetros.
- C2c** Diâmetro do filtro. O diâmetro tem importância para os modelos I e II. No modelo I um maior diâmetro significa que menos água passa por cm<sup>2</sup>. No modelo II um maior diâmetro significa, que a descida de água é menor. Na Zona Sul, o diâmetro interno é 86 cm; em Cacheu/São Domingos 100 mm. Isto significa uma diferença de 35% da superfície de passagem. O diâmetro devia ser um factor importante.
- C3** Firmeza interna. O tipo de anilha de filtro poroso é bastante importante. Os primeiros filtros constituem uma zona de 50 cm dentro de uma zona superior e inferior de 25 cm de betão compacto com revestimento circulo. Quando o filtro é dissolvido, a anilha cai. Depois, foi experimentado com 'filtros Franzetti' (ou filtros janelas) em Gabu. Em Tombali/Quinara introduziu-se um tipo com colunas verticais. Não era possível verificar o grau de riscos em diferentes tipos.
- C4** A espessura da parede do filtro: uma espessura maior dá uma vida mais longa, porque leva mais tempo para ser dissolvido e dá mais resistência às forças do lado. A espessura pode ser um factor relevante, porque era só 7 cm no projecto Buba, contra 10 cm nas outras áreas.

#### 4.1.4 Qualidade do betão

A qualidade do betão nos filtros porosos é de grande importância.

A base das discussões tidas com os antigos poceiros e pessoal do antigo projecto, observou-se que a qualidade do trabalho e do betão era "normal", embora o período de curação era curto. Na Zona Sul, a maioria das anilhas foi construído na base, numa fábrica de betão, aplicando uma betoneira. As proporções foram controladas. A água foi água da torneira que vinha dum furo profunda que servia também para beber. O cascalho vinha do mar e foi lavado com água doce. A areia vinha da estrada ou de uma cova de areia dunar. Até ao fim de 1986, o cimento foi do tipo Portland, importado cada semestre da Holanda. Antes da entrada do novo cimento no armazém, o antigo estoque foi vendido. De 1986 para 1989 utilizou-se também cimento do tipo 'Alto Forno' (Hoogoven), portanto já quase não foram construídos poços novos e a sua aplicação limitou-se para as anilhas de recuperação.

A curação das anilhas foi na sombra. Os moldes foram desmontados depois dum meio ou um dia. A curação levou 4 dias em que o betão foi molhado duas vezes. Depois de 4 dias, as anilhas podiam em principio ser transportado para o local de trabalho ou foram metidas em estoque.

Quando os locais de construção ficavam muito afastados de Buba, uma base temporária foi instalada num local assombrado. O procedimento nestes locais foi em princípio igual que em Buba, apesar que não utilizaram a betoneira por falta de corrente eléctrica. Locais de fábricas temporárias foram: Dar es Salaam, Caur, Caçanda, Bedanda, Yemberem, Cabedu e Catio.

Em São Domingos a qualidade do betão em geral era pior em comparação com Buba. Os poceiros fizeram as anilhas logo no campo, perto do poço. Areia e cascalho foram fornecidos pela população, e eram pouco uniformes e às vezes com bastante impureza. Não se utilizavam betoneiras e a calibragem foi regular. Também o processo de curação foi menos controlado. O cimento utilizado foi também o Portland. O sistema de armazenagem foi comparável com o de Buba. A intensidade de rotação foi em média melhor que em Buba, porque o cimento vinha em camiões do Senegal.

Foram analisados os seguintes factores:

- D1 Tipo de cimento. Em todos os poços foi utilizado Cimento do tipo Portland. Por isso não aparece ser um factor relevante. Portland é indicado como um tipo com boas qualidades para diminuir o impacto de água sulfatada e do processo de carbonatização. Mas também na Holanda, a corrosão de cimento do tipo Portland é mais elevada que num tipo de 'Alto Forno'. Na primeira fase de recuperação foi feito um outro tipo de cimento ('alto forno'). No início havia problemas com este tipo de cimento. Não se pode avaliar a importância.
- D2 Armazenagem do cimento. Nas condições de Guiné Bissau, as condições de armazenagem de cimento não são óptimas, por causa da alta humidade e quantidade de chuva na estação húmida. Mas durante o período do projecto, o armazenamento recebeu um controlo suficiente e não era um factor importante para explicar as diferenças encontradas.
- D3 Qualidade do cascalho laterítico. Na Zona Sul se utilizou laterite de vários diâmetros.
  - D3a Sensibilidade para flutuações na humidade. O teste do TNO indicou que a sensibilidade é limitada (TNO 1985)
  - D3b Influência na alcalinidade no betão. Também este factor não é de importância (TNO 1985)
  - D3c Porosidade interna do laterite; a literatura (STUVO) diz, que a porosidade é um factor negativo: diminuía a facilidade de manejar o betão durante a construção; dá fácil acesso a iões agressivos; dá fracturas internas por secagem cedo durante a curação; e a estabilidade é limitada na superfície. Na ausência de material fino estas desvantagens podem ser muito relevantes.
  - D3d Pó na superfície do cascalho; dá um contacto fraco na superfície

- D3e Formas angulares; necessitando mais água; resulta em 'bleeding=carbonatização'; resultando na quebra. Mas o cascalho angular não pode cair tão facilmente da parede como cascalho circular.
- D3f O diâmetro do cascalho é de importância. Cascalho pequena pode cair mais facilmente que cascalho maior. Cascalho uniforme dá fracturas internas; causa 'bleeding' e necessita mais água durante a construção para dar a mesma firmeza.

É difícil verificar a importância destes factores na base da pesquisa, mas é muito provável que a porosidade, presença de pó, e o diâmetro podem figurar como factores muito importantes.

- D4 Composição químico de cascalho. Em Cacheu/São Domingos às vezes utilizaram-se conchas como cascalho. Conchas são constituídas principalmente de  $\text{CaCO}_3$ . Isto significa que há 4 vezes mais de Cálcio por unidade de betão nas anilhas com cascalho de conchas. Isto pode ser um factor de importância para explicar a diferença entre a Zona Sul e Cacheu/São Domingos na velocidade de desintegração. Mas na análise de 11 poços porosos em São Domingos, os 2 poços com problemas graves foram os únicos construídos com cascalho de conchas, que é contrario às estimativas. Isto pode se explicar, porque o betão de cascalho de conchas tem menos firmeza mecânica que betão de cascalho laterítico (ver D3).
- D5 Compacção inadequada. Este factor é importante, porque o filtro e o material acima do filtro não podem ser compactados para não destruir o betão aberto. Isto resultou numa firmeza reduzida e numa entrada mais rápida de substâncias agressivas.
- D6 Curação inadequada, que significa a entrada do ar no betão, resultando na "carbonatização" e uma permeabilidade alta. O período de curação de 4 dias era demasiado curto e devia ser 20 dias para resultados óptimos. As condições para uma boa curação são péssimas na estação seca, quando o vento é pouco húmido e a temperatura é alta.
- D7 Protecção do ferro de revestimento. O ferro de revestimento pode dar mais firmeza ao betão. Mas quando está corroído pode ser um factor importante para a destruição rápida. A água nos poços mais afectados está mais elevado (1,49) que nos poços menos afectados (1,14 mg/l) e ainda mais elevada que nos furos (0,57). No início do projecto, os furos tinham mais ferro que os poços. Nos 11 poços tradicionais analisados, a média é 1,06. Na pesquisa no campo a presença de ferro na superfície da anilha nunca foi observada.
- D8 Supervisão inadequada na fabricação das anilhas. Este factor não era tão importante em Tombali/Quinara, porque a maioria das anilhas foi pré-fabricada no estaleiro em Buba ou em centros satéliticos. Entretanto, há mais poços mais afectados em aldeias menores, possivelmente mais afastadas, que pode indicar que havia menos supervisão. Especialmente no betão aberto, a existência de grandes espaços abertos (pela formação de arcos) e a cobertura dos agregatos por 1 - 1,3 mm de cimento é essencial.

A qualidade do betão parece um factor importante. Há mais indicadores que dão esta impressão:

- \* Nos poços mais destruídos, só 1 poço é construído por uma agência exterior (não projecto), contra 13 dos poços menos destruídos. Embora estes poços estejam mais novos que os poços do projecto, já têm mais que 5 anos; uma idade na qual já quase a metade dos poços do Projecto Buba tinha problemas graves.
- \* A qualidade do betão na parte da superestrutura é significantemente pior (coeficiente de variação de 3,17; 4,17 e 3,21). Isto pode indicar que a habilidade dos poceiros é um factor importante. (A relação contraria vale para a qualidade da cuvelagem, que é melhor nos poços



mais afectados; só 37% das anilhas tem muitas fracturas nos poços mais afectados contra 50% nos poços menos afectados).

- \* A qualidade do revestimento é pior nos poços mais destruídos, mas é difícil verificar se a má qualidade é a causa ou a consequência da destruição das anilhas:
  - há espaço entre as anilhas em 49% dos poços mais afectados (contra 35%)
  - as anilhas estão deslocados em 47% dos poços mais afectados (contra 32%)
  - a coluna não está vertical em 55% dos poços mais afectados (contra 37%)
  
- \* O problema da desintegração não se agravou muito nos últimos anos. A desintegração foi o mais grave nos primeiros anos. O facto que os poços sensíveis já foram atacados rapidamente é uma indicação forte que tem relação com a fraqueza instantânea do betão.

#### 4.1.5 Outros factores

**E1** Meio de elevação. Baldes metálicos são mais destrutíveis que bombas manuais ou baldes não metálicos, quando tocam ao parede permanentemente. Prevenir o contacto entre o balde e a parede pode ser uma solução.

A análise estatística indica que só 10% dos poços mais destruídos operacionais ainda são equipados com uma bomba, contra 22% dos poços menos destruídos. Embora seja uma diferença significativa, não se pode excluir que esta diferença pode ser devido ao facto que nos poços mais destruídos a bomba se estraga mais facilmente (areia) ou a bomba tem que ser desmontada por falta de água. Por isso não se pode verificar a importância deste factor na destruição.

A análise estatística indica também que originalmente 49% dos poços mais destruídos foram equipados com uma bomba contra 33% dos poços menos destruídos. É difícil explicar esta anomalia. Pode ser que, quando a bomba está substituído por um balde, o balde não está bem centrado e pode tocar a parede facilmente.

Só 5% usa actualmente baldes de ferro (do projecto original); o resto utiliza baldes não-metálicos. Em 3% usa-se uma combinação de bomba e balde.

A conclusão é que o meio de elevação parece menos relevante que se estimava.

**E2** Idade. A idade do poço é relevante, porque o processo de desintegração está em função do tempo. Os poços mais afectados estão na média 7% mais velhos. Os poços construídos depois de 1985 têm menos problemas. Mas pode-se observar, que o magnitude do problema não cresceu muito mais entre 1985 e 1996. Pode-se concluir, que na maioria, o problema já foi visível nos primeiros 5 anos nos poços sensíveis e quase não agravou-se depois. É uma indicação forte, que a destruição está altamente relacionada à qualidade do betão.

#### Factores não relevantes

Foram verificados outros factores, que não foram relevantes:

- \* a profundidade original do poço. Os poços os mais afectados são na média 5% menos profundo. Não parece muito relevante.

**TABELA 9**  
**CALCULO DA VIDA UTIL MEDIA DE FILTROS POROSOS EM BUBA, GABU E SAO DOMINGOS**

	Mudanca de Calcio mmol/l a1	Uso diaria l/dia a2	Factor de correccao da solucao da parte non-filtro a3	CaO por m3 no betao b1	Volume de betao por anilha na parte poroso m3 b2	Numero de anilhas abaixo da agua b3	Factor critica de destruicao b4	Vida util dias	Vida util anos	Realidade 50% destruidos anos	Deviacao do modelo
<b>SUL</b>											
Bedanda 86	0,23	1500	0,6	3750000	0,102	3	0,4	2217	6,1	46,9	7,7
Bedanda 96	0,35	1500	0,6	3750000	0,102	3	0,4	1457	4,0	46,9	11,7
Quebo 96	0,29	1500	0,6	3750000	0,102	3	0,4	1759	4,8	35,7	7,4
Cacine 96	0,64	1500	0,6	3750000	0,102	3	0,4	797	2,2	22,1	10,1
Buba 96	0,84	1500	0,6	3750000	0,102	3	0,4	607	1,7	17,9	10,7
Cafio 96	0,48	1500	0,6	3750000	0,102	3	0,4	1063	2,9	11,9	4,1
Empada 96	0,63	1500	0,6	3750000	0,102	3	0,4	810	2,2	11,0	5,0
Fulacunda 96	0,34	1500	0,6	3750000	0,102	3	0,4	1500	4,1	8,5	2,1
<b>MEDIA SUL 96</b>	<b>0,51</b>	<b>1500</b>	<b>0,6</b>	<b>3750000</b>	<b>0,102</b>	<b>3</b>	<b>0,4</b>	<b>1000</b>	<b>2,7</b>	<b>15,3</b>	<b>5,6</b>
<b>GABU 86</b>	<b>0,41</b>	<b>1000</b>	<b>0,9</b>	<b>3750000</b>	<b>0,277</b>	<b>3</b>	<b>0,5</b>	<b>4223</b>	<b>11,6</b>		
<b>SAO DOMINGOS</b>											
1996	0,3	1000	0,6	3750000	0,102	3	0,5	3188	8,7	41,7	4,8
1986	0,83	1000	0,6	3750000	0,277	3	0,5	3129	8,6	41,7	4,9
Casc de conchas	0,4	1000	0,6	13750000	0,173	3	0,3	8920	24,4		
Pocos perfurados	0,2	1000	1	3750000	0,346	3	0,6	11678	32,0		

#### 4.1.6 Conclusões

No capítulo 5 encontra-se uma lista de factores, arranjados conforme a sua importância estimada e o grau em que a importância foi verificada pela pesquisa ou pela literatura.

#### 4.2 Explicação da diferença entre Buba e São Domingos

Os factores relevantes estão resumidos em Tabela 8.

Destes factores, os seguintes factores podem explicar porque a vida dos poços porosos em São Domingos é mais longa, enquanto a agressividade da água é mais elevada que em Buba, e se dissolve mais Cálcio por litro. Em São Domingos:

- \* os poços são exclusivamente construídos em aquíferos permeáveis (B2)
- \* o caudal médio nos poços é menor (B4)
- \* as flutuações diárias do nível de água são menos (B5)
- \* o diâmetro do filtro é maior (C2c)
- \* a espessura da parede do filtro é maior (C4)
- \* o ciclo de reciclagem de cimento era melhor e as condições climáticas são menos húmida (D2)
- \* o material de cascalho é parcialmente diferente e provavelmente menos uniforme (D4)
- \* usavam-se baldes de borracha logo do início (E1)

Factores piores em São Domingos são:

- \* a agressividade da água (A1-A3)
- \* a firmeza limitada do betão com cascalho de conchas (D4)
- \* curação mais curto (D6)
- \* falta de supervisão (D8)

#### Conclusões

Visto as mudanças do teor de Cálcio, pode-se indicar factores que contribuem para uma vida útil, que é 3 vezes mais que em Buba (ver capítulo 4.6). Mas é impossível indicar qual factor é determinante neste sentido.

#### 4.3 Quantificação do processo

As mudanças na dureza cálcica média entre a água original (nos furos e poços tradicionais) e a água nos poços melhorados podem-se utilizar para a quantificação do processo de dissolução. A quantificação não pode ser exacto, porque os dados são tirados de médias e foram medidas num período curto do ano (Abril - Junho). Os dados de 1996 são menos exactos que os dados de 1986.

De dia em dia se tira um volume de Cálcio do poço ( $\text{Uso diário} * [\text{Ca}^{2+}]_{\text{poço}}$ ). Esta água vem do aquífero, onde a água também contém Cálcio. O Cálcio dissolvido das anilhas por dia é:

$$(\text{Uso diário}) * \{ [\text{Ca}^{2+}]_{\text{poço}} - [\text{Ca}^{2+}]_{\text{aquifero}} \}$$

Este valor pode-se determinar facilmente, mas não são bem conhecidos as variações sazonais e anuais nestes parâmetros.

Destes dados se sabe a quantidade de Cálcio que vem das anilhas. A anilha vai quebrar quando uma percentagem cerat do Cálcio for dissolvida. Assim pode se calcular a vida útil das anilhas.

#### parâmetros

Uma indicação da vida útil dos poços pode-se calcular a partir de diferentes parâmetros:

- a1 Mudança de  $\text{Ca}^{2+}$  fora e dentro dos poços (mmol/l)
- a2. Caudal diária (l/dia)
- a3. Factor para corrigir a relevância da dissolução de Cálcio da superfície da parte non-filtro (estimada)

- b1. Quantidade de CaO (e CaCO<sub>3</sub>) por m<sup>3</sup> betão. Normalmente 1 m<sup>3</sup> tem 350 kg cimento, do que 210 kg é CaO, ou 3.750.000 mmol de Ca<sup>2+</sup> por m<sup>3</sup>. Em Cacheu/São Domingos, às vezes utilizaram-se conchas como cascalho, que da cerca de 1.000 kg de CaCO<sub>3</sub> extra ou 10.000.000 mmol de Cálcio por m<sup>3</sup>.
- b2. Volume de CaO por anilha para filtros porosos; as anilhas de Buba têm uma espessura de 7 cm, os dos outros 10 mm. As partes filtrantes das anilhas porosas em Buba e São Domingos cobrem 50% da superfície total, em Gabu 80%.
- b3. Número de anilhas (3 na média)
- b4. Factor crítica que represente a parte do cimento que deve ser dissolvido quando o filtro está destruído completamente. Para anilhas de filtro, este factor é estimado na maneira seguinte:
- |   |      |
|---|------|
| para anilhas porosos com espessura de 7 cm        | 0,40 |
| para anilhas porosos com espessura de 10 cm       | 0,50 |
| para anilhas porosos de conchas com esp. de 10 cm | 0,30 |
| para anilhas perfurados com espessura de 10 cm    | 0,60 |

Factor a1 é baseado nas análises químicas da Dureza Cálcica. A deviação da realidade estima-se de ser 25% no máximo, porque a dureza da água original não varia muito na maioria dos furos. Factores b1 e b2 são mais ou menos bem conhecidos e podem ter uma deviação máxima de 10%. Factores a2, a3, b3 e b4 são os menos bem conhecidos e podem ter uma grande variação de poço para poço.

#### Calculo

A formula para cada tipo de filtro é:

$$\text{Quantidade de Cálcio} \cdot \text{factor crítica} / \text{extracção diária de Cálcio} \\ (b1 * b2 * b3 * b4) / (a1 * a2 * a3)$$

Os cálculos para os filtros porosos são resumidos na tabela 9.

Os últimos dois cálculos são feitos para mostrar o efeito do cascalho de conchas (mais Cálcio, menos firmeza) e dos filtros perfurados (menos contacto, mais Cálcio, mais firmeza). As mudanças de Cálcio são teóricas nestes exemplos, porque havia insuficiência de dados viáveis para distinguir este factor.

#### Análise

Na última coluna está calculado a deviação da vida útil, calculado com o modelo e da vida em que 50% dos poços são gravemente desintegrados (% da pesquisa em 15 anos; relação linear). A diferença entre o modelo e a realidade é muito grande: um factor 5 na média e uma variação de 2,2 até 11,7 por sector. Esta deviação já foi observado em 1986 (Van der Drift, 1986), mas até agora não há uma explicação plausível.

Mesmo com as incertezas dos parâmetros acima mencionadas, esta diferença é difícil explicar.

#### Conclusões

Por isso pode-se concluir que o modelo é capaz de dar uma ideia relativa da velocidade da desintegração, mas não serve para fazer estimativas realísticas da vida útil para as seguintes razões:

- \* os calculos são baseados em dados recolhidos com métodos simples
- \* os calculos são baseados nas médias que não explicam a mudança nos poços individuais.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMMENDAÇÕES

### 5.1 A síntese

#### A pesquisa

A pesquisa tinha como objectivo descobrir as origens do problema de desintegração do betão e de preparar uma proposta para uma recuperação dos pontos de água no Sul do país.

Os dados de alguns estudos extras não foram suficientes para analisar a importância de vários factores, sendo a influência do volume de uso e a relação directa entre a água original e no poço).

O problema das deviações e da precisão limitada dos dados de 1996 é, **que conclusões na base de diferenças entre 1986 e 1996 devem ser feitas com cuidado e nunca podem ser consideradas como provas; só como indicações.**

**Os dados do estudo de 1986 não foram representativos para a Zona Sul inteira. Os valores de CO<sub>2</sub> total da pesquisa de 1996 são duvidosos**

#### Os modelos

**Há vários modelos para explicar a desintegração das anilhas de betão, sendo:**

##### 1. Dissolução química

- 1.1 A dissolução de Cálcio do betão por água subterrânea agressiva (modelo I): em que
  - 1.1.1 o betão é constituído originalmente de Silicatos de cálcio
  - 1.1.2 o betão é constituído de Carbonatos de Cálcio desde o início (carbonatização instantânea)
- 1.2 A dissolução de Cálcio do betão por uma combinação de 'carbonatização' do betão pela influência do CO<sub>2</sub> no ar, seguida por uma dissolução do Carbonato de Cálcio pela água subterrânea. Há dois origens do CO<sub>2</sub>:
  - 1.2.1 o CO<sub>2</sub> vem da água subterrânea (modelo II)
  - 1.2.2 o CO<sub>2</sub> vem do ar livre (modelo III)
- 1.3 Outros processos como a entrada de água salgada ou sulfatada.

Visto que dois terço da subida de Cálcio nos poços melhorados não são associados a um aumento dos carbonatos, o processo 1.1.1 deveria ser o mais relevante. Isto é um processo muito lento. Por causa das más condições de curação o processo 1.1.2 parece ter a segunda importância.

Processo 1.2.1 não parece muito relevante porque as flutuações diárias não parecem elevadas (só medidas em São Domingos). Processo 1.2.2 não parece relevante por causa da má circulação do ar livre. E processo 1.3 não é observado na área.

#### Resultados químicos

##### *água original*

A água original nos furos manuais e poços tradicionais em todas zonas é muitíssimo agressivo, especialmente em São Domingos e Gabu e menos na Zona Sul.

A água nos aquíferos captados pelos furos é mais agressiva que a água nos poços tradicionais, possivelmente relacionado ao material aquífero.

O pH da água nos furos nas vales/planícies não é significativamente diferente da água nos planaltos, mas há variações geográficas.

**poços melhorados**

A subida da CE, pH, Dureza e Alcalinidade entre a água original e a água nos poços melhorados suporta a teoria da dissolução.

A razão da desintegração não se pode relacionar só ao grau da agressividade mas a desintegração é influenciada por outros factores também.

Não há uma relação directa entre a mudança de CE, pH e Dureza, CO<sub>2</sub> total, CO<sub>2</sub> agressiva e a percentagem dos poços afectados nos sectores da Zona Sul.

No fim da estação seca a água original pode conter mais sais dissolvidos que no início. No início da estação húmida a água torna-se muito mais ácida. Junto com a conclusão dum estudo em Moçambique, onde os valores de pH e Dureza nos poços atingem os valores na água original no fim da estação seca, pode-se concluir, que o processo de dissolução é menos intensivo no fim da estação seca.

O pH, CE e dureza nos poços melhorados baixaram significativamente entre 1986 e 1996, que pode indicar que o processo de dissolução diminua com o arrombamento das anilhas.

Mas os valores médios pH, CO<sub>2</sub>, Dureza e alcalinidade estão mais elevadas nos poços mais afectados que nos poços menos afectados.

As análises de correlação entre parâmetros químicos não resultam em conclusões firmes, com a excepção que a dissolução de betão é o factor determinante para o CE nos poços melhorados

A subida do teor de Carbono entre a água original e a água nos poços melhorados indica que na passagem das anilhas CaCO<sub>3</sub> é dissolvido, que era formado sob a influência do ar (Modelo III) ou já no processo de fabricagem (Modelo I, variante da carbonatização inicial). Um terço da dissolução do betão parece ser pelo processo de carbonatização, a outra parte pelo dissolução directa.

O revestimento das anilhas está corroído, visto o alto teor de ferro nos poços mais afectados

**factores**

Abaixo encontra-se uma lista de factores, arrançados conforme a sua importância estimada e o grau em que a importância foi verificado pela pesquisa ou pela literatura.

**factores muito relevantes verificados**

- A1-3 Alta agressividade da água (pH < 6,5; Dureza total < 54 mg/l CaCO<sub>3</sub>; CO<sub>2</sub> total > 10); é muito importante a água é (muito) agressiva; mas o grau de agressividade dentro deste ramo não é tão relevante. Uma redução do pH no início da estação húmida resulta numa intensificação do processo.
- B2a Material aquífero argiloso. Em argilas, o risco de desintegração é muito mais alta que em material arenoso.
- B2b Material aquífero de origem marinho: o problema é quase ausente acima do soco cristalino
- B2c Um factor essencial nos sedimentos marinhos, que pode fazer algumas zonas muito sensíveis para a desintegração, pode ser a possível existência de pirite a volta do nível de água ou no aquífero suspenso
- C1 Tipo de filtro: betão poroso é o mais sensível
- C2 Superfície total do filtro: relacionado à quantidade de água que passa os poros. E por isso a altitude de água no poço, o diâmetro e a percentagem de filtro em relação à anilha total
- C3a Baixa Firmeza interna do betão poroso e a má fixação dos agregados no matriz do betão (baixa com cascalho de conchas, a laterite bem sortida ou muito poroso)
- C4 A baixa espessura da parede (comparação Gabu/Sul)
- D5 Compacção inadequada
- D6 Curação inadequada

- D8 Supervisão inadequada  
E2 Idade

*factores provavelmente muito relevantes não verificados*

- A5 Teor alto de sulfatos ou o processo de oxidação/redução de pirites  
A5 O teor de  $MgSO_4$  no laterite (cascalho) e na água subterrânea  
B4 Alto Uso do poço ( $m^3/dia$ )  
D2 Má Armazenagem do cimento  
D3 Qualidade do cascalho laterítico (tem que ser sem pó, heterogéneo, menos poroso, semi-angular)  
D4 Composição químico do cascalho: cascalho de conchas tem mais Cálcio mas parece ter menos firmeza interna; em São Domingos foram os únicos destruídos)

*factores relevantes verificados*

- A6 Teor muito baixo de sais totais ( $CE < 50 \mu S/cm$ )  
B1 Posição na proximidade do mar/estuário  
B3 Baixa estabilidade aquífero: aquíferos menos estáveis dão um risco mais elevado

*factores provavelmente relevantes não verificados*

- B5 Alta flutuação diária (Modelo II)  
D1 Tipo de cimento  
D7 Má protecção do ferro de revestimento  
E1 Baldes metálicos como meio de elevação

*factores de baixo relevância verificado*

- A4 Teor alto de cloretos não é relevante na situação encontrada (mesmo o contrario)  
B1 Posição no terreno (baixa ou alta): variava muito  
D3a/b Cascalho laterítico dá menos firmeza contra forças do sub-solo (TNO 1985)

*factores provavelmente de baixo relevância não verificado*

- B6 Fluctuações sazonais

Na base destes factores é possível explicar porque a vida útil dos poços em São Domingos e Gabu é mais elevada que Zona Sul (ver capítulo 4.6). Mas é impossível indicar que factor é determinante neste sentido.

Pode-se fazer a conclusão principal que a aplicação da tecnologia de filtros de betão aberto não era apta sob as condições prevalentes na zona costeira de Guiné Bissau:

- \* condições de água agressiva e substâncias agressivas nos sedimentos
- \* falta de boas técnicas de construção em betão e falta de material
- \* falta de supervisão

Também se pode concluir que uma espessura de 7 cm da parede era insuficiente para dar uma alta firmeza à parte filtrante.

O modelo

O modelo teórico para calcular a vida útil na base da mudança de teor de Cálcio entre a água original e a água no poço é capaz de dar uma ideia relativa da velocidade da desintegração, mas não serve para fazer estimativas realísticas da vida útil. A razão pode ser que:

- \* os cálculos são baseados em dados medidos com métodos simples
- \* os cálculos são baseados nas médias que não explicam a mudança nos poços individuais.

## 5.2 Recomendações para estudos adicionais

Em capítulo 5.1 estão mencionadas os factores que não foram verificados nas pesquisas, do que são os mais relevantes:

- \* variações na qualidade do cascalho
- \* relação com o uso por dia
- \* a teor de  $MgSO_4$  na água e nos agregatos

Um estudo extra para conhecer estes factores vai contribuir a um conhecimento melhor do processo, mas é menos relevante para fazer recomendações para uma melhor construção no futuro. Por isso não se recomenda um estudo adicional.

O que pode ser de importância é um estudo para as características sedimentológicas das áreas com poços mais desintegrados. O actual estudo do Centro de Geologia de Lisboa (IIGT) pode dar algumas explicações sobre o teor de substâncias agressivas no sub-solo.

## 5.3 Recomendações para uma melhor tecnologia

Na base deste estudo podem-se fazer algumas recomendações para uma construção no futuro na área geológica de sedimentos marinhos com água agressiva:

1. Se a permeabilidade do aquífero e a necessidade máxima o permitirem: evitar a construção de filtros porosos e utilizar alternativas (furos manuais; anilhas perfuradas; anilhas fechadas)
2. Diminuir o número de utilizadores por poço nas áreas muito argilosas
3. Evitar o uso de baldes metálicos

Na tecnologia dos filtros porosos é relevante de:

4. aumentar a espessura da parede 10 cm no mínimo
5. melhorar a firmeza interna pela aplicação de colunas, janelas etc.
6. aumentar a superfície de contacto: fazer o poço mais profundo e/ou aumentar o diâmetro (mas sem perder a firmeza)
7. melhorar a tecnologia do betão (melhor composição do cascalho, melhor mistura de água, cimento e agregatos; melhor curação; otimizar o ratio cimento/agregato (1:6-10); otimizar o ratio de água/cimento (por ensaios da firmeza); melhor localização de barras de revestimento)
8. evitar uma baixa instantânea entre o nível do poço e o aquífero por agregatos a volta do filtro. (conchas ou cal podem também neutralizar a agressividade)
9. só utilizar cimento bem armazenado
10. evitar áreas com água muito agressiva se for possível (mas dentro da água muito agressiva o grau da agressividade não é tão relevante). Água agressiva tem  $pH < 6,5$ ; Dureza total  $< 54 \text{ mg/l CaCO}_3$ ;  $CO_2$  total  $> 10 \text{ mg/l}$ .



## REFERÊNCIAS

- Biczók I. (1972) Concrete corrosion, concrete protection, Akademiai Kiado, Budapest
- Bolt G.H. en M.G.M. Bruggenwert (ed) (1978) Soil chemistry 5A, Elsevier
- CUR/VB (1984) O ambiente agressiva e a sustentabilidade de construções em betão (em Holandês)
- Dermijn S. en M. v.d. Drift (1987) Concrete corrosion in dug wells, SAWA Utrecht
- Drift M.v.d. (1986) Avaliação técnica dos poços 1986, projecto escola poceiros São Domingos
- Driscoll F.G. (ed) (1987) Groundwater and wells, , Johnson Division, St. Paul,
- Hach (1992), Water analysis handbook, pg 364-365
- Hoelting B., F. Enke Verlag (1980) Hydrogeologie, Stuttgart
- IICT (1996) Cartografia geológica da Guiné Bissau; enquadramento e correlação regionais; relatório de progresso 1995
- Kramer L. en B.Talsma (april - juni 1986) Relatório da pesquisa química de água em Guiné Bissau (em Holandês), SNV/Buba
- Marseille M. (1991) Água agressiva em poços no Distrito de Dondo
- Neville () Properties of concrete, (página 629 - 632)Pitman
- PCA, Portland Cement Association (1968) Design and control of Concrete mixtures
- Rijneveld H., Bavel H.v., Hermans A. (1987) Lições do projecto Buba (em Holandês)
- SAWA/Bouman D (1996 Março) Análise dos problemas de desintegração de betão em poços em Guiné Bissau (preparação duma investigação)
- SAWA/Drift M.v.d. (1996 Abril) Relatório da missão de acompanhamento inicio da fase de pesquisa no terreno no quadro de estudo de recuperação dos pontes de água nas regiões de Quinara e Tombali
- SAWA/Drift M.v.d. (1996 Setembro) O estado técnico dos Pontes de Agua nas regiões de Quinara e Tombali com base a pesquisa de 1996
- SKAT (1980) Manual for Rural Water Supply (esp. pg 22-29)
- Tsikos G. (1989) The hydraulics of hand dug wells, University of Londen
- TNO (1985) A destruição de anilhas de filtro (em Holandês) Rapport B-85-570/60.6.3872
- UNICEF (1986) Handpump platforms: How to combat organic contamination of concrete (in: Water Front no 33 3/86 páginas 21-22)
- Visscher J.T., E.Hofkes (1982) The Buba-Tombali water project 1979 - 1981, IRC publication

**TERMOS DE REFERÊNCIA**

Acompanhamento e conselho na fase de preparação de um projecto de recuperação do abastecimento em Agua no sul da Guiné-Bissau

**INTRODUÇÃO**

A DGRN, junto com o Projecto Manutenção e Animação, Aguas Rurais, pretende levar a cabo a um estudo que abrange a problemática do abastecimento em água rural na região de Tombali. O estudo deveria eventualmente resultar numa fase de recuperação de pontes de água actualmente fora do uso.

O estudo está descrita em detalhe no documento "Proposta para uma fase de recuperação do projecto de abastecimento de água no sul da Guiné-Bissau" DGRN, Novembro 1995.

Resumindo, o estudo é composto das seguintes componentes ou sub-estudos:

- A Especificação da política da DGRN relativa às regiões de Quinara e Tombali
- B Problemas técnicos, nomeadamente que dizem respeito à corrosão de betão e a qualidade e quantidade de água nos poços e furos
- C Avaliação das possibilidades económicas e disponibilidade da população rural em suportar os custos de operação e manutenção das infra-estruturas
- D Activação Social em relação às diferentes fases de uma intervenção no domínio da água rural, nomeadamente a de planificação, construção, operação e manutenção com ênfase na higiene e uso da água, bem como a gestão durável dos pontos de água
- E Manutenção
- F Síntese dos sub-estudo e elaboração de uma proposta para a fase de recuperação.

Os sub-estudo já estão em grande parte realizadas. A DGRN pretende completar as partes que faltam no início do ano 1996.

A DGRN, através do Projecto MAAP, convidou a SAWA de acompanhar o desenvolvimento do estudo e de aconselhar sobre os dados técnico, bem como terminar o estudo sobre corrosão iniciado há muito tempo.

**MÉTODO PROPOSTO**

Em resumo o método proposto para terminar o estudo é de repartir o trabalho em três blocos. Durante o primeiro bloco serão elaborados as versões preliminares dos sub-estudo, indicando quais os dados que faltam para completar o trabalho. O segundo bloco é um novo levantamento de todos dados de todos pontos de água no sul do país. Durante o último bloco os dados recolhidos serão confrontados com os estudos preliminares para permitir a elaboração dos documentos definitivos e recomendações para a fase de recuperação. Este bloco terminará com uma síntese dos sub-estudos e a elaboração de uma proposta para a fase de recuperação.

Uma repartição clara das tarefas e metas de todos participantes no estudo bem como uma coordenação adequada é condicional para alcançar os resultados desejados antes o mês de Outubro 1995.

Compete à DGRN/PMAAR terminar os sub-estudos A,B,D e E. Recomenda-se apontar alguém para seguir e coordenar as trabalhos com objectivo que as versões preliminares dos sub-estudos serão apresentadas dentro de um prazo a definir, mas não antes o dia 1 de Março. Os estudos relatam do trabalho feito até aí e indicam os dados que faltam a ser coleccionados posteriormente no terreno ou nas bibliotecas especializadas.

Para o sub-estudo B pode-se neste momento somente coleccionar os estudos e relatórios técnicos produzidos sobre a matéria, resumindo os seus resultados, conclusões e recomendações.

Compete ao INEP terminar a avaliação sócio-económica dentro do mesmo prazo.

Para completar e actualizar os sub-estudo será necessário fazer um levantamento de todos os dados relevantes dos poços e furos na area de actuação. Um tal levantamento deverá ser feito no fim da época seca, ou seja nos meses de Maio e Junho.

Durante o levantamento todos os pontos de água construídos pelo então Projecto de Buba nas regiões do sul (eventualmente somente em Tombali), estimativamente entre 750 e 850 pontos serão visitados, coleccionando a seguinte informação:

- Estado técnico do poço ou furo com ênfase para a super-estrutura, a cuvelagem e a captagem + *inspecção do local*
- Estado técnico do meio de extracção, seja bomba ou estrutura com balde
- Quantidade da água, medição da altura da água e impressão do caudal
- Qualidade química da água através de análise de minimamente o pH, o CE, o teor em Ca e em Fe +
- Apreciação do ponto de água pela população, uso da água
- Proposta de medidas a tomar

Uma equipa composta de duas pessoas pode visitar entre 15 e 20 pontos de água por dia. O levantamento vai levar cerca de um mês para duas equipas. A qualidade do levantamento determina o valor dos resultados e com isso os hipóteses para uma fase de recuperação. Por isso é de grande importância elaborar e testar com antecedência um formulário, formar as equipas em técnicas de medição e de monitorar a qualidade do levantamento de perto.

Com os dados recolhidos e tratados, uma imagem correcta da situação actual está à disposição da DGRN/PMAAR. Isso permite actualizar e terminar os estudos A,B,D e E, acrescentando em cada estudo um último capítulo com as conclusões e recomendações para uma eventual fase de recuperação.

A base dos dados levantados, o sub-estudo sobre os problemas técnicos e o estudo de corrosão podem igualmente ser terminados.

A base dos sub-estudo completos será possível organizar um encontro de síntese para avaliar os estudos e suas respectivas recomendações, que, na sua vez, permite a elaboração de uma proposta para a fase de recuperação.

### **O PAPEL DE SAWA**

Contrario às propostas feitas a tempo, o papel da SAWA será essencialmente o de acompanhamento e conselho no domínio metodológico, avaliação e conselho relativa às versões preliminares e definitivas dos sub-estudos e apoio ao processo

de síntese e elaboração da proposta final. Todo isso com ênfase nos aspectos e problemas técnicos ligados à construção, qualidade e quantidade da água. Para além disso, a SAWA terminará o estudo de corrosão de betão, iniciado por ela há muito anos.

### **PROPOSTA DA PARTICIPAÇÃO DA SAWA**

Missão de concertação e preparação do levantamento

Duração: 2 semanas no local, 1 semana preparação e reportagem

Período: Março 1996

Objectivo: Apoiar a preparação de um levantamento de dados técnicos e sociais dos poços e furos no sul.

Actividades concretas a empreender:

- Estudo dos documentos preparados
- Concertação e conselho sobre as versões preliminares dos estudos
- Determinação dos dados que faltam para completar os sub-estudos
- Breve visita aos poços no sul e no norte do país para inteirar-se da situação actual dos pontos de água
- Apoio à elaboração do formulário do levantamento e ensaio
- Instrução das equipas, nomeadamente no domínio das medições químicas.

Missão de síntese e apoio à elaboração da proposta final

Duração: 2 semanas no local, 1 semana preparação e reportagem

Período: Setembro 1996

Objectivo: Apoiar a síntese dos sub-estudos e a elaboração da proposta para a (eventual) fase de recuperação dos poços no sul.

Actividades concretas a empreender:

- Estudo dos documentos definitivos produzidos
- Encontro de síntese com a participação de todas as pessoas envolvidas nos estudos
- Colecção da informação adicional
- Elaboração da proposta final em pequeno comité

Estudo de corrosão de betão

Duração: 3 semanas, repartidas em 2 blocos

Período: Fevereiro 96 e Agosto 96

Objectivo: Terminar o estudo de corrosão de maneira pragmática, respondendo as seguintes questões:

- Directivas para métodos de medição
- Definição de limites e tolerâncias
- Propostas de construção

Actividades concretas a empreender:

Durante o primeiro bloco serão retomados todos dados e estudo existentes com DGRN e SAWA para compilar uma primeira versão do relatório. Indica-se as medições e análises químicas a fazer durante o levantamento. Forneça-se os aparelhos e reagentes necessários para fazer as medições e análises.

Durante o segundo bloco os resultados do levantamento serão confrontados com o estudo teórico o que resultará num versão final do estudo de corrosão de betão nos poços no sul da Guiné-Bissau e recomendações relativas a futuras intervenções no domínio de água rural.

A SAWA propõe a participação do Michiel van der Drift para as missões no terreno e do Dick Bouman para o estudo de corrosão. CV's podem ser enviados se fosse requisitado.

### Características das anilhas utilizadas

Regiao	Tipo	Diametro interno (m)	Diametro externo (m)	Altura (m)	Superficie interna (m <sup>2</sup> )	Superficie externa (m <sup>2</sup> )	superficie total de 3 anilhas (m <sup>2</sup> )
Buba	poroso	0,86	1,00	1,00	2,70	3,14	17,52
Gabu	Franzetti	1,20	1,40	1,00	3,77	4,40	24,51
Sao Domingos	poroso	1,00	1,20	1,00	3,14	3,77	20,73

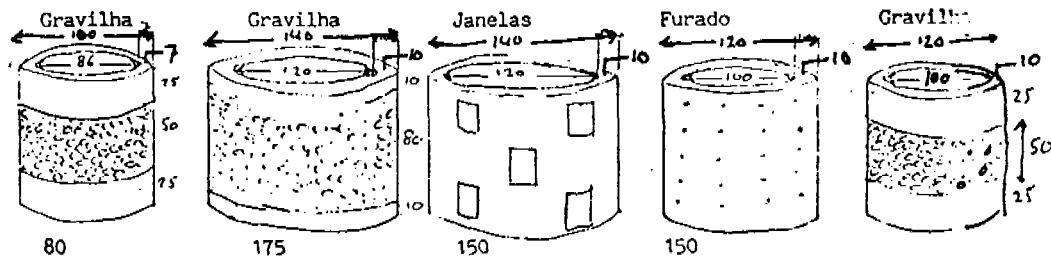
  

Regiao	Tipo	Diametro interno (m)	Diametro externo (m)	Altura (m)	Volume do filtro (m <sup>3</sup> )	Volume de 3 anilhas (m <sup>3</sup> )	kg CaO
Buba	Poroso	0,86	1,00	0,50	0,10	0,31	50 *
Sao Domingos	Poroso	1,00	1,20	0,50	0,17	0,52	84

\* presumido que 20% do filtro e cimento

### COMPARACAO DOS POÇOS

Regiao	Tombali/Quinara	Bafata	Gabu	Sao Domingos
Projecto de Buba	Projecto de Buba	Prakla	Franzetti	Escola. pozeiros..
Numero de poços construidos/visitados	468 / 61	25 / 8	50 / 18	120 / 21
Idade dos poços	'79 - '86	'85 - '86	'80 - '81	'83 - '86
Tipo de filtro	Gravilha	Gravilha	Janelas	Furado



kg cimento usado para circulo de filtro

80

175

150

150



**ANEXO IIIA**  
COMPARACAO DADOS QUIMICOS DE 1986 E 1996 EM BEDANDA

Designa.	Altitude	Material Aquif.	Estado revest. capt.	pH 1996	pH 1986	d pH	CE 1996			CO2 1996			DurCa 1996		
							uS/cm	d CE	mg/l	mg/l	d CO2	mg/l	d Dur Ca	CaCO3	
<b>POCOS</b>															
T 058	3		1	7,20	6,45	0,75	395	202	193	90		102	60	42	
T 141	1	1	1	5,90	5,36	0,54	45	59	-14	40		11	25	-14	
T 144	2	4	4	5,80	6,18	-0,38	81	138	-57	40		5	30	-25	
T 149	1	1	1	6,10	5,60	0,50	47	59	-12	60		10	18	-8	
T 155	2		2	6,20	5,65	0,55	37	38	-1	40		10	17	-7	
T159	1	1	1	5,70	5,41	0,29	194	148	46	38	84	-46	30	26	4
T162	1	3	1	5,90	5,72	0,18	216	33	183	60	37	23	16	11	5
T166	2	4	1	6,10	6,25	-0,15	139	162	-23	56	81	-25	33	56	-23
T177	2	3	1	6,40	6,43	-0,03	129	161	-32	44	96	-52	15	30	-15
T 211	2	3	4	5,50	6,01	-0,51	173	236	-63	54	76	-22	13	58	-45
T 238	1	1	1	6,20	6,33	-0,13	77	76	1	56	79	-23	51	40	11
T 242	1	4	1	6,10	6,12	-0,02	39	59	-21	38	65	-27	36	30	6
T 256	1	1	1	7,10	5,92	1,18	97	37	60	16	64	-48	18	18	0
T 266	2	1	2	6,30	6,24	0,06	24	24	-1	24	48	-24	10	12	-2
T 269	1	2	2	6,40	6,24	0,16	25	48	-23	26	43	-17	6	41	-35
T 418	2	1	3	5,70	6,46	-0,76	46	62	-16	30	65	-35	8	34	-26
T 419	2		4	6,10	6,90	-0,80	36	90	-54	34	75	-41	8	55	-47
T 422	1	3	1	6,20	6,30	-0,10	55	110	-55	40	119	-79	18	53	-35
<b>FUROS</b>															
T 156	1			5,40	4,90	0,50	35	74	-39	38		10	14	-4	
T 158	1		1	5,30	4,90	0,40	76	39	37	36		13	26	-13	
T 160	3	1		5,40	5,10	0,30	38	65	-28	40	56	-16	4	1	3
T 161	1		1	5,00	4,74	0,26	58	30	28	38	56	-18	8	8	0
T 168	2			5,40	6,11	-0,71	22	69	-47	58	84	-26	4	1	3
T 169	1		1	4,70	4,68	0,02	283	97	186	38	44	-6	33	18	15
T 171	1			4,90	4,67	0,23	105	45	60	40	60	-20	15	16	-1
T 175	1		1	5,40	5,00	0,40	53	152	-99	38	87	-49	10	28	-18
T 208	2			5,20	5,34	-0,14	49	22	27	40	42	-2	4	9	-5
T 213		1		5,00	5,10	-0,10	30	36	-7	26	30	-4	2	8	-6
T 216	2			5,00	5,30	-0,30	162	36	126	60	94	-34	16	11	5
T 217	1			5,30	4,92	0,38	29	52	-23	32	95	-63	10	10	0
T 240	1	1	1	5,30	5,34	-0,04	19	20	-1	40	38	2	12	5	7
T 251	1			5,00	4,72	0,28	66	28	38	12	23	-11	12	36	-24
T 253	1		1	4,60	5,00	-0,40	59	38	21	38	54	-16	9	6	3
T 259	1	4		4,90	4,70	0,20	69	52	17	36	46	-10	20	17	3
T 261	1	4	1	4,50	4,42	0,08	194	75	119	36	83	-47	17	18	-1
T 264	1	4		5,00	4,98	0,02	178	60	118	40	71	-31	32	20	12
T 267		1		5,80	5,91	-0,11	25	20	5	46	73	-27	5	6	-1
T 416	3	1		5,20	5,50	-0,30	13	19	-6	60	72	-12	2	3	-1
T 417				5,20	5,17	0,03	12	14	-3	40			10	6	4
T 427	1		1	5,30	5,73	-0,43	13	20	-7	40	64	-24	9	3	6
T 429	3			5,30	5,80	-0,50	220	258	-38	78	84	-6	13	9	4
<b>POCOS</b>															
Media	1,56	2,20	1,78	6,16	6,09	0,07	103	97	6	44	72	-32	22	34	-12
Var	0,62	1,26	1,17	0,44	0,41	0,52	95	63	74	17	22	24	23	17	22
N	18	15	18	18	18	18	18	18	18	18	13	13	18	18	18
<b>FUROS</b>															
Media	1,45	2,13	1,00	5,13	5,13	0,00	79	57	21	41	63	-21	12	12	0
Var	0,76	1,55	0,00	0,30	0,44	0,33	78	54	65	13	21	17	8	9	9
N	20	8	8	23	23	23	23	23	23	23	20	20	23	23	23
<b>TOTAL</b>															
Med	1,50	2,17	1,54	5,59	5,55	0,03	89	75	15	42	66	-25	16	22	-5
Var	0,69	1,34	1,03	0,63	0,64	0,42	84	61	69	15	22	20	17	17	17
N	38	23	26	41	41	41	41	41	41	41	33	33	41	41	41

a: 1=planalto; 2 = zona de transicao; 3=vale;planicie  
 b: 1= areia; 2= arenosa; 3= argilosa; 4=argilo-lateritico  
 c: 1= sem problemas; 2=pedacos soltos; 3=boracos nas anilhas; 4= anilhas quebradas



**ANEXO IIIB**

**COMPARAÇÃO DADOS QUÍMICOS DE 1986 E 1996 EM SÃO DOMINGOS**

	Altitude	Material Aquif.	Estado revest. capt.	pH 1986	pH 1996	d pH	CE 1986	CE 1996	d CE	CO2 1986	CO2 1996	d CO2	DurCa 1986	Dur Ca 1996	d Dur Ca
	a	b	c				uS/cm		mg/l			mg/l CaCO3			
<b>Pocos porosos</b>															
Nhambalao 1	2	1	1	6,60	5,95	0,65	99	101	-2	85	119	-54	85	43	42
Nhambalao 2	2	1	1	6,60	6,17	0,43	74	159	-85	65	152	-87	34	82	-48
Suzame 1	1	1	4		6,78			256			127			98	
Tabanca Nova 1	2	1	1	6,40	5,68	0,72	100	46	54	40	106	-66	27	18	9
Tabanca Nova 2	1	1	1	6,30	6,47	-0,17	28	195	-167	45	125	-80	5	108	-103
Campada Maria	1	1	1	6,30	5,90	0,40	67	65	2	45	77	-32	17		
<b>Pocos perfurados</b>															
Cassolol 1	1	1	1	7,40	6,10	1,30	227	198	29	45	171	-126	85	114	-29
Cassolol 2	2	1	1	7,30	5,80	1,50	494	166	328	40	149	-109	136	74	62
Casa Cooperantes		1	1	7,50	6,25	1,25	254	135	119	20			102	58	44
<b>POCOS</b>															
Media	1,50	1,00	1,33	6,80	6,12	0,76	168	147	35	46	128	-79	61	74	-3
Var	0,53	0,00	1,00	0,51	0,34	0,56	154	68	147	15	29	32	47	33	60
N	8	9	9	8	9	8	8	9	8	8	8	7	8	8	7

a: 1=planalto; 2 = zona de transicao; 3=vale;planicie

b: 1= areia; 2= arenosa; 3= argilosa; 4=argilo-lateritico

c: 1= sem problemas; 2=pedacos soltos; 3=boracos nas anilhas; 4= anilhas quebradas

DADOS QUIMICOS DO ESTUDO DE KRAMER E TALSMA (1986)							ANEXO IV				
BUBA pocos com baldes 1986											
	CE	pH	Ca	HCO3	CO2agr	CO2tot	CO2	Fe	Prof	Nivel	dH
	uS/cm		mgCaCO3/l	mg/l	mg/l	mg/l	agr/tot	mg/l	m	m	m
T141	59	5,36	25	21,17					8,35	8,35	0
T144	138	6,18	29,75	53,68					7,55	7,55	0
T149	59	5,6	17,5	17,81					9,3	9	0,3
T153	30	5,97	64,25	60,57	65,01	108,7	60%		7,8	5,8	2
T154	180	6,88	31,25	39,65							
T155	38	5,65	17	29,28					8,45	7,45	1
T159	148	5,41	26,25	17,69	71,55	84,31	85%		7,95	7,75	0,2
T162	33	5,72	10,75	13,54	27,02	36,79	73%		12,3	11,5	0,8
T164	60	6,39	28	28,37	25,41	45,87	55%		5,9	5,17	0,73
T166	162	6,25	55,75	62,53	35,65	80,75	44%		7,5	7,2	0,3
T173	148	6	42,5	32,64	28,56	52,1	55%		5,65	5,45	0,2
T174	208	6,34	49	43,92					8,45	8,25	0,2
T177	161	6,43	30	75,03	42,02	96,14	44%		5,5	5,5	0
T178	32	6,43	15,75	20,56	17,05	31,88	53%		8,8	8,35	0,45
T210	307	5,56	35,5	22,27	64,13	80,19	80%		6,5	5,7	0,8
T211	236	6,01	57,5	38,31	48,44	76,07	64%				
T214	40	6,4	19,5	23,85	32,54	49,74	65%		8,67	8,15	0,52
T215	228	5,1	28,25	15,43	70,99	82,12	86%		4,75	4,45	0,3
T218	170	5,69	34,25	16,84	41,8	53,95	77%		5,4	4,4	1
T237	218	5,71	49,25	22,45	49,76	65,95	75%		5,4	4,22	1,18
T238	76	6,33	39,5	56,73	38,5	79,42	48%		11,1	9,4	1,7
T242	59	6,12	30	39,65	36,67	65,27	56%		9,9	8,3	1,6
T244	175	6,23	49	34,94	31,04	56,24	55%		8,4	7,56	0,84
T247	44	6,18	16,25	16,41					8,35	6,35	2
T248	205	6,47	53,25	41,11	28,29	57,94	49%		6,2	5,1	1,1
T255	39	5,5	16	12,75	42,26	51,46	82%		6,65	5,25	1,4
T256	37	5,92	18	36,6	37,53	63,93	59%		6,85	5,55	1,3
T257	21	5	7	6,1	28,6	33	87%				
T258	84	5,87	30,25	27,15	65,01	84,59	77%		11,2	10,2	1
T269	48	6,24	41,25	28,49	22,2	42,75	52%		6,35	5,7	0,65
T266	24	6,24	12,25	17,26	35,93	48,38	74%		8,1	7,3	0,8
T270	101	6,06	55,75	71,13	74,68	125,99	59%		13,3	13,1	0,2
T271	89	6,21	41,75	57,22	48	89,27	54%		14,3	12,5	1,8
T279	169	6,3	105	125,97	47,63	138,49	34%		13,8	13,6	0,2
T285	57	5,51	27,75	23,85	66,86	84,06	80%		12,1	11,4	0,7
T292	50	4,7	6	11,59	46,42	54,78	85%				
T260	71	5,87	55,75	35,99	46,2	72,16	64%		13,4	13,1	0,3
T295	160	6,6	30,5	53,7	39,16	77,89	50%		5,6	5,6	0
T301	373	6,15	35,25	42,7					7,43	7,43	0
T303	47	5,93	25	37,82					10,22	10,1	0,12
T319	40	6,04	28,25	30,5					8,5	8,36	0,14
T418	62	6,46	34,25	36,84	38,85	65,42	59%		8,82	6,48	2,34
T419	90	6,9	54,75	67,1	26,62	75,02	35%		8,2	5,1	3,1
T422	110	6,3	52,5	94,67	50,34	118,63	42%		11,7	9,9	1,8
T423	99	6,67	46,75	78,08	25,08	81,4	31%		12,1	9	3,1
Media	111	6,02	35,09	38,67	42,74	71,73	61%		8,70	7,82	0,88
Variacao^0,5	81	0,47	18,50	24,23	15,49	25,25	16%		2,59	2,56	0,82

BUBA	Pocos com bombas manuais				1986			Fe	Prof	Nivel	dH	IV-2
	CE	pH	Ca	HCO3	CO2agr	CO2tot	CO2					
	uS/cm		mgCaCO3/l	mg/l	mg/l	livre	agr/tot					
						mg/l						
T57	302	5,3	52	12,81								
T58	202	6,45	60	46,36								
T132	96	5,93	35	34,22	43,54	68,223	64%					
T263	35	5,42	12,5	8,54	19,58	25,74	76%					
T268	28	5,56	8,25	13,91	41,62	51,653	81%					
T280	300	6,6	179	219,3	15,73	173,91	9%					
T281	45	5,38	16,25	12,81								
T294	20	5,55	11,5	12,2								
T352	24	5,18	5,25	7,93								
Media	117	5,71	42,19	40,90	30,12	79,88	57%					
Variacao^0,5	119	0,51	54,99	68,16	14,50	65,08	33%					
<b>BUBA pocos tradicionais 1986</b>												
	CE	pH	Ca	HCO3	CO2agr	CO2tot	CO2	Fe	Prof	Nivel	dH	
	uS/cm		mgCaCO3/l	mg/l	mg/l		agr/tot	mg/l	m	m	m	
	135	5,2	30,25	17,08								
	80	5,13	15	9,15								
	275	5,58	60	27,45								
	39	5,42	11,25	23,49								
	194	5,32	15	13,36								
Media	145	5,33	26,30	18,11								
Variacao^0,5	93	0,18	20,21	7,42								
<b>BUBA Furos manuais 1986</b>												
	CE	pH	Ca	HCO3	CO2agr	CO2tot	CO2	Fe	Prof	Nivel	dH	
	uS/cm		mgCaCO3/l	mg/l	mg/l	mg/l	agr/tot	mg/l	m	m	m	
T156	74	4,9	13,75	6,71								
T157	23	4,99	3,75	15,13	41,18	52,093	79%					
T158	39	4,9	25,75	6,1								
T160	65	5,1	0,75	17,08	44	56,32	78%					
T161	30	4,74	7,75	7,5	50,31	55,72	90%					
T164	9	5,31	1,25	5,55								
T168	69	6,11	1,25	52,03	46,7	84,23	55%					
T169	97	4,68	18	30,5	21,98	43,98	50%					
T173	55	5,45	2,75	10,49								
T171	45	4,67	16,25	4,39	56,5	59,667	95%					
T175	152	5	27,75	12,93	77,62	86,947	89%					
T208	22	5,34	9,25	7,2	37	42,193	88%					
T213	36	5,1	8,25	5,19	26,73	30,474	88%					
T216	36	5,3	10,5	16,71	81,53	93,583	87%					
T217	52	4,92	9,75	9,82	87,54	94,623	93%					
T240	20	5,34	5	10,37	30,14	37,62	80%					
T243	45	4,37	8,25	2,75	38,83	40,814	95%					
T245	26	5,3	12,5	6,1	30,36	34,76	87%					
T251	28	4,72	36,25	2,75	21,01	22,994	91%					
T253	38	5	6,25	2,2	52,45	54,037	97%					
T259	52	4,7	17	6,89	40,85	45,82	89%					
T261	75	4,42	18	0	82,62	82,62	100%					
T264	60	4,98	20,25	11,77	62,19	70,68	88%					
T267	20	5,91	6	12,2	64,5	73,3	88%					
T416	19	5,5	2,75	17,69	59,62	72,38	82%					
T417	14	5,17	5,75	25,01								
T427	20	5,73	3	31,66	41,38	64,217	64%					
T429	258	5,8	8,75	8,18	77,88	83,78	93%					
Media	53	5,12	10,95	12,32	51,00	60,12	85%					
Variacao^0,5	50	0,43	8,79	11,12	20,24	21,14	13%					

**GABU pocos com balde 1986**

	CE	pH	Ca	HCO3	CO2agr	CO2tot	CO2	Fe	Prof	Nivel	IV-3
	uS/cm		mgCaCO3/l	mg/l	mg/l	mg/l	agr/tot	mg/l	m	m	dH
Ganjufa	75	5,94	37,25	12,2	58,3	67,1	87%		19,3	17,5	1,8
Ganjufa	130	6,29	62,5	64,19	38,1	84,4	45%		20,7	17,5	3,18
Sincha Sambel	218	6,88	14,75	101,23	11,9	84,92	14%		22	17,6	4,4
Bessecunda	98	6,16	42,5	67,54	111,14	159,86	70%		22,98	20,6	2,38
Sori Lambata	56	5,75	25						14,57	10,4	4,22
Sinca Botcha	253	6,63	137,25	198,49	74,27	217,44	34%		16,6	13,1	3,46
Sincha Sunca	51	5,97	21,75	37,33	52,54	79,47	66%		18,75	16,3	2,41
Sincha Erdjada	51	5,83	25,75	39,1	54,1	82,3	66%		18,15	15,7	2,45
Sincha Imabe	101	6,31	75	84	66,5	127,09	52%		19,5	15	4,5
Manjour	68	6,06	34,75	57,83	45,58	87,29	52%		25,1	22,2	2,9
Manjour	110	6,34	53	78,93	36,21	93,14	39%		25,3	20,2	5,1
Pirada	47	5,84	19,25	38	54,94	82,35	67%		26,74	24,2	2,5
Bajacunda	33	5,78	13,5	27,94	49,32	69,47	71%		20,1	19,5	0,65
Bajacunda	80	6,06	32,5	52,03	44,6	82,13	54%		21,8	16,1	5,7
Cantim	121	6,5	58,75	88,69	29,39	93,36	31%		15,5	12	3,5
Copa	64	6,12	31,5	43,8	41,4	72,99	57%		15,7	8,7	7
Madina	261	7,2	117,25	205,69					11,5	9,4	2,1
Ore Maunde	126	6,67	62,5	102,72	20,59	94,68	22%		10,95	10,8	0,14
Media	108	6,24	48,04	76,45	49,31	98,62	52%		19,18	15,94	3,24
Variacao^0,5	69	0,40	34,06	53,76	22,96	39,11	20%		4,50	4,51	1,72

**GABU Pocos tradicionais Prakla 1986**

	CE	pH	Ca	HCO3	CO2agr	CO2tot	CO2	Fe	Prof	Nivel	dH
	uS/cm		mgCaCO3/l	mg/l	mg/l	mg/l	agr/tot	mg/l	m	m	m
	74	4,9	13,75	6,71							
	23	4,99	3,75	15,13	41,18	52,09	79%				
	39	4,9	25,75	6,1							
	65	5,1	0,75	17,08	44	56,32	78%				
	30	4,74	7,75	7,5	50,31	55,72	90%				
	9	5,31	1,25	5,55							
	69	6,11	1,25	52,03	46,7	84,23	55%				
	97	4,68	18	30,5	21,98	43,98	50%				
	55	5,45	2,75	10,49							
Media	51	5,13	8,33	16,79	40,83	58,47	70%				
Variacao^0,5	28	0,44	8,92	15,41	11,07	15,22	17%				

**GABU Furos manuais 1986**

	CE	pH	Ca	HCO3	CO2agr	CO2tot	CO2	Fe	Prof	Nivel	dH
	uS/cm		mgCaCO3/l	mg/l	mg/l	mg/l	agr/tot	mg/l	m	m	m
Tambadja	190	5,7	32,75	8,78	48,09	54,42	88%				
Tambadja	184	3,85	27	0	47,96	47,96	100%				
Ganjufa	25	4,84	6	55,88							
Ganquelia	41	5,21	12,5	14,03	63,8	73,92	86%				
Ganquelia	58	5,61									
B..came	18	5,07	5	6,1	64,46	68,86	94%				
Sumprama	25	4,88	3,75	9,15	85,58	92,18	93%				
Combor	26	5,23	5	19,7	84,2	98,41	86%				
Oce Monde	24	4,49	7	4,58	103,29	106,59	97%				
Tassilima	34	4,5	6,25	10,25	74,84	82,23	91%				
Tassilima	34	4,49	13,75	3,66	103,4	106,04	98%				
Balanca	41	5,6	9,25	30,5	59,4	81,4	73%				
Caiama	25	4,45	3,25	3,84	59,78	62,55	96%				
Sincha Seco	26	5,43	1,25	24,4	61,81	79,41	78%				
Sincha Abululai	34	5,35	8,5	25,25	74,27	92,48	80%				
Sincha Uro	64	5,76	5	44,9	59,27	91,66	65%				
Colada	36	4,78	5	8,54	65,12	71,28	91%				
Media	34	5,00	6,18	16,80	75,54	87,66	86%				
Variacao^0,5	12	0,49	3,40	13,32	16,72	13,81	11%				

SAO DOMINGOS pocos com balde												IV-4
	CE	pH	Ca	HCO3	CO2agr	CO2tot	CO2	Fe	Prof	Nivel	dH	
	uS/cm		mgCaCO3/l	mg/l	mg/l	mg/l	agr/tot	mg/l	m	m	m	
Casa Cooperante	135	6,25	58	73,69					3,7	2,7	1	
Casa Hospides	84	6	38	43,19				0,4	7,13	5,47	1,66	
Horta 25	136	6,09	72,5	102,6	77,18	151,19	51%	0,4	3,15	1,18	1,97	
Tab Nova I14	46	5,68	18	31,72	83,61	106,49	79%		7,94	6,35	1,59	
Tab Nova II15	195	6,47	108,25	145,55	19,89	124,87	16%		7,11	5,5	1,61	
Babonda 13	76	6	55,5	44,47	56,57	88,64	64%		13,81	13	0,81	
Casolo I10	198	6,1	113,75	142,88	67,79	170,7	40%	1	8,91	7,29	1,62	
Casola II11	166	5,81	73,75	87,84	82,73	146,09	57%	0,8	9,62	8,31	1,31	
Suzanna I 21	256	6,78	132,5	187,45	12,48	147,69	8%	0,4	15,1	13,4	1,69	
Suzanna II 22	254	6,22	97,5	115,9	42,9	126,5	34%	0,2	15,3	13,2	2,08	
Suzanna V 94-46	282	6,7	148	178,91	19,96	149,01	13%	0,2	13,22	11	2,23	
Suzanna III 96-48	185	6,47	127	148,72	39,21	146,48	27%	0,2	13,49	11,7	1,77	
Culapa I 7	364	6,78	290,5	230,09	14,26	180,22	8%	0,2	11,05	9,64	1,41	
Culapa II 8	313	6,3	125	79,06	35,29	92,32	38%	0,2	7,22	5,93	1,29	
Mato Cataga I 3	135	6,38	88,5	97,6	66,22	136,62	48%	0,2	14,16	12,9	1,26	
Mato Cataga II 4	99	6,03	49,25	70,88	58,48	109,61	53%	0,2	13,91	13,1	0,79	
Njambalang I 1	101	5,95	42,5	65,76	71,33	118,76	60%	0,2	13,54	12	1,53	
Njambalang II 2	159	6,17	82,25	127,12	60,64	152,33	40%	1,2	13,45	12	1,45	
Campada Mania	65	5,9		42,82	46,38	77,27	60%	0,1	8,96	6,89	2,07	
Campada Nadja	236	6,35	142,5					0,4	6,24	4,69	1,55	
Campada Timbo	96	5,88	49,25						12,87	10,6	2,28	
Media	171	6,21	95,63	106,11	50,29	130,87	41%	0,39	10,47	8,90	1,57	
Variacao^0,5	87	0,31	59,54	55,23	23,84	28,95	21%	0,32	3,77	3,78	0,42	
SAO DOMINGOS pocos tradicionais												
	CE	pH	Ca	HCO3	CO2agr	CO2tot	CO2	Fe	Prof	Nivel	dH	
	uS/cm		mgCaCO3/l	mg/l	mg/l	mg/l	agr/tot	mg/l	m	m	m	
Tab Nova II	22	4,94	9,5	14,03	91,968	102,09	90%					
Tab Domingos	93	5,2	24,25	15,25	49,504	60,504	82%	1,4				
Casola I	96	4,91	6,25	12,08	87,83	96,544	91%	1				
Casola II	157	4,72	14,5	18	106,38	119,36	89%	2				
Suzane I	111	4,85	4,25	7,81	50,647	56,281	90%	0,6				
Suzane V	168	4,8	22	7,32	56,105	61,385	91%					
Suzane III	48	5,45	5,5	18,67	58,391	71,858	81%					
Culaja 7	106	5,51	28	26,23	56,545	75,465	75%	0,3				
Culaja	38	5,58	15,25	28,3	82,64	103,05	80%	0,6				
..balang II	40	4,98	13	11,9	87,235	95,819	91%	0,1				
Campada Maria	62	4,66	13,25	8,11	96,523	102,37	94%					
Campada Nadja	23	4,72	4,75									
Campada Timbo	49	5	7,5									
Media	78	5,02	12,92	15,25	74,89	85,88	87%	0,86				
Variacao^0,5	48	0,31	7,79	7,09	20,80	21,42	6%	0,66				
SAO DOMINGOS FUIROS MANUAIS												
	CE	pH	Ca	HCO3	CO2agr	CO2tot	CO2	Fe	Prof	Nivel	dH	
	uS/cm		mgCaCO3/l	mg/l	mg/l	mg/l	agr/tot	mg/l	m	m	m	
Capicola	24	5,06	12,5	24,4	88,01	105,61	83%					
Sao Domingo	78	4,77	22,25	9,15	46,2	52,8	88%					
Jugol III	71	4,68	12	9,33	100,7	107,43	94%					
Dhataba	35	4,5	12,5	8,66	87,74	93,99	93%					
Media	52	4,75	14,81	12,89	80,66	89,96	90%					
Variacao^0,5	27	0,23	4,96	7,68	23,76	25,48	5%					

## CORREL.XLS

ANEXO V							
FACTORES DE CORRELAÇÃO PARA ALGUMAS PARAMETROS QUIMICOS (sqrt(r))							
R <sup>0,5</sup>							
	y	CaCO3	CE	CaCO3	CO2 agr/tot	HCO3	free CO2
	x	pH	pH	CE	pH	CaCO3	CaCO3
<i>Pocos com baldes</i>							
Buba		0,16	0,01	0,17	0,76	0,14	0,19
Gabu		0,22	0,84	0,59	0,83	0,76	0,66
Sao Domingos		0,65	0,64	0,79	0,89	0,78	0,37
<i>Pocos com bomba</i>							
Buba		0,62	0,31	0,65	0,94	0,93	0,96
<i>Pocos tradicionais</i>							
Buba		0,38	0,30	0,66		0,59	
Gabu		0,34	0,00	0,07	0,14	0,04	0,41
Sao Domingos		0,12	0,06	0,19	0,85	-0,45	0,04
<i>Furos</i>							
Buba		0,28	0,01	0,05	0,17	0,01	0,21
Gabu		0,00	0,00	0,85	0,74	0,09	0,27
Sao Domingos		0,00	0,08	-0,30	0,84	-0,60	0,96

**ANEXO VI MEDIAS DO INQUERITO E ANALISE ESTATISTICA**

	6	13	15	16	19	20	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	33
	Popul.	Niv.Sta.	Débit	Conduc.	Altitude	Tipo PdA	Anos balde ferro	Entidade construtor	Temperatura	pH	CE	NO3	CO2	Fe	DCa	DTot	Alc.Tot
	DADOS NA CONSTRUCAO			GERAL			HIDRO-QUIMICA										
<b>MEDIOS DOS POCOS POR SECTOR</b>																	
<b>BEDANDA Media</b>	612	6,76	1,43	74	1,67	1,08	6,67	1,03	28,16	6,26	133	11	57	0,94	54	80	40
VAR	619	3,66	0,43	67	0,64	0,40	2,71	0,22	1,32	0,57	151	10	35	1,20	98	107	61
N	66	44	6	29	76	80	39	80	39	39	39	39	39	39	39	39	39
<b>BUBA Media</b>	410	5,83	1,59	560	1,74	1,48	5,00	1,32	28,51	5,92	257	11	67	1,46	114	119	28
VAR	786	3,29	1,22	693	0,73	0,95	3,42	0,93	1,06	0,54	882	13	32	1,71	315	313	28
N	35	31	8	13	54	56	15	57	36	32	36	36	36	35	35	35	36
<b>CACINE Media</b>	286	7,28		121	1,86	1,32	5,87	1,00	27,83	6,43	204	7	79	1,60	105	108	27
VAR	275	3,19		128	0,90	0,73	2,46	0,00	0,94	0,39	387	4	60	1,77	227	218	16
N	51	31		20	57	59	23	59	31	31	31	31	31	31	29	31	31
<b>CATIO MEDIA</b>	659	6,19	1,93	517	1,63	1,36	5,46	1,24	27,81	6,37	132	8	60	0,96	101	106	37
VAR	1493	2,89	0,66	1475	0,74	0,80	3,36	0,82	1,25	0,45	168	6	44	1,06	254	252	46
N	53	25	19	25	72	69	28	75	42	42	42	42	42	42	42	42	42
<b>COMO Media</b>	352	3,75	1,20	414	2,59	2,96	4,39	1,00	29,23	7,49	191	9	44	2,33	329	330	84
VAR	358	3,21		273	0,80	0,50	1,54	0,00	1,20	0,68	166	5	20	1,75	279	278	65
N	20	3	1	9	32	34	18	34	18	18	18	18	18	18	18	18	18
<b>EMPADA Media</b>	341	9,31	1,80	85	1,15	1,11	5,27	1,40	28,54	6,54	123	12	57	0,65	82	84	57
VAR	537	2,77	1,13	81	0,41	0,38	3,48	0,92	0,70	0,56	170	11	28	0,55	83	81	84
N	35	15	9	27	48	46	22	48	29	29	29	29	29	29	29	29	29
<b>FULACUNDA Media</b>	260	7,53	2,00	165	1,38	1,36	4,07	1,21	28,04	6,46	87	10	73	1,27	57	60	30
VAR	362	3,25	1,41	136	0,63	0,91	3,34	0,78	1,05	0,73	78	11	22	1,17	61	59	20
N	33	32	2	19	39	42	14	42	26	26	26	26	26	26	26	26	26
<b>QUEBO Media</b>	505	9,51	0,80	226	1,32	1,16	4,60	1,16	28,43	6,08	82	13	56	0,60	38	57	28
VAR	670	5,25	0,00	258	0,53	0,56	3,14	0,66	1,33	0,44	107	8	29	0,63	47	69	42
N	29	20	2	6	37	38	20	38	26	26	26	26	26	25	26	26	26
<b>TITE Media</b>	359	7,13	2,17	460	1,58	1,12	4,61	1,21	28,42	6,45	321	8	91	1,46	123	127	36
VAR	347	2,70	1,07	543	0,66	0,48	2,97	0,69	1,09	0,70	650	3	86	1,35	148	146	35
N	30	27	6	17	33	33	18	34	25	25	25	25	25	25	25	25	25
<b>TOTAL Media</b>	447	6,86	1,77	261	1,63	1,37	5,13	1,17	28,27	6,39	168	10	65	1,20	101	109	39
N	352	228	53	165	448	457	197	467	272	268	272	272	272	270	269	271	272

**SEPARACAO DOS POCOS MAIS E MENOS AFECTADOS**

<b>POCOS NAO DESTRUIDOS</b>																	
<b>MEDIA</b>	507	6,95	1,82	223	1,59	1,35	4,93	1,15	28,20	6,37	290	9	59	1,14	103	113	41
VAR	666	3,60	0,25	58	0,67	0,43	2,75	0,24	0,89	0,83	136	11	31	1,11	49	77	49
N	179	113	24	74	226	229	111	233	144	144	144	144	144	143	143	144	143
<b>POCOS DESTRUIDOS</b>																	
<b>MEDIA</b>	358	6,53	1,76	321	1,64	1,39	5,44	1,02	28,28	6,55	149	9	79	1,45	125	130	44
VAR	480	3,34	0,89	909	0,80	0,84	3,30	0,24	1,13	0,66	242	8	55	1,59	224	221	50
N	132	86	20	72	155	154	68	161	94	91	94	94	94	94	92	94	94
<b>TTEST</b>	2,29	0,86	0,28	-0,91	-0,61	-0,55	-1,07	5,36	-0,54	-1,81	5,16	-0,64	-3,11	-1,67	-0,93	-0,70	-0,50

**TEST NORMAL DISTRIBUTION TEST DOS POCOS MAIS E MENOS AFECTADOS**

SIGNIFICANCIA	6	13	15	16	19	20	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	33
Bedinda	0,70	2,92	0,08	-0,94	-1,73	1,98	-0,77	1,00	-1,33	-0,24	-0,23	1,77	-0,68	-0,40	-1,09	-0,91	-0,52
Buba	-0,24	0,10		-0,72	-1,65	-0,37	-0,13		-0,19	-2,86	-1,19	-0,56	-0,73	-1,45	-1,09	-1,09	-1,87
Cacine	-0,09	1,23		0,11	2,11	2,07	-2,04		2,17	2,00	1,89	0,06	-1,73	0,61	0,75	1,33	0,69
Catio	0,86	1,62	0,71	-1,49	-0,40	-1,23	-1,45	2,11	-0,02	-0,22	-1,80	-0,72	-2,78	-1,95	0,39	0,39	-1,70
Como	0,04			0,96	-3,62	-1,00	-1,02		-1,55	-1,39	2,04	1,78	1,91	-1,16	0,27	0,26	0,90
Empada	-0,47	1,54	-0,39	-0,76	-2,13		-0,34	1,86	0,53	0,86	1,25	-1,62	0,36	0,67	1,37	1,38	2,04
Fulacuno	0,75	-1,06			-1,01	1,39		1,73	-0,04	-1,10	-0,64	0,52	-0,91	0,04	-0,45	-0,85	0,25
Quebo	1,22	0,16			3,54	1,45	1,26		1,28	-1,41	0,04	-3,14	-0,85	2,18	-0,18	-0,59	-0,83
Tite	1,12	0,08		1,47	1,29	-0,22	-15,80	-0,02	-0,88	2,43	-0,85	-0,58	-1,89	-1,57	-0,96	-0,97	-0,69
<b>TOTAL</b>	2,29	0,86	0,28	-0,91	-0,61	-0,55	-1,07	5,36	-0,54	-1,81	5,16	-0,64	-3,11	-1,67	-0,93	-0,70	-0,50
nao relacao sign (-1<F<1)	7	4		5	1	2	3	1	5	3	4	5	5	4	6	6	6
relacao possivel (F=+- 1-1,64)	2	3		2	2	4	3	1	3	3	2	1	0	3	3	3	0
relacao relevante (F>+- 1,65)	0	1		0	6	2	2	3	1	3	3	3	4	2	0	0	3

ANEXO VI pag 2

	34	35	38	39	40	41	44	45	46	47	48	49	50	51	57	58	59	60	
	PdA em uso	Estado funcion.	Outras fontes	Parte pop.usa PdA	Gosto água	Uso água	Material Aquif.	Estab. Aquif.	Risco Agua Salin.	Fluctuação anual	Condição superest.	Círculo Acabamento	Socolo Saneamento	Canal Escoamento	Abaix. Cuvelagem	Anilhas Cuvelagem	Inclinação Cuvelagem	Espaço Anilh.Cuv.	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
	USO	AQUIFERO								SUPERESTRUTURA			CUVELAGEM						
<b>MEDIOS DOS POCOS POR SECTOR</b>																			
<b>BEDANDA Media</b>	1,89	2,39	1,83	46,08	1,35	1,30	2,33	1,16	1,70	4,44	1,64	1,30	1,38	1,43	1,16	1,99	1,38	1,56	
VAR	0,98	0,88	0,66	35,93	0,85	0,87	1,12	0,37	0,46	1,25	0,77	0,65	0,77	0,85	0,37	0,84	0,49	0,50	
N	80	69	48	60	63	63	46	68	69	23	69	67	67	68	62	67	65	61	
<b>BUBA Media</b>	1,54	1,82	4,33	62,09	1,28	1,23	3,38	1,07	1,47	3,81	1,44	1,17	1,63	1,70	1,08	1,56	1,23	1,25	
VAR	0,87	0,94	16,41	34,63	0,50	0,70	1,03	0,26	0,51	1,85	0,66	0,53	1,07	1,04	0,28	0,81	0,42	0,44	
N	56	55	36	53	55	52	40	43	38	16	54	46	56	56	37	41	40	36	
<b>CACINE Media</b>	1,85	2,17	1,90	57,78	1,31	1,19	2,42	1,23	1,71	3,79	1,23	1,06	1,51	1,57	1,03	1,43	1,15	1,18	
VAR	1,00	0,90	0,82	38,97	0,69	0,61	1,14	0,43	0,46	1,49	0,51	0,30	0,92	0,98	0,19	0,77	0,36	0,38	
N	59	58	39	54	48	48	24	43	42	7	53	53	55	54	29	42	41	40	
<b>CATIO MEDIA</b>	1,83	2,24	2,73	66,04	1,33	1,16	2,83	1,36	1,38	3,92	1,66	1,09	1,77	1,86	1,02	1,72	1,33	1,31	
VAR	0,94	0,88	6,53	34,89	0,55	0,65	1,14	0,48	0,49	2,45	0,83	0,39	1,08	1,25	0,13	0,92	0,47	0,47	
N	75	75	55	73	73	70	65	67	47	24	71	64	74	74	81	81	81	58	
<b>COMO Media</b>	1,91	2,38	2,00	33,50	1,56	1,79	1,27	1,78	1,00	1,99	2,75	1,34	3,74	3,48	1,00	2,36	1,43	1,43	
VAR	0,97	0,92	0,32	31,27	0,51	1,22	0,45	0,42	0,00	1,30	0,65	0,77	0,58	0,85	0,00	0,84	0,51	0,51	
N	34	34	21	30	26	24	26	27	24	15	28	29	31	31	4	14	14	14	
<b>EMPADA Media</b>	1,98	2,13	1,84	63,33	1,22	1,18	2,49	1,50	1,35	3,42	1,37	1,05	1,64	1,45	1,00	1,53	1,14	1,20	
VAR	0,93	0,94	1,03	33,98	0,42	0,75	1,22	0,51	0,49	2,33	0,66	0,32	1,10	1,02	0,00	0,84	0,35	0,41	
N	48	48	33	45	46	45	43	40	34	11	41	38	44	44	33	36	36	35	
<b>FULACUNDA Media</b>	1,80	2,07	1,62	60,90	1,31	1,08	3,12	1,50	1,50	4,48	2,00	1,06	2,05	2,10	1,00	1,90	1,39	1,46	
VAR	0,87	1,01	0,75	29,75	0,69	0,35	1,07	0,51	0,52	2,17	0,79	0,34	1,30	1,33	0,00	1,01	0,50	0,57	
N	41	41	26	39	39	39	26	26	12	12	36	35	39	39	26	31	31	28	
<b>QUEBO Media</b>	1,39	1,71	1,81	25,00	1,42	1,25	2,89	1,11	1,71	4,33	1,32	1,15	1,66	1,69	1,03	1,53	1,31	1,22	
VAR	0,75	0,91	0,62	50,00	0,91	0,77	1,13	0,31	0,46	2,13	0,47	0,51	0,80	0,80	0,19	0,78	0,47	0,42	
N	38	34	36	4	36	36	18	28	28	9	34	33	35	35	29	30	29	27	
<b>TITE Media</b>	1,68	2,26	1,79	64,22	1,28	1,23	3,25	1,41	1,47	4,44	1,56	1,10	1,42	1,38	1,00	1,93	1,37	1,33	
VAR	0,84	0,96	0,77	30,16	0,46	0,63	0,89	0,50	0,51	2,98	0,76	0,54	0,79	0,71	0,00	0,96	0,49	0,48	
N	34	34	29	32	32	30	28	32	17	22	32	31	33	32	27	27	27	27	
<b>TOTAL Media</b>	1,78	2,15	2,27	57,39	1,33	1,24	2,68	1,32	1,51	3,89	1,61	1,15	1,77	1,78	1,05	1,74	1,30	1,33	
N	465	448	323	390	417	407	316	374	311	139	418	396	434	433	308	349	344	326	

SEPARACAO MAIS E MENOS AFECTADOS

<b>POCOS NAO DESTRUIDOS</b>																			
MEDIA	1,71	2,20	1,77	58,12	1,31	1,25	2,62	1,28	1,80	4,08	1,52	1,12	1,60	1,63	1,07	1,80	1,35	1,38	
VAR	0,98	0,84	0,63	37,66	0,69	0,76	1,13	0,35	0,44	1,17	0,73	0,61	0,65	0,77	0,35	0,84	0,49	0,50	
N	233	221	163	191	210	209	154	200	164	75	213	210	218	215	171	186	185	171	

<b>POCOS DESTRUIDOS</b>																			
MEDIA	1,83	2,15	2,24	58,97	1,38	1,30	2,80	1,42	1,35	3,51	1,78	1,18	2,04	1,99	1,03	1,71	1,26	1,30	
VAR	0,93	0,96	4,39	33,10	0,66	0,85	1,10	0,50	0,48	2,04	0,84	0,58	1,23	1,24	0,18	0,92	0,44	0,47	
N	161	158	123	145	154	151	124	138	110	57	156	151	158	158	116	143	140	137	

TTEST	-1,21	0,61	-1,16	-0,22	-0,97	-0,64	-1,35	-2,96	4,33	1,89	-3,17	-0,95	-4,17	-3,21	1,13	0,89	1,67	1,46
-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------

TEST NORMAL DISTRIBUTION TEST MAIS E MENOS AFECTADOS

<b>SIGNIFICANCIA</b>																			
Bedinda	1,30	1,57	-1,86	0,66	0,54	-0,81	-0,13	-0,89	1,71	-1,31	-2,01	-0,97	-1,84	-1,28	-1,03	-0,41	0,33	0,00	
Buba	-0,49	-1,15	-1,86	-0,43	-1,37	-2,18	0,28	0,48	1,49	0,30	-2,27	-1,45	-2,63	-2,58	1,83	-2,24	-1,55	-1,4	
Cacine	-0,95	-0,95	0,24	-1,10	-0,04	0,41	-1,68	-1,39	0,08	0,29	-1,00	0,22	-0,33	1,00	-0,26	-1,02	-0,61		
Catio	-0,93	2,72	-0,90	0,35	-1,49	0,08	-0,85	-0,80	1,50	2,01	0,23	-0,08	-0,96	0,43	-1,00	4,82	4,10	4,98	
Como	0,00	-1,71	1,39	-0,25	0,55	2,27	3,02	1,00	#DIV/0!	-2,51	-1,87	-1,00	-1,26	-2,01	-3,50	-1,73	-2,32		
Empada	0,58	0,03	0,15	0,85	0,94	-0,90	-0,49	-1,75	-1,49	-3,61	-0,71	-0,23	-4,11	-2,45	-3,0				
Fulacundo	-2,28	-7,55	-1,08	1,60	-2,53	-1,38	-0,68	0,81	0,43	0,08	-1,00	-0,45	0,61	-5,20	-4,50	-4,4			
Quebo	0,77	1,28	-1,87		-1,23	-0,92	-0,84	1,83	2,07	1,93	-0,35	0,49	-1,45	1,00	1,08	3,94	2,92		
Tite	-1,38	1,21	-0,32	1,02	0,22	-0,50	0,92	-0,05	-0,71	1,67	-1,52	-0,55	-1,11	0,09	6,93	4,81	4,12		
TOTAL	-1,21	0,61	-1,16	-0,22	-0,97	-0,64	-1,35	-2,96	4,33	1,89	-3,17	-0,95	-4,17	-3,21	1,13	0,89	1,67	1,46	

nao relacao sign (-1<F<1)	6	2	4	5	5	6	7	5	3	1	3	4	5	5	0	3	1	
relacao possivel (F=+/- 1-1,64)	2	4	2	3	3	1	0	2	3	1	1	4	2	2	4	1	2	1
relacao relevante (F>+/- 1,85)	1	3	3	0	1	2	2	2	2	4	5	0	2	2	1	5	6	6



ANEXO VI pag 3

	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	80	81		
	CAPTAGEM												NIVEIS	
	Revest. Captagem	No-Anilh.não quebrad.	Anilhas arromb.baixo	no. Anilhas cima água	Estado revest. capt.	Espaço entre anilh.capt.	Destocação anilh.	Verticalidade coluna	Opinião causa	Opinião recuperação	profund. Pda	Nível água Pda	Espessura de água	
<b>MEDIOS DOS POCOS POR SECTOR</b>														
<b>BEDANDA Media</b>	1,00	1,56	1,57	3,22	1,42	1,46	1,39	1,36	2,95	3,86	8,19	7,28	0,90	
VAR	0,00	1,25	0,53	1,60	0,79	0,50	0,49	0,48	1,22	1,38	2,63	2,40		
N	66	37	63	61	59	63	64	67	41	58	70	45		
<b>BUBA Media</b>	1,00	1,70	1,40	2,93	1,97	1,34	1,26	1,35	3,15	3,24	9,13	7,66	1,47	
VAR	0,00	1,13	0,50	1,53	1,16	0,48	0,45	0,48	1,95	1,53	3,00	3,13		
N	42	20	35	29	39	38	38	37	26	37	48	36		
<b>CACINE Media</b>	1,00	1,64	1,41	3,51	1,98	1,29	1,27	1,36	3,29	4,19	8,45	6,72	1,72	
VAR	0,00	2,19	0,58	1,90	1,49	0,46	0,45	0,48	1,85	0,75	3,03	2,87		
N	48	38	44	43	44	45	45	45	22	45	46	30		
<b>CATIO MEDIA</b>	1,00	0,77	1,63	3,50	1,83	1,48	1,50	1,55	3,59	3,98	8,40	7,60	0,80	
VAR	0,00	0,82	0,49	2,20	1,16	0,50	0,50	0,50	1,70	1,02	2,38	2,41		
N	61	51	57	61	46	58	58	58	41	56	63	40		
<b>COMO Media</b>	1,00	0,84	1,81	2,76	2,48	1,40	1,20	1,58	3,26	3,80	2,87	2,53	0,34	
VAR	0,00	0,72	0,50	0,71	1,05	0,50	0,41	0,70	0,73	0,58	0,64	0,56		
N	27	16	18	25	26	26	26	26	19	25	26	20		
<b>EMPADA Media</b>	1,30	1,01	1,46	3,55	2,53	1,39	1,38	1,38	4,33	4,12	11,45	10,82	0,63	
VAR	1,02	1,11	0,51	1,88	1,11	0,50	0,49	0,49	1,71	0,95	2,81	2,72		
N	37	30	35	30	38	38	39	39	21	34	40	22		
<b>FULACUNDA Media</b>	1,09	1,53	1,78	3,44	3,13	1,47	1,47	1,52	3,36	3,58	9,80	8,92	0,87	
VAR	0,51	1,02	0,42	1,97	0,87	0,51	0,51	0,51	0,79	0,97	2,17	3,08		
N	34	19	27	27	32	32	32	33	22	33	41	28		
<b>QUEBO Media</b>	0,97	1,48	1,63	2,70	1,57	1,35	1,43	1,50	3,00	3,56	12,40	11,48	0,82	
VAR	0,17	1,24	0,66	1,68	0,96	0,49	0,50	0,51	1,41	1,56	3,75	3,92		
N	36	32	32	30	28	31	30	32	13	25	34	28		
<b>TITE Media</b>	1,14	2,29	1,76	2,50	1,59	1,41	1,48	1,54	3,60	3,75	9,69	8,20	1,49	
VAR	0,76	1,73	0,83	1,75	1,02	0,50	0,51	0,51	1,35	1,22	2,73	3,15		
N	28	19	25	28	29	29	29	28	15	32	34	24		
<b>TOTAL Media</b>	1,04	1,36	1,57	3,19	2,00	1,41	1,38	1,45	3,37	3,82	8,99	7,93	1,06	
N	379	262	336	334	340	359	360	365	220	345	402	270		

SEPARACAO MAIS E MENOS AFECTADOS

<b>POCOS NAO DESTRUIDOS</b>													
<b>MEDIA</b>	1,03	1,41	1,41	3,12	1,17	1,35	1,32	1,37	3,37	3,81	8,92	7,84	
VAR	0,00	1,37	0,50	1,48	0,42	0,50	0,48	0,49	1,28	1,40	2,75	2,50	
N	204	141	180	189	213	205	204	208	126	187	215	154	
<b>POCOS DESTRUIDOS</b>													
<b>MEDIA</b>	1,00	1,24	1,76	3,36	3,31	1,49	1,47	1,55	3,42	3,92	8,66	7,74	
VAR	0,00	1,17	0,55	1,90	0,50	0,50	0,50	0,50	1,09	0,96	3,22	3,87	
N	150	107	144	137	130	149	150	150	81	134	146	93	
<b>TTEST</b>		1,08	-5,96	-1,24	-40,95	-2,56	-2,83	-3,47	-0,33	-0,80	0,81	0,23	

TEST NORMAL DISTRIBUTION TEST MAIS E MENOS AFECTADOS

SIGNIFICANCIA													
Bedinda		0,45	-1,53	-0,06	-9,45	0,40	-1,79	-0,04	-1,05	-0,88	1,88	1,19	
Buba	#DIV/0!	2,03	-1,76	1,21	-14,99	-3,18	-2,73	-2,20	-0,89	-2,64	1,45	0,18	
Cacine	#DIV/0!	-0,88	-1,53	1,06	-14,25	-1,56	-2,05	-2,55	-0,40	1,40	-1,31	-0,04	
Catio		1,16	-1,47	-0,52	-12,98	0,78	1,31	0,99	0,89	1,14	2,29	1,81	
Como		1,71	-1,73	0,35	-9,94	-2,38	-1,62	-1,12	-0,40	-1,42	-0,03	-1,06	
Empada	1,00	-1,95	-2,52	-2,03	-28,47	-0,92	-0,92	-3,67	9,63	0,08	0,45	-0,01	
Fulacuno		1,18		-1,42	-8,02	-5,70	-5,70	-6,65	-1,84	2,28	-0,40	0,13	
Quebo	-1,00	-1,91	-3,56	0,03	-8,63	-1,33	-0,75	-1,07	0,43	-0,12	-0,19	-0,76	
Tite	1,00	0,90	-2,29	-0,73	-11,79	1,14	0,66	0,23	0,18	-0,47	0,80	1,17	
<b>TOTAL</b>		1,08	-5,96	-1,24	-40,95	-2,56	-2,83	-3,47	-0,33	-0,80	0,81	0,23	

nao relacao sign (-1<F<1)	3	0	5	0	3	3	3	3	6	4	5	5	
relacao possivel (F=+- 1-1,64)	2	3	3	0	3	2	2	2	1	3	2	3	
relacao relevante (F>+- 1,65)	4	5	1	9	3	4	4	4	2	2	1	1	