

PROVÍNCIA DE MOÇAMBIQUE

SERVIÇOS DE GEOLOGIA E MINAS

HIDROGEOLOGIA DO SUL DO SAVE

PELO

Bureaux d'Études de Géologie Appliquée et d'Hydrologie Souterraine

(BURGEAP)

Tradução de

FERNANDO FREITAS

Engenheiro de Minas I. S. T.



Série de Geologia e Minas — Memórias e Comunicações

BOLETIM N.º 30

1962
TIPOGRAFIA ACADEMICA
LOURENÇO MARQUES

Í N D I C E

APRESENTAÇÃO	5
NOTA PRÉVIA	7
RESUMO	9
RESUMMÉ	9
ABSTRACT	10

HIDROGEOLOGIA DO SUL DO SAVE

PREFÁCIO	11
--------------------	----

PRIMEIRA PARTE GENERALIDADES

I — GEOLOGIA DO SUL DO SAVE

A) Esquema geral	12
B) Estratigrafia e litologia	13
C) Características hidrológicas gerais	16

II — GÊNESE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SUL DO SAVE

A) Dados climatológicos	17
B) Hidrologia superficial	18
C) Alimentação das toalhas aquíferas ao sul do Save	19

SEGUNDA PARTE DESCRIÇÃO DAS PRINCIPAIS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

I — REVISÃO DAS GENERALIDADES	20
-----------------------------------------	----

II — AS FORMAÇÕES VULCÂNICAS DO KARROO

1) Nos basaltos	23
2) Nos riolitos	23

III — AS FORMAÇÕES GRESOSAS

1.º) Ao sul dos rios Uanetze e Incomáti	24
2.º) Ao norte e a leste do Uanetze	24

IV — OS CALCÁRIOS MIOCÉNICOS DOS URRONGAS	25
-----------------------------------------------------	----

V — AS AREIAS VERMELHAS	26
-----------------------------------	----

VI — AS FORMAÇÕES ALUVIAIS DOS GRANDES RIOS	27
-------------------------------------------------------	----

TERCEIRA PARTE

POSSIBILIDADES DE EQUIPAMENTO DAS DIVERSAS ZONAS

ZONA I	29
ZONA II	29
ZONA III	30
ZONA IV	30
ZONA V	31
ZONA VI	31
ZONA VII	32

MAPAS JUNTOS

MAPA 1 — Carta geológica	1
MAPA 2 — Cortes geológicos	1
MAPA 3 — Carta pluviométrica e de habitat	1
MAPA 4 — Climatologia	1
MAPA 5 — Carta das isoietas e das unidades hidrogeológicas	1
MAPA 6 — Quimismo das águas	1
MAPA 7 — Carta das explorações recomendadas	1

APRESENTAÇÃO

O estudo hidrogeológico de base da região denominada Sul do Save foi efectuado sob a direcção do Bureaux d'Études de Geologie Appliquée et d'Hydrologie Souterraine (BURGEAP), empresa francesa com larga experiência em outros territórios africanos, que para esse efeito foi especialmente contratada. Nesses estudos colaboraram também técnicos dos Serviços de Geologia e Minas aos quais competiram principalmente a colheita dos elementos destinados ao inventário dos pontos de água.

Graças ao apoio dado pelo Ex.^{mo} Secretário Provincial, Engenheiro Ruy Ribeiro, à iniciativa do anterior Director dos Serviços de Geologia e Minas, Engenheiro Fernando Mouta, foi possível com o precioso auxílio financeiro da extinta Comissão Administrativa do Fundo do Algodão, levar a cabo no curto período de 3 anos uma obra de fomento que, sem favor, se poderá considerar de grande alcance para o desenvolvimento da melhoria das condições de vida das populações rurais, assim como auxílio imprescindível para o planeamento dos trabalhos de fomento pecuário e agrícola no Sul do Save, no que diz respeito às necessidades de água.

Gostosamente queremos tornar público os nossos agradecimentos aos técnicos da Burgeap pela forma eficaz, competente e prática que imprimiram aos trabalhos que estavam incumbidos e em especial ao seu distinto director, engenheiro JEAN ARCHAMBAULT, a quem desejamos exprimir também o reconhecimento das suas altas qualidades de técnico, aliadas ao seu encanto pessoal, fazendo um amigo em todas aquelas pessoas que com ele tiveram o prazer de trabalhar.

O Director dos Serviços,

J. TRIGO MIRA

NOTA PRÉVIA

Começa a ser lugar-comum falar-se na actualidade dos problemas sociais com que as nações se debatem. Mas, no continente em que habitamos, não há outro remédio senão viver esse lugar-comum, não somente hoje, em que as atenções para ele se dirigem em especial, mas amanhã e sempre, até que certos problemas, angustiantes em territórios tropicais e subtropicais, se encontrem resolvidos, dentro daqueles condicionalismos que o meio ambiente impõe. E é sem dúvida alguma um importantíssimo problema social dar de beber a quem tem sede, e abastecer a indústria com produto tão indispensável à sua laboração como a própria matéria-prima.

Se se pode afirmar, com certo fundamento, que recentemente o Governo deu um impulso deveras importante à solução dos problemas sociais e económicos da Província, não é menos verdadeiro que a solução dos mesmos esteve sempre no domínio das suas preocupações e constituiu matéria de actividade intensa, pelo menos em certos sectores. Um destes é, sem dúvida nenhuma, o do aproveitamento do potencial subterrâneo em águas. Com efeito, data de 1941 a criação de uma Secção de Sondagens nestes Serviços que até ao presente já perfurou cerca de 56 000 metros, e que abasteceu caudais cuja soma totaliza 150 000 litros por minuto. E desde 1952 que se está procedendo a estudos hidrogeológicos, primeiro com carácter local, e depois com carácter sistemático. Estes estudos puderam fazer-se, assim como numerosíssimas captações com eles de certo modo relacionadas, mercê de financiamento vultuoso do extinto Fundo de Fomento do Algodão.

O trabalho que se apresenta neste Boletim é uma síntese do que sistematicamente se levou a efeito a sul do rio Save, dirigido por pessoal do Bureau d'Études de Géologie Appliquée et d'Hydrologie Souterraine (BURGEAP). O seu alcance pode deduzir-se da introdução ao mesmo, e duma vista rápida através dos seus sete mapas a cores. No entanto deve acrescentar-se aqui, no intuito de chamar a atenção para os leitores, que nenhum problema de abastecimento deveria ser equacionado e resolvido nesta região, sem que este pequeno resumo fosse consultado, e eventualmente também os relatórios originais e os arquivos dos Serviços.

Para este último efeito se criou a Secção de Hidrogeologia e Geofísica, a qual se procura dotar dos meios indispensáveis ao prosseguimento do estudo hidrogeológico sistemático da Província. Faz parte do seu programa a assistência à Secção de Sondagens e a quem quer que se dedique à captação de águas subterrâneas e à resolução dos outros problemas com elas relacionados, assim como a publicação das folhas da carta hidrogeo-

lógica da Província, em escalas variáveis consoante as necessidades e os meios de acção (principalmente existência de cartas ou de fotografia aérea).

O inventário, base fundamental dos estudos hidrogeológicos, não sofreu interrupção desde que terminou a missão BURGEAP, tendo o número de pontos de água, descritos e arquivados em fichas, subido a cerca de 5000, e estendendo-se actualmente os nossos conhecimentos hidrogeológicos a uma grande parte de Manica e Sofala e a várias regiões de Cabo Delgado e de Moçambique.

Espera-se que a publicação deste trabalho seja da máxima utilidade para todos aqueles que têm que resolver problemas de águas subterrâneas. A ideia da sua tradução nasceu da intenção de lhe dar a maior divulgação possível, evitando o insucesso de certos investimentos, por parte não só de empresas ou indivíduos com capacidade financeira mas, e sobretudo, das pequenas empresas, e daqueles indivíduos que com o seu trabalho e espírito empreendedor transformam a face da terra onde vivemos.

FERNANDO FREITAS

*Engenheiro Chefe
da Secção de Hidrogeologia e Geofísica*

R E S U M O

Este trabalho, cujo original foi apresentado em francês e que descreve a hidrogeologia de Moçambique ao sul do rio Save, divide-se em três partes.

Na primeira, de generalidades, faz-se a descrição sumária da geologia e da génese das águas subterrâneas, abordando-se os seguintes aspectos : estratigrafia, litologia, hidrologia geral, climatologia, hidrologia superficial e alimentação das toalhas aquíferas.

Na segunda, as principais unidades hidrogeológicas são definidas como segue : as formações vulcânicas do Karroo, as formações gresosas meso-cenozóicas, os calcários miocénicos dos Urrongas, as areias vermelhas quaternárias, e as formações aluviais dos grandes rios.

Na terceira parte, com base nas definições anteriores, divide-se a região em sete zonas, para cada uma das quais se propõe uma forma especial de equipamento hidráulico. Se em algumas delas não existem praticamente problemas de alimentação das toalhas nem de salinidade insuportável pelo homem e pelos gados, em outras, a exiguidade das precipitações, a profundidade exagerada da toalha freática, ou a elevada salinidade das próprias rochas, leva a recomendar soluções de aproveitamento sistemático das águas superficiais por meio de pequenas barragens de terra, lagoas escavadas, etc.

R E S U M M É

Ce travail, dont l'original a été présenté en Français et que décrit l'hydrogéologie du Mozambique au sud du fleuve Save, se divise en trois parties.

Dans la première, de généralités, se fait la description sommaire de la géologie et de la genèse des eaux souterraines, en abordant les aspects suivants : stratigraphie, lithologie, hydrologie générale, climatologie, hydrologie superficielle, et alimentation des nappes aquifères.

Dans la seconde, les principales unités hydrogéologiques sont définies comme suit : les formations volcaniques du Karroo, les formations gréseuses meso-cénozoïques, les calcaires miocènes des Urrongas, les sables rouges quaternaires, et les formations alluviales des grands fleuves.

Dans la troisième partie, en se basant sur les définitions précédentes, la région est divisée en sept zones, pour chacune desquelles se propose une forme spéciale d'équipement hydraulique. Si en quelques unes il ne se pose pas pratiquement des problèmes d'alimentation des nappes ni de

salinité insupportable, tant pour l'homme que pour le bétail, en d'autres l'insuffisance des précipitations, la profondeur exagérée de la nappe fréatique ou la haute pourcentage de sel dans les roches eux mêmes, amène aux recommandations des solutions d'utilisation systematique des eaux superficielles par barrages en terre, par mares excavés, etc.

A B S T R A C T

The present work, originally written in French, describes the hydrogeology of Mozambique south of the river Save, and is divided in three parts.

In part one, named generalities, a brief description of the geology and of the genesis of ground waters is presented, covering the following subjects : stratigraphy, lithology, general hydrology, climatology, surface hydrology, and feeding of ground water reservoirs.

In part two, the main hydrogeologic units are defined as follows : the volcanic formations of Karroo age, the sandstony meso-cenozoic deposits, the Urrongas miocene limestones, the quaternary red sands, and the alluvial deposits of the great rivers.

In part three, based on the preceeding definitions, the area is divided in seven zones, for each of which it is recommended a special type of hydraulic equipment. In some of them there are no difficulties as to the feeding of ground reservoirs or to the amount of solved salts, supportable either by man or by catle ; but in others, the low amount of rain fall, the great depth to the water table or the high percentage of salt in the composition of the rocks, lead to the recommendation of solutions based on the systematic utilisation of surface waters, by means of earth dams, excavated pools, etc.

HIDROGEOLOGIA DO SUL DO SAVE

P R E F Á C I O

A Direcção dos Serviços de Geologia e Minas confiou, em Março de 1958, ao Bureau d'Études de Géologie Appliquée et d'Hydrologie Souterraine (BURGEAP) o estudo hidrogeológico de pormenor do Sul do Save, a região mais desprovida de água da Província.

De Março de 1958 a Março de 1961, quatro engenheiros deste Bureau, Jacques LEMOINE, Guy LÉZER, Stéphane BRICKA e Lucien BOURGUET, sucederam-se em grupos de dois para assegurar a direcção técnica das pesquisas, ajudados por um grupo de prospectores e topógrafos pertencentes aos Serviços de Minas da Província.

O inventário dos recursos hidráulicos de conjunto do Sul do Save (rios, lagoas, poços, nascentes, sondagens), base do nosso estudo, concretizou-se sob a forma de um ficheiro que agrupa mais de 2500 pontos de água. Este ficheiro, cuja actualização deve de hoje em diante ser assegurado pelos Serviços de Minas, pode consultar-se na Secção de Hidrogeologia e Geofísica deste Serviço.

Dois resumos das viagens que o Sr. Archambault, director do BURGEAP, efectuou ao princípio e ao fim destes três anos de campanha, assim como três relatórios anuais, ilustrados com numerosas cartas, apresentam os resultados pormenorizados destes estudos.

Foi com o fim de se poder dispor das águas subterrâneas e superficiais do Sul do Save, dum instrumento de trabalho e de informação ao mesmo tempo completo e mais manuseável que o conjunto destes cinco relatórios, que o Senhor Director dos Serviços de Geologia e Minas, Jorge Trigo Mira, nos pediu que redigíssemos um relatório de síntese.

Este relatório, que aqui apresentamos, é acima de tudo o resultado de um importante trabalho de grupo, tanto no seio do BURGEAP como com os diferentes membros portugueses da Direcção de Minas de Moçambique; cada um para ele contribuiu com o seu trabalho e segundo os seus meios; não é possível nomeá-los a todos.

Que todos aqueles que, de perto ou de longe, contribuíram para o êxito da nossa missão encontrem aqui a expressão da nossa simpatia e dos nossos vivos agradecimentos por estes três anos de activa e cordial colaboração.

Guiados, ao longo da redacção deste relatório final, pelo duplo cuidado de sermos completos conservando-nos claros, reunimos, sintetizámos, resumimos o conjunto dos dados dispersos em todos os relatórios já

editados⁽¹⁾; o leitor com inquietude pelo pormenor, ou desejoso de aprofundar, encontrará nestes relatórios todos os elementos de que possa vir a necessitar.

Se esta obra puder informar e guiar com utilidade todos aqueles, administradores, engenheiros e técnicos, que tenham que conhecer os delicados problemas da água ao sul do Save, consideramos atingida a nossa finalidade.

1.^a PARTE

GENERALIDADES

O armazenamento e os movimentos da água no solo, objecto dos estudos hidrogeológicos, estão estreitamente condicionados pela natureza e disposição das camadas geológicas; o conhecimento destes dados geológicos é indispensável para bem compreender as leis que regem a hidráulica subterrânea numa dada região.

I — Geologia do Sul do Save

A) Esquema geral (mapa 1)

1) Os terrenos mais antigos que se conhecem ao sul do Save pertencem à série do Karroo, bem conhecida na África do Sul. Trata-se de rochas vulcânicas extrusivas, de lavas (basaltos e riolitos), que, expelidas por vulcões situados na África do Sul, se deslocaram para Leste no fim da época Jurássica (era Secundária).

Estas lavas constituem um sector montanhoso que ladeia, por mais de 400 km a fronteira entre Moçambique e a África do Sul. Formam o substrato da bacia sedimentar do Sul do Save, e as sondagens profundas da Mozambique Gulf Oil Co. cortaram-nas efectivamente a mais de 3000 metros de profundidade sob os sedimentos, na região costeira entre Morrumbene e Mambone.

2) Desde o Cretácico, sobre estas lavas (cuja inclinação, devida verosimilmente aos fenómenos de afundimento que afectaram a bacia sedimentar de Moçambique, é de cerca de 1 por cento para leste), depositaram-se sedimentos marinhos e continentais.

No fim das extrusões vulcânicas, o mar, voltando em transgressão para o oeste, no Cretácico médio, depositou sobre as lavas, principalmente na região de Catuane, camadas fossilíferas, que puderam ser datadas. Portanto, durante o Cretácico, depositaram-se terrenos alternadamente marinhos e continentais, compostos principalmente de grés diversos com cimento variável, argiloso ou calcário, mas contendo sempre intercalações de conglomerado que dão testemunho da proximidade do litoral.

3) Após uma lacuna na sedimentação, devida a uma regressão marinha no princípio da era terciária, o mar, voltando durante o Miocénico (Terciário médio) sobre as camadas já depositadas, deixa sedimentos principalmente calcários (Mangulane, Delagoa, Urrongas) e gresosos (Inharrime).

(¹) Lista dos relatórios «Moçambique»:

R 237	Maio	1958	R 284	Fev.	1961
R 250	Maio	1959	R 295	Set.	1961
R 278	Nov.	1960			

Durante o mesmo tempo, verosimilmente desde o Cretácico e ao longo de toda a era terciária, enormes cursos de água (Limpopo e Changané da época?), nascidos nas montanhas da África do Sul, construíam no sopé das colinas vulcânicas e sedimentares volumosos cones de dejectão compostos de sedimentos grosseiros. Estes sedimentos, principalmente compostos de blocos, calhaus, cascalho, areias e argilas misturaram-se intimamente segundo as flutuações do curso das torrentes que os depositavam, produzindo o que os geólogos chamam uma «estratificação entrecruzada».

Muito abundantes ao norte do paralelo 26.º, estes volumosos cones de dejectão limitavam para leste a extensão dos depósitos marinhos, a uma banda quando muito de 100 km de largura ao longo da zona costeira actual. Os sedimentos de origem continental estão com efeito presentes por toda a parte, mesmo no seio das séries marinhas, que contêm quase sempre níveis muito grosseiros. Esta sedimentação continental está contudo pouco desenvolvida ao sul do Incomáti, onde os sedimentos marinhos se depositaram desde o Cretácico, até ao fim do Terciário, em camadas sobrepostas, de igual inclinação (série isoclinal) na proximidade imediata das colinas vulcânicas.

4) Durante o Quaternário, os rios actuais, principalmente o Limpopo e o Incomáti, cortaram profundamente as formações geológicas precedentes, e depositaram na região Magude-Caniçado-João Belo, um vasto delta aluvial.

Ao mesmo tempo, a erosão eólica, revolvendo os sedimentos mais finos e mais resistentes (areias e argilas), recobria de um manto de areias dunares, em certos pontos de espessura igual a 150 metros (e cuja largura atinge 150 km à altura de Inhambane), toda a zona costeira do Sul do Save.

B) Estratigrafia e Litologia (mapas 1 e 2)

1.º — Os terrenos vulcânicos do Karroo

Compõem-se de mantos sucessivos, de direcção meridiana e inclinação leste, de rochas basálticas e riolíticas.

Os riolitos são lavas claras, vermelhas, rosadas ou castanhas, de grão fino. A sua riqueza em sílica (60 por cento em média) torna-os muito resistentes à alteração. Ficam em relevo, vigorosamente entalhados pelos rios que os atravessam em gargantas estreitas.

O manto riolítico mais antigo do Sul do Save constitui as colinas dos «grandes Libombos» que bordeiam a fronteira até Mapulanguene.

Um outro manto riolítico de menor extensão (cerca de 70 km de comprimento aproximadamente) ao sul da Moamba, constitui os «pequenos Libombos».

Além destes dois mantos principais, notam-se numerosas pequenas ocorrências de riolitos no seio dos basaltos, e vice-versa.

Os basaltos são rochas de cores geralmente negras, que se tornam castanhas ou violáceas por alteração. O seu grão é fino, mas a sua composição química, mais rica em elementos básicos (cálcio e sódio) que em sílica (30 por cento somente), torna-as particularmente alteráveis: elas constituem, pois, sempre, as depressões ou as planícies de pedimento entre os mantos riolíticos.

As erupções vulcânicas estão por vezes acompanhadas de brechas e de tufos que não têm grande interesse hidrológico devido à sua pequena extensão.

2.º — *As formações sedimentares secundárias e terciárias*

Vimos que elas se sobrepõem aos terrenos vulcânicos sem dúvida sobre o conjunto da superfície do Sul do Save. Desde as primeiras camadas, cretácicas, bordejando o basalto, até ao Quaternário, encontra-se a sucessão seguinte :

CRETÁCICO : a formação do *Maputo* (marinha), datada do Cretácico inferior (Aptiano) pelos jazigos fossilíferos de Porto Henrique e de Catuane, é constituída principalmente por calcários gresosos ou argilosos castanhos. Ela compreende igualmente grés calcários com glauconite, grés argilosos micáceos, e margas negras saliníferas que corresponderiam a um episódio lagunar ao princípio da transgressão.

Esta formação não se conhece senão no sul, entre o Natal e Boane, onde aflora segundo uma banda norte-sul bordejando os basaltos.

Os «grés continentais de base», ou do *Singuedzi*, afloram ao longo do basalto, entre o Sábìe e o Rio dos Elefantes : serão de idade cretácica superior.

São grés grosseiros de cimento argiloso (branco, caulínico), frequentemente conglomeráticos ; aparecem sobrepostos por grés finos de mica branca de origem litoral verosímil.

Creemos por outro lado poder incluir neles, entre Boane e o Sábìe, na base das colinas vulcânicas, uma série de argilas vermelhas ou arroxeadas, de manifesta origem lagunar, contendo calhaus de quartzo e de basalto (argilas de Pessene).

Os grés marinhos do *Uanetze* e do *Mahel* afloram numa extensão de 25 km ao norte do *Incomáti*, a leste das formações precedentes. São constituídos por camadas marinhas de natureza variável : grés siliciosos ou de elementos feldspáticos, calcários ou grés calcários frequentemente fossilíferos.

Estes grés, recobertos, na região dos *Mazimchopes*, por grés continentais de idade terciária, reaparecem ao norte do vale do *Singuedzi* ; ali, só a parte inferior é marinha, sendo o cume continental e passando ao «grés dos Elefantes».

Parece que se tem, durante o Cretácico e no sentido do norte, uma passagem dos fácies marinhos aos fácies continentais, ligada sem dúvida a uma actividade crescente de assoreamento das torrentes vindas da África do Sul.

Os «grés dos Elefantes» seriam, pois, os homólogos continentais dos grés marinhos do *Mahel*. Eles subsistem só nos vales do *Limpopo* (até *Mabalane*) e do *Save* (até ao meridiano de *Mabote*).

São grés vermelhos, grosseiros a conglomeráticos, difíceis de distinguir dos grés de origem continental análoga mas de idade terciária, que se lhes sobrepõem em toda a superfície do Alto *Limpopo*.

O seu cimento é frequentemente calcário ; notam-se-lhe zonas arenosas e incrustações ou intercalações calcárias, provenientes sem dúvida de depósitos lacustres disseminados.

Estes grés sobrepõem-se na sondagem profunda de *Balame*, ao Eocénico marinho ; a sua idade seria, pois, segundo os locais, cretácica a terciária.

TERCIÁRIO : Ao Terciário pertencem quase todas as formações que se situam a leste do meridiano de *Magude*.

a) *Marinho*. Em vista da retirada do mar ao princípio do Terciário, não se conhecem ao sul do *Save* senão poucas formações eocénicas.

Os calcários eocénicos de *Salamanga* afloram no *Maputo* ; trata-se de calcários conchíferos e de grés glauconíticos.

No Miocénico, pelo contrário, as formações marinhas são numerosas. Conhecem-se formações calcárias, ou grés calcários conchíferos, no vale do Tembe, perto de Mapulanguene, em Delagoa, enfim, na vasta zona dos Urrongas. Notemos por outro lado, como outra fácies do Miocénico marinho, as formações de grés argiloso, de Inharrime, e, sem dúvida, a da grande curva do Incomáti (1).

b) Continental. O Terciário continental tem uma extensão muito maior, e cobre, praticamente, todo o sul do Save, ao norte do Incomáti, até à bordadura costeira do Terciário marinho.

Trata-se de grés continentais, entrecruzados, conglomeráticos, ferruginosos, que se teriam depositado desde o fim do Cretácico («grés dos Elefantes») e sem grande variação de fácies até ao Quaternário antigo. Agrupámos, sob o nome de *grés continentais terminais*, ou *grés de Magude* «sensu lato», os grés que correspondem à fase terminal desta sedimentação continental, antes da deposição das areias e aluviões quaternários. Como os «grés dos Elefantes» caracterizam-se por uma estratificação entrecruzada geral e uma granulometria muito variável; o cimento é a maior parte das vezes calcário ou ferruginoso. A sua espessura, assaz restrita, atingirá um máximo de 80 m na sondagem de Balame.

3.º — As formações superficiais quaternárias

Devem atribuir-se ao Quaternário, ou pelo menos ao Pliocénico, os aluviões dos grandes rios depositados por cima das formações gresosas atrás mencionadas, e por outro lado as coberturas arenosas ou argilo-calcárias de recobrimento.

O delta do Limpopo e do Incomáti formou-se, desde o princípio do Quaternário, na zona que se estende entre Magude, Guijá, João Belo, Vila Luísa. Pudemos, pelo estudo das sondagens de pesquisa de água, traçar as curvas de nível do soco gresoso entalhado pelos vales dos dois rios, assoado em seguida por aluviões pouco consolidados de argila, areia e calhaus, de espessura total que pode atingir ou ultrapassar os 100 metros.

A amplitude deste delta aluvial, e a abundância possível de camadas grosseiras, apresenta um grande interesse hidrogeológico; já se conhecem grandes caudais na parte sul do delta (Incomáti); a zona do Limpopo está por conhecer.

No decurso da deposição deste vasto delta, o mar deve ter feito algumas incursões, e depositado horizontes calcários locais no seio da massa aluvionar.

No fim do Quaternário, os dois rios, cujo gradiente se encontrou notavelmente reduzido, depositaram uma camada de nateiros muito fértil de alguns metros de espessura, por cima do conjunto deste delta actualmente dividido pelas acumulações dunares.

As dunas de areia de origem marinha, retomadas por transporte eólico, bordejam a costa, de Mambone ao Natal, interrompidas somente nas fozes actuais dos grandes rios (Limpopo e Incomáti).

A espessura destas dunas pode ultrapassar os 100 metros. Elas contêm, sobretudo na base, e na zona de passagem aos aluviões de delta, intercalações argilosas frequentes. De cor-de-rosa-salmão quando se individualizam em dunas, estas formações são mais claras para o interior, assim como nas depressões. Esta variação de cor parece devida, segundo

(1) Refere-se àquela em que se situa Xinavane. — N. do T.

o caso, a duas causas distintas : perda de cor nas depressões e depósitos de idade diferente.

Citaremos, enfim, para ficar registado, algumas coberturas arenosas recentes, crustas calcárias e recobrimentos argilosos de fundo de pântano, de espessura e de extensão restrita, que podem localmente cobrir os grés continentais, especialmente no Alto Limpopo.

C) Características hidrológicas gerais

1) Os riolitos e os basaltos, são absolutamente impermeáveis no estado são. Estas rochas podem, contudo, adquirir uma certa permeabilidade de fractura quando submetidas a esmagamentos ou a esforços tectónicos ; podem, por outro lado, no que diz respeito sobretudo aos basaltos, apresentar uma permeabilidade secundária devida à alteração da rocha pelos agentes atmosféricos (chuva) e ao arrastamento das substâncias dissolvidas.

Pode excepcionalmente extrair-se-lhes caudais importantes, quando a fracturação é excelente (zona de falha por exemplo) mas em geral estas formações têm uma permeabilidade fraca e as obras que exploram os seus recursos aquíferos não fornecem senão caudais restritos.

2) A quase totalidade das formações geológicas conhecidas ao sul do Save está representada por grés marinhos ou continentais. Estes grés, relativamente recentes (nunca anteriores ao Cretácico) possuem uma permeabilidade intersticial que varia segundo o tamanho dos elementos e a solubilidade do cimento.

Nas obras de exploração, esta permeabilidade encontra-se muitas vezes aumentada pelo arrastamento espontâneo ou provocado das partículas mais finas, o que melhora o caudal («desenvolvimento» das sondagens).

A experiência provou, e nós vê-lo-emos mais adiante, que os diferentes tipos de grés, muito variáveis no pormenor, têm, contudo, características constantes no que diz respeito às águas subterrâneas. Exceptuando as diferenças químicas, as toalhas aquíferas que neles se encontram ligam-se perfeitamente umas às outras, sem interrupção, para formar a «toalha geral dos grés».

3) As formações calcárias ou greso-calcárias, e particularmente os calcários dos Urrongas, são muitas vezes carsticas, quer dizer que apresentam uma fragmentação acrescida de dissolução da rocha. Nelas se encontram grutas e sondagens soprantes ; nas sondagens, podem obter-se grandes caudais. A formação calcária de Delagoa apresenta igualmente uma fracturação deste tipo que não estaria bem desenvolvida senão nas bordas dos cortes criados pelos cursos de água.

4) Os aluviões fluviais, frequentemente grosseiros e pouco consolidados, possuem uma permeabilidade muito maior. Podem exercer a função de dreno da toalha geral dos grés : os caudais das obras que os exploram contam-se entre os mais importantes que se obtiveram ao sul do Save.

Só a toalha do Incomáti se encontra bem reconhecida, pelo menos ao norte da Manhiça.

5) As dunas e formações arenosas diversas de granulometria geralmente fina, têm uma permeabilidade média, que é sobretudo função do seu teor em argila.

Delas se pode normalmente esperar bons caudais ; o método do «desenvolvimento», que sempre se pode aplicar, permite aumentar este caudal, tanto nos poços como nas sondagens.

II — Génese das águas subterrâneas do Sul do Save

A) Dados climatológicos (mapas 3 e 4)

1.º — Precipitações atmosféricas

O Sul do Save é um território em que certas partes são bastante áridas, mas não desérticas, visto que a média pluviométrica anual registada é em todos os seus pontos superior a 300 mm.

A carta respectiva mostra que a maior parte da região recebe entre 500 e 1100 mm de chuva por ano.

Se bem que a chuva caia, para uma altura anual igual, durante um número de dias equivalente ao que se observa na África Ocidental, a estação das chuvas é bastante mais extensa, perto de 6 meses. Isto favorece bastante a vegetação; observa-se, na maior parte do Sul do Save, a presença de uma vegetação arbustiva muito densa (mesmo nas zonas onde a altura de chuva é inferior a 400 mm por ano), em lugar da estepe herbácea com espinhosas muito disseminadas (sahel) que se encontra na África Ocidental para uma pluviosidade análoga.

Resulta daí uma perda evapotranspiratória intensa pelo coberto vegetal, a expensas da infiltração ou do escoamento superficial.

Nota-se nas diversas estações meteorológicas uma grande diferença de altura de chuva de um ano para outro: entre anos chuvosos e anos secos, a altura de chuva caída pode variar, no Caniçado por exemplo, segundo uma relação de 4 para 1⁽¹⁾.

O curioso é que esta diferença é mais acentuada nas estações de pluviosidade mais acentuada (Macia: 2224 mm em 1918; 77 mm em 1934!).

Enfim, observa-se que a altura de chuva máxima diária é muito grande em relação à média anual, para uma estação determinada: no Funhalouro: 305 mm (média 526 mm).

2.º — Índice de aridez

O índice de aridez ao sul do Save, calculado a partir da fórmula do geógrafo francês DE MARTONNE:⁽²⁾

$$\text{Índice} = \frac{\text{Chuva anual (em mm)}}{\text{Temperatura média (em graus centígrados)} + 10}$$

e, à excepção do Alto Limpopo, por toda a parte superior a 20; este valor corresponde, na África Ocidental, a regiões tais como a Guiné ou a Costa do Marfim que são duas vezes mais chuvosas em média.

Isto provém do facto da temperatura média ao sul do Save ser sensivelmente menos elevada.

3.º — Evaporação — Evapotranspiração

a) A evapotranspiração, ou coluna evapotranspiratória anual, expressa em mm ou em % da quantidade de água da chuva recebida, é um factor fundamental da alimentação das toalhas, posto que ela retira do solo,

⁽¹⁾ Caniçado: 1299 mm em 1950; 290 mm em 1941.

⁽²⁾ Este índice não é realmente aplicável senão para as regiões áridas ou subáridas.

pela acção combinada da evaporação capilar e da transpiração dos vegetais, uma parte da água infiltrada. Mede-se por meio de lisímetros; estes são simples tinas, nas quais, sobre solo típico da região, se faz crescer a vegetação tipo. Permite recolher e medir a quantidade de água realmente infiltrada, remanescente do consumo vegetal.

Não se dispõe, infelizmente, de nenhuma medida lisimétrica ao sul do Save, e fica-se reduzido a estimar a perda evapotranspiratória por meio de outros métodos menos precisos.

b) *A evaporação em superfície livre*, ou sobre tina evaporatória, conhece-se agora em Lourenço Marques através de quatro anos de colheita de dados, efectuada pelos Serviços de Obras Públicas.

A evaporação anual média para este período, registada sobre tina, é de 1,4 m, com um máximo de 1,6 m e um mínimo de 1,17 m.

Observações regulares efectuadas por S. BRICKA em 1960-61, em albufeiras de barragens, escolhidas pela sua estanqueidade, tendo em conta as chuvas caídas e deduzindo o abeberamento do gado, conduziram a admitir uma evaporação anual sobre superfície livre da ordem dos dois metros na região de Magude-Caniçado, e de dois e meio metros na região de Mapulanguene e Guijá.

c) *Evaporação medida com o evaporímetro Piche*

Um certo número de estações meteorológicas efectuaram desde 1959 observações de medidas evaporatórias por meio de evaporímetro Piche.

Trata-se de um tubo cheio de água destilada, fechado na extremidade inferior por meio de uma rolha de mata-borrão de superfície dada, sobre a qual se exerce a evaporação.

O mapa 4 fornece as médias dos resultados destas medidas ao sul do Save.

Admite-se habitualmente que a evaporação sobre superfície livre pode deduzir-se do valor medido no evaporímetro Piche, por uma relação variável segundo os lugares.

As observações de S. BRICKA, e as medidas com tina tendem a provar que as medidas Piche fornecem ao sul do Save uma cifra muito vizinha das medidas sobre superfície livre⁽¹⁾.

A evaporação é, evidentemente, função de muitos factores, entre os quais a temperatura, a humidade do ar, o grau de saturação do solo.

A coincidência notável que se observa no mapa 4 entre as curvas: Evaporação Piche: 2,5 m, altura de chuva anual: 600 mm, humidade do ar: 65 por cento, e índice de aridez: 20, é mais do que o efeito do acaso: ela marca um limite climatológico real. O conjunto destas curvas delimita, ao norte da região estudada, a zona do Alto Limpopo, que é considerada, com justiça, como a mais desértica do conjunto da Província, e que corresponde às zonas I e II dos nossos estudos.

B) **Hidrologia superficial**

1) *Sistema hidrográfico*

Se exceptuarmos o Save, que constitui a fronteira norte da região estudada, e cuja bacia se estende muito pouco pela margem sul, o Sul do Save é drenado por três bacias principais.

(1) É interessante notar que em Bouaké, na Costa do Marfim, sob clima do mesmo tipo, a relação entre a evaporação Piche e a evaporação sobre superfície livre é igualmente vizinha de 1.

a) O *Limpopo* drena mais de metade da região; a sua rede hidrográfica, bem desenhada na parte montanhosa do curso superior, não corre senão alguns dias por ano. O rio só é permanente a jusante da sua confluência com o Rio dos Elefantes.

O seu principal afluente da margem esquerda, o *Changane*, tem uma bacia extremamente plana e arenosa, que compreende numerosos charcos; apesar de ter uma bacia de recepção de 50 000 km², as suas cheias não atingem o *Limpopo* senão excepcionalmente.

b) O *Incomáti* tem um curso bastante inclinado, e uma bacia de recepção bem desenhada, salvo no seu curso inferior, que devia, numa época ainda bastante recente, lançar-se no oceano por um delta comum com o *Limpopo*. É permanente a jusante da sua confluência com o *Sábié* mas seca a montante de uma maneira excepcional.

c) O *estuário do Espírito Santo*, que forma a baía de Lourenço Marques, recebe as águas do *Umbeluzi*, do *Tembe* e do *Maputo*, que drenam o extremo sul da Província

2) Dados hidrológicos

O estudo dos factores hidrológicos é essencial, tanto sob o ponto de vista da construção de barragens para fins diversos, como para melhor se conhecerem as condições de alimentação das toalhas aquíferas.

Pode, com efeito, escrever-se para um dado sector e num dado tempo:

$$\text{Chuva} \times \text{Superfície} = \text{Volume evaporado} + \text{Volume escorrido} + \text{Volume infiltrado}$$

Os coeficientes de escoamento médios variam, para os principais rios do Sul do *Save* entre 10 por cento da água recebida na bacia de recepção, para o *Umbeluzi*, e 35 por cento para o Rio dos Elefantes.

Os défices de escoamento médios correspondentes (que representam a soma dos volumes evaporados e infiltrados) expressos em altura de chuva anual, escalonam-se entre 960 e 650 mm, para bacias de recepção montanhosas situadas na verdade, em grande parte, em territórios da África do Sul e da Rodésia, e muito chuvosos.

Para as pequenas bacias de recepção, o défice de escoamento é muito mais importante, mesmo em regiões montanhosas de subsolo riolítico onde a infiltração deve ser fraca: observámos em muitos pontos coeficientes de escoamento médios compreendidos segundo os sítios entre 1 e 2 por cento e entre 0 e 5 por cento.

A água que não escorre divide-se em duas fracções de importância muito desigual: a maior é retomada pela atmosfera por evapotranspiração, a outra vai alimentar as toalhas aquíferas.

C) Alimentação das toalhas aquíferas ao Sul do *Save*

A alimentação das toalhas é *directa* quando a chuva se infiltra onde cai; é *indirecta* quando a infiltração se processa a favor das concentrações locais criadas pela escorrentia, pelo escoamento dos rios ou pelo fundo dos charcos.

1.º — A alimentação *directa* das toalhas aquíferas a partir da chuva efectua-se quase por toda a parte nas regiões temperadas; em regiões áridas ou subáridas, é muito mais problemática, por efeito de uma evaporação intensa.

Tenta-se, pois, frequentemente determinar a partir de que altura de chuva anual mínima se realiza a alimentação *directa* das toalhas num

clima dado. Um certo número de observações feitas na África Ocidental permitiram admitir que, para estas regiões, a alimentação directa é possível para uma altura de chuva média superior a 400 mm por ano.

Ao sul do Save, dadas as condições particulares criadas pela distribuição das chuvas durante seis meses do ano, fenómeno que favorece uma vegetação densa e uma forte evapotranspiração, este limite de infiltração directa poderia ser mais elevado e corresponder à isoieta 500 mm (a perda evapotranspiratória seria, noutros termos, da ordem dos 500 mm por ano).

Nesta hipótese, as toalhas do Alto Limpopo não beneficiariam geralmente senão de uma alimentação indirecta, sendo, contudo, possível a infiltração directa nos anos de chuvas superiores a 500 mm. Isto explicaria a presença de numerosas pequenas toalhas locais, temporárias ou no limite de perpetuidade, situadas fora dos eixos de escoamento; esta alimentação deficitária traduzir-se-ia, enfim (conjuntamente com outros factores), sobre a toalha geral dos grés, por um índice de salinidade que se tornaria rapidamente inaceitável no curso do seu escoamento.

2.º — Não dissemos muita coisa sobre a alimentação indirecta, ao longo dos eixos de escoamento, ou no fundo dos charcos; ela é evidente, mas, quando intervém só por si, fornece volumes de água muito restritos em relação aos volumes postos em jogo pela infiltração directa.

A avaliação das quantidades de água infiltradas nas toalhas, é, conforme se vê, das mais delicadas, porque depende de numerosas variáveis.

Seja como for, e a pesar da penúria de alimentação no Alto Limpopo, veremos que existe, no conjunto do Sul do Save, ou seja, numa área superior a 150 000 km², uma toalha aquífera geral e contínua.

A explorabilidade desta toalha é função da sua profundidade, da natureza da rocha na qual circula e, sobretudo, do grau da sua mineralização.

A interestratificação geral das camadas, a alimentação parcimoniosa no Alto Limpopo, e o forte teor em sais das rochas, têm por consequência o facto das águas da toalha adquirirem frequentemente uma concentração salina proibitiva.

2.ª PARTE

DESCRIÇÃO DAS PRINCIPAIS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

I — Revisão das generalidades

No caso mais corrente, a água que se infiltra num terreno permeável, alimenta a primeira toalha livre que se encontra sob a superfície do solo, e que se chama «toalha freática»; esta toalha é a mais directamente explorável: a sua profundidade é geralmente da ordem de alguns metros ou dezenas de metros, e é raro que as sondagens de pesquisa de água atinjam e ultrapassem 150 m de profundidade.

Isto — exceptuado o caso de toalhas cativas profundamente enterradas nas grandes bacias sedimentares — fixa, pois, em princípio, o limite habitual das investigações hidrogeológicas.

As toalhas aquíferas, livres ou não, escoam-se lentamente para um nível de base que é, em geral, o mar.

A comparação das cotas dos níveis estáticos dos diferentes pontos de água que exploram uma mesma toalha permitem traçar as «curvas isopiezas»; estas curvas fornecem a forma da superfície livre da toalha, como as curvas de nível topográfico traduzem as formas do terreno.

Existe, ao sul do Save, uma toalha freática geral, possante, da qual traçámos, ponto por ponto, as curvas isopiezas que se apresentam no mapa número 5 deste boletim.

Em cada ponto se pode materializar o sentido de escoamento da toalha, traçando a perpendicular às curvas isopiezas que não é senão a linha de maior declive.

Isto permite reconhecer que os rios, pelas curvas topográficas que criam, e pelas aluviões de boa permeabilidade que possuem frequentemente, drenam a toalha freática; este fenómeno traduz-se na concavidade das isopiezas para jusante.

A continuidade das curvas freáticas mostra que na ausência de camadas geológicas impermeáveis, em grandes espaços, a toalha é contínua no conjunto do Sul do Save.

É necessário notar que as diversas espécies de grés, qualquer que seja a sua idade, ou a sua origem, não introduzem descontinuidade na toalha.

Aliás, as formações aquíferas nas quais circula a toalha freática são umas vezes constituídas por calcários (toalha dos calcários dos Urrongas), outras vezes por areias eólicas (toalha das areias vermelhas), outras vezes por aluviões (toalhas dos aluviões dos grandes rios), outras vezes, enfim, pela orla alterada ou fragmentada das rochas vulcânicas (toalhas das formações vulcânicas do Karroo). A ausência de níveis impermeáveis contínuos, entre estas diversas formações geológicas, faz que as circulações de água dos diferentes sectores aquíferos se liguem, sem descontinuidade, no seu escoamento para um nível de base único: o mar.

A velocidade de escoamento médio teórico, fornecida pela lei de Darcy, é:

$$V = K \cdot i,$$

na qual K representa a permeabilidade do meio aquífero, e i a inclinação da toalha, fácil de calcular a partir das curvas isopiezas. Na realidade, a velocidade real dos diferentes filetes líquidos, tal como se pode medir por meio de indicadores, é sensivelmente mais elevada. Seja como for, as velocidades de escoamento das toalhas são, em geral, muito fracas; no caso muito favorável de uma areia bem lavada, de permeabilidade forte ($K=10^{-3}$ m/seg.), a água, de acordo com a lei de Darcy, avança a uma velocidade média teórica de: $10^{-3} \times 10^{-3} \times 32 \times 10^6 = 32$ metros por ano sob uma inclinação de 1 por mil (a velocidade real pode ser 5 a 10 vezes mais elevada).

Uma toalha contida num grés argiloso de permeabilidade 100 vezes menor, não avançaria mais de 32 cm no mesmo tempo e sob a mesma carga.

Se as velocidades de escoamento são muito fracas, é preciso lembrar que as quantidades de água postas em jogo são consideráveis.

A toalha freática geral do Sul do Save estende-se por mais de 150 000 K²; por cada metro de altura aquífera, se se admite um coeficiente de armazenamento médio de 10 por cento, as reservas correspondentes são de: $15 \times 10^{10} \times 1 \times 10^{-1} = 15$ biliões de metros cúbicos.

Se a realimentação anual sobre o conjunto da superfície não fosse mais que 10 mm de chuva, o que é subestimar muito, o volume de água posto em jogo seria de 1,5 biliões de m³.

A água da chuva que se infiltra carrega-se de gás carbónico dissolvido (CO₂), ao cair na atmosfera. Este gás carbónico será o primeiro agente de alteração das rochas.

Contudo, a água infiltrada cessa rapidamente de ser carbonatada para se carregar de cloretos e de outros sais, que ela dissolve em contacto com as rochas nas quais circula. Durante o tempo extremamente prolongado, que ela leva a atingir o seu nível de base, a quantidade de cloretos aumenta progressivamente. Como consequência de um equilíbrio complexo, entre os diferentes iões, chega-se progressivamente a águas nas quais predominam os iões cloro e sódio e cujo diagrama logarítmico é semelhante ao da água do mar.

No caso particular do Sul do Save, vimos (pág. anterior) que existem numerosos sectores onde a água da toalha freática geral é muito salgada para ser utilizável⁽¹⁾.

A presença de níveis lagunares salinos não se notou senão de maneira muito excepcional para explicar a grande extensão das «zonas salgadas» do Sul do Save.

Pelo contrário, o episódio lagunar ou continental que marca, em cima dos basaltos, a base da grande transgressão do Secundário, é balizado, do rio Singuedzi ao Natal, por uma longa banda de direcção meridiana, na qual as águas subterrâneas são habitualmente salgadas.

Esta zona, assim como a parte da toalha dos grés continentais na região de drenagem da zona I constituem, ao terminar a nossa missão, os únicos sectores do Sul do Save onde o problema do equipamento hidráulico fica por resolver.

Propomos mais adiante a prospecção geofísica eléctrica como a solução mais adaptada aos dados deste último problema.

Além da toalha geral, e sobrepondo-se frequentemente a ela, nota-se, ao sul do Save, a presença de toalhas locais superficiais; estas toalhas (toalhas aluviais de pequenos rios, toalhas de fundos de charcos, toalhas de coberturas arenosas limitadas) são em geral de fraca extensão; podem contudo ter localmente um grande interesse prático (especialmente no Alto Limpopo).

Estas toalhas são muito sensíveis às variações anuais e às relacionadas com as estações, porque circulam frequentemente até à toalha geral para cuja alimentação contribuem.

As suas águas são sempre muito doces, mas a zona aquífera é, geralmente, pouco espessa, o que faz que a sua utilização necessite de estudos de pormenor para cada caso. Não podem, pois, dar origem a nenhum programa de equipamento de conjunto, mas convinha sobre elas dizer aqui alguma coisa sucinta.

II — As formações vulcânicas do Karroo

JAZIDA. Não alteradas, estas rochas, riolitos ou basaltos, são compactas e impermeáveis; só a alteração e a fracturação lhes podem conferir uma certa permeabilidade.

A alteração, muitas vezes espessa nos basaltos, é muito reduzida, quando existe, nos riolitos; a permeabilidade dos produtos de alteração é, aliás, fraca.

⁽¹⁾ Na Europa a taxa de cloretos das águas de distribuição urbana não ultrapassa os 500 mg/litro; em África podem admitir-se taxas que vão até dois gramas por litro para o consumo humano, podendo o gado beber água com perto de cinco gramas por litro.

A fracturação pode estender-se muito profundamente, mas a permeabilidade das fracturas, muito irregular, é frequentemente limitada por uma colmatação calcária ou argilosa.

ALIMENTAÇÃO. As condições de alimentação são boas, pelo menos ao sul do paralelo do Caniçado, onde chove em média mais de 600 mm por ano.

É principalmente à sua pluviosidade excepcional (900 mm) que a Namaacha deve a existência de numerosas pequenas toalhas nos riolitos.

1) *Nos basaltos*

A toalha, compartimentada pelos altos fundos da rocha sã, circula dificilmente na franja de alteração superficial ou na zona de fracturação mais profunda.

SALINIDADES. As qualidades químicas destas águas, que circulam lentamente, no seio de uma rocha bastante rica em elementos solúveis, são mediócras, mas geralmente aceitáveis para os animais. As águas são de tipo carbonatado ou misto carbo-cloretado (mapa 6-C); a existência de águas carbonatadas sódicas pôr-se em evidência em muitos pontos.

Na proximidade do limite do basalto e das rochas sedimentares que se lhe sobrepõem, a salinidade aumenta de maneira constante, até as águas se tornarem inutilizáveis (mais de 30 gr de Cl Na por litro na região de Pessene). Este fenómeno, limitado a uma estreita banda meridiana poderia estar em relação com a presença de camadas lagunares (argilas, margas com gesso) interestratificadas com os mantos de lava, no fim da extrusão vulcânica.

CAUDAIS. O êxito de uma perfuração nos basaltos está ligado à descoberta de uma zona fracturada ou alterada a baixo do nível piezométrico da toalha; sendo montanhosas estas regiões, o nível estático estabelece-se com frequência muito profundamente, e parece que muitas sondagens se consideraram estéreis por não terem sido suficientemente aprofundadas.

Ao sul do Incomáti, a proporção de insucessos é da ordem de 1 para 3. O caudal das sondagens produtivas é medíocre e não ultrapassa 3 m³/h senão de maneira completamente excepcional (o caudal específico correspondente é de 0,5 m³/h/m).

Ao norte do Incomáti, onde se dispõe de menos dados, a toalha parece pior alimentada e frequentemente mais profunda.

Duma maneira muito geral, não se pode esperar obter grandes caudais deste tipo de toalhas; quando muito pode-se conseguir colocar o máximo de probabilidades do nosso lado situando as obras de captação sobre acidentes tectónicos assinalados pela fotografia aérea e, conjuntamente, na proximidade de zonas de alimentação «indirecta» preferencial (rios, charcos, zonas de espraiamento das águas de cheias).

Finalmente, assinalemos que o caudal da sondagem (10-121), explorando a rocha sã fracturada, pôde ser quadruplicado fazendo explodir, sob o nível estático, e frente à zona mais fracturada, uma pequena carga (alguns quilos) dum explosivo insensível à água.

2) *Nos riolitos*

Muito mais duros que os basaltos, e praticamente inalteráveis, os riolitos não possuem uma toalha contínua, e constituem, mesmo por vezes, um obstáculo ao escoamento das águas da toalha dos basaltos (pequenos Libombos).

Não contêm senão pequenos sistemas aquíferos isolados, no contacto imediato dos basaltos, ou suspensos sobre altitudes bem húmidas (Namaacha); neste último caso, estas toalhas estão ligadas a um «chapéu de alteração» pouco espesso que constitui o reservatório, drenado por uma rede restrita de fracturas, que dão a cotas diversas, nascentes de reservas muito limitadas.

SALINIDADE. Em vista da solubilidade muito fraca da rocha aquífera e da altura importante de chuva anual necessária à aparição destas toalhas, as águas vindas dos riolitos são muito pouco mineralizadas (resíduo seco inferior a 300 mg/litro), e de tipo cloretado sódico.

CAUDAIS. Os caudais das nascentes não ultrapassam alguns litros por segundo e são estreitamente função da pluviosidade; as sondagens estão frequentemente votadas ao fracasso pelo encontro prematuro de um fundo alto de rocha sã, e os caudais das raras obras produtivas são inferiores a algumas centenas de litros por hora.

III — As formações gresosas

Recordemos que a característica essencial das formações gresosas, que cobrem mais de 2/3 da superfície do Sul do Save, é uma irregularidade de pormenor que jamais permite estabelecer uma correlação geológica satisfatória entre as sondagens.

JAZIDA. O inventário dos recursos aquíferos efectuado pela missão BURGEAP pôs aí em evidência a existência de uma toalha geral. Não existe um nível aquífero guia. A permeabilidade é fraca no conjunto. Esta toalha é acessível em toda a parte a uma profundidade inferior a 90 metros.

1.º — *Ao sul do rio Uanetze e do Incomáti* predominam as formações marinhas gresosas ou calco-gresosas; os grés são finos e de permeabilidade média e contínua, se bem que contenham localmente níveis grosseiros.

Alimentação e circulação. A altura de chuva é suficiente para assegurar uma alimentação directa anual salvo no bordo oriental, sob o recobrimento, pouco permeável, dos grés de Magude. A circulação da toalha efectua-se para leste. As diversas camadas, de idade e de origem variadas não lhe introduzem descontinuidade e a inclinação hidráulica varia entre 0,5 e 2 por mil.

SALINIDADE. Em vista da circulação relativamente fácil da toalha e da sua boa alimentação, os índices de salinidade são geralmente aceitáveis; não ultrapassam 5 gr de Cl Na por litro, senão localmente na franja de direcção meridiana de grés continentais de base ou do Singuedzi, e nas formações aparentadas (argilas de Pessene).

CAUDAIS. Os caudais variam bastante segundo os pontos, mas parece sempre possível obter nas obras de captação, embora pelo preço dum ligeiro desenvolvimento, os 2 ou 3 m³/hora necessários aos usos pastoris. Só a formação calcária da Delagoa parece estar afectada por vezes de fracturação de tipo ligeiramente carstico permitindo esperar caudais um pouco superiores.

2.º — *Ao norte e a leste do Uanetze*

JAZIDA - PERMEABILIDADE. Aqui predominam os grés e as formações continentais. Os grés, grosseiros e conglomeráticos, as argilas, as

areias, as crostas calcárias entrecruzam-se, terminam em bisel, misturaram-se em grandes espessuras; a permeabilidade geral que daí resulta é muito fraca, apesar da presença de níveis grosseiros.

Dosagens efectuadas em amostras destas rochas mostraram que elas contêm uma percentagem variável de cloretos mas que nunca estão isentas deles.

ALIMENTAÇÃO. O conjunto desta região recebe de 300 a 600 mm de chuva por ano.

Os grés terminais são também pouco permeáveis ou impermeáveis em numerosos sectores como demonstrou o estudo fotogeológico de W. Oberholzer; aliás, o assoreamento da rede hidrográfica e a vegetação muito densa que domina o conjunto, fazem que a alimentação das toalhas nesta zona seja a mais precária de todo o Sul do Save.

CIRCULAÇÃO. A toalha dos grés nesta região, mediocrementemente alimentada, circula mal nas formações de fraca permeabilidade. À excepção da região fronteira, onde o relevo se eleva, a inclinação da toalha é muito fraca (menos de 0,5 por mil). Próximo do solo nas partes mais baixas, ela deve estar submetida a uma forte evapotranspiração. Escorre de todos os lados para o Changane, que é o seu dreno principal.

SALINIDADE. O conjunto destas condições determina, em particular nas zonas de drenagem (Changane), uma salinidade excepcionalmente elevada (várias dezenas de gramas de Cl Na por litro).

As águas da toalha dos grés, sejam elas muito salinas ou não, são de tipo fundamental cloretado sódico com um diagrama logarítmico do tipo «água de mar» (mapa 6-C).

Localmente, condições melhores de sedimentação, ou uma sobrealimentação em águas doces, por escoamento de rios ou percolação de toalhas superficiais, adoçam as águas e tornam-nas utilizáveis pelo menos para a criação.

CAUDAIS. São geralmente medíocres, mas o encontro de níveis grosseiros pode conduzir a caudais melhores, de maneira mais frequente que nas formações gresosas marinhas de granulometria média mais fina.

O desenvolvimento das obras de captação, por arrastamento de partículas finas, pode conduzir a caudais exploráveis de vários metros cúbicos por hora, e o problema essencial desta zona é o do sal.

Se em certos casos um estudo hidrogeológico de detalhe pode permitir pôr em evidência uma zona aproveitável onde as águas sejam doces, os métodos de investigação de superfície são, de uma maneira geral, insuficientes para basear o equipamento hidráulico sistemático numa tal região.

Como em todos os problemas hidrogeológicos, nos quais o sal é um elemento dominante, o único método eficaz aplicável em grande escala é o método geofísico por «sondagens eléctricas».

Sem pretender entrar nas dificuldades deste método, no caso de formações heterogéneas, recordemos que os elementos de um ensaio deste método ao caso do Sul do Save, e o programa da campanha ulterior, a efectuar em caso de sucesso, apresentaram-se de maneira pormenorizada no relatório R. 278, p. 107.

IV — Os calcários miocénicos dos Urrongas

JAZIDA. Esta formação geológica de origem marinha, que substitui, ao nordeste do Sul do Save, os depósitos torrenciais e continentais,

encerra, sob uma delgada cobertura superficial de argilas e de areias, uma toalha regular que circula numa rede de fracturas.

A possança desta formação ultrapassa geralmente 100 metros. Apresenta características carsticas evidentes: grutas, sondagens soprantes, chaminés de dissolução, particularmente na zona oriental.

ALIMENTAÇÃO. Esta toalha é bem alimentada na região costeira onde as condições pluviométricas são muito favoráveis. O forte grau hidrotimétrico do ar, devido à influência oceânica, contribui igualmente para reduzir a perda evapotranspiratória, e, portanto, para aumentar a alimentação.

CIRCULAÇÃO. A partir do oeste, onde elas substituem as águas da toalha dos grés, as águas da toalha dos calcários escorrem para leste e para o mar, a profundidade fraca sob o solo (raramente mais de 50 metros), com uma inclinação relativamente elevada, da ordem de 1,5 por mil.

SALINIDADE. Os índices de mineralização são geralmente fracos, em consequência das boas condições de alimentação e de circulação.

No rebordo ocidental, portanto na zona onde os calcários marinhos se interestratificam com os grés continentais que substituem, a salinidade das águas é sensivelmente mais importante; com efeito, a permeabilidade da rocha é aqui muito mais fraca, e a alimentação menos abundante. Pode temer-se em particular que a toalha seja inexplorável a oeste duma linha passando por Luido-Muabsa-Sitila.

Cloretadas sódicas a leste, como as águas dos grés que elas substituem, estas águas, ao contacto com os calcários, tornam-se progressivamente carbonatadas. São-no nitidamente dentro de uma franja costeira de cerca de 50 km (mapa 6-C).

CAUDAIS. Esta toalha, bem alimentada, possante e homogénea, parece susceptível de fornecer em todos os pontos caudais excelentes, graças à fracturação da rocha aquífera.

Todas as sondagens efectuadas pela MOZAMBIQUE GULF OIL CO. para alimentar os seus acampamentos, forneceram um caudal mínimo de 6,2 m³/hora, caudal limitado pela capacidade da bomba de ensaio.

A obtenção de grandes caudais (50 a 100 m³/h e mais?) é possível e poderia talvez permitir o desenvolvimento de culturas regadas, na condição de se procurar, nas fotografias aéreas, as zonas de falhas e de diaclases.

V — As areias vermelhas

JAZIDA. O domínio das areias quaternárias estende-se sobre o conjunto da zona costeira do Sul do Save; tem uma largura máxima de 170 km à latitude de Inhambane.

A toalha freática geral circula nestas areias de origem eólica; finas ou muito finas, pobres em cal, e de teor argiloso variável (as dunas vermelhas costeiras, sendo mais argilosas que o antepaís, de recobrimento arenoso branco), a sua permeabilidade é média e regular.

A espessura destas areias é muito importante; ela ultrapassa 140 m na praia Sepúlveda, perto de João Belo.

ALIMENTAÇÃO. Devido à proximidade do mar, nenhuma estação da zona das areias recebe menos de 700 mm de chuva por ano; o clima

marinho traduz-se, como na zona dos calcários dos Urrongas, por um forte grau hidrométrico do ar, donde resulta uma menor evaporação. A toalha das areias é, pois, a melhor alimentada de todo o Sul do Save, recebendo certos pontos, anualmente, mais de 1100 mm de chuva. A morfologia dunar favorece o acréscimo da infiltração, e a vegetação é menos densa que no Alto Limpopo.

CIRCULAÇÃO. Muito bem alimentada, esta toalha que circula no seio das areias de boa permeabilidade, é espessa e possante; ela dá origem perto do mar a numerosos cursos de água permanentes com grande caudal de estiagem.

A morfologia dunar contraria, no interior, o escoamento para o mar, e a toalha circula, com uma inclinação assaz forte de 2,5 a 5 por mil, para uma série de bacias de drenagem topográficas, dando um aspecto muito contorcido às curvas freáticas.

Muito profunda (entre 40 e 100 metros), sob os cumes das dunas, a toalha aflora frequentemente nas depressões onde alimenta lagos.

SALINIDADE. A toalha das areias é a toalha mais regularmente doce de todo o Sul do Save, com um resíduo seco em média de menos de 250 mg/litro. Isto provém da pureza das areias nas quais circula e da boa alimentação de que beneficia.

As águas são geralmente cloretadas sódicas, salvo num pequeno domínio situado ao norte de Inharrime, onde as águas são mistas (cloro-carbonatadas) ou carbonatadas, em relação provável com a presença de areias mais calcárias nesta zona (mapa 6-B).

Certos lagos sem saída superficial, alimentados pela toalha, têm águas fortemente mineralizadas; este carácter provém simplesmente da concentração das águas por evaporação. Encontramos sempre, com efeito, escoadouros de água doce nas margens destes lagos.

CAUDAIS. Os caudais que se podem esperar da toalha são função da permeabilidade local das areias, mas também, e sobretudo, da qualidade da captação.

Nas zonas baixas, os poços de cimento com filtro de cascalho, devem fornecer 2 m³/hora em média. Nos pontos altos, é-se obrigado a recorrer às sondagens, aos métodos de desenvolvimento, à colocação de filtros a toda a altura da camada aquífera. Dada a grande espessura dos terrenos aquíferos, uma obra bem feita deveria dar de 5 a 50 m³/hora segundo os casos.

VI — As formações aluviais dos grandes rios

JAZIDA. O seu interesse provém da presença frequente de níveis de granulometria grosseira dotados duma grande permeabilidade.

As formações mais grosseiras estão frequentemente incluídas nas camadas mais finas ou mais argilosas que as põem em carga; o êxito duma sondagem ou dum poço relaciona-se com o encontro de um ou outro destes níveis grosseiros.

ALIMENTAÇÃO. A alimentação destas zonas aquíferas é complexa; ela parece devida, em parte, a infiltrações do curso de água nas regiões onde o seu leito é permeável.

A infiltração directa, pelo contrário, é mais problemática, dada a espessura frequente das aluviões argilosas na parte superior.

Com efeito, o grosso da alimentação parece devida a maior parte das vezes à drenagem da toalha freática geral; estas relações são postas em evidência com nitidez pela forma das curvas freáticas, e noutros pontos, nos sectores onde a toalha geral é salgada, pela sua influência sobre a salinidade da toalha aluvial.

CIRCULAÇÃO. Se exceptuarmos o caso dos pequenos rios, que não são em geral mais do que «charcos subterrâneos», praticamente estagnados, a circulação das toalhas aluviais é facilitada nos níveis de boa permeabilidade que fazem o papel de dreno. Esta permeabilidade melhor está justamente na origem da drenagem da toalha dos grés que se observa quase por toda a parte nas proximidade dos rios.

SALINIDADE. As águas das toalhas aluviais são, geralmente, muito doces, e de tipo carbonatado, onde têm origem directamente nas águas superficiais. A influência da mineralização da toalha dos grés pode, contudo, fazer-se sentir onde ela é drenada, e estar na origem de águas salinas, cloretadas sódicas, como se observa na margem esquerda do Limpopo na zona de confluência com o Changane, e no Incomáti, a jusante do Sábíè.

Da mesma maneira, a salinidade assaz sensível das águas da bacia artésiana do Incomáti pode atribuir-se à drenagem de águas da toalha dos grés, de origem relativamente longínqua. Estas águas são, contudo, utilizáveis, mesmo para alimentação humana.

CAUDAIS. As formações aluviais grosseiras do Incomáti fornecem os caudais mais elevados explorados no Sul do Save (mais de 100 m³/hora em certos pontos).

Duma maneira geral, pode esperar-se das aluviões dos grandes rios (Incomáti, Singuedzi, Limpopo), grandes caudais, suficientes para a irrigação de vastas zonas de deposição argilosa frequentemente muito férteis.

As possibilidades destas toalhas aluviais, especialmente a do Limpopo, e do Incomáti, ao sul da Manhiça, estão longe de se conhecerem e de se utilizarem. Nós fornecemos (R. 295, p. 31) um programa de sondagens de reconhecimento da toalha do Limpopo.

Ali ainda, em virtude da finura de certos elementos da rocha, o método das «sondagens desenvolvidas» é o único capaz de assegurar ao mesmo tempo o caudal máximo e a longevidade da captação.

3.ª PARTE

POSSIBILIDADES DE EQUIPAMENTO DAS DIVERSAS ZONAS

(Mapa 7)

Desde a sua primeira visita, o Sr. Archambault, em função dos dados hidrogeológicos e económicos, e com o fim de esquematizar, propunha dividir o Sul do Save em sete zonas de estudo.

Conservámos esta subdivisão ao longo dos nossos três anos de estudos, modificando-lhe os contornos em função dos novos dados adquiridos; ela serviu de base a cada um dos nossos relatórios de fim de campanha, retomamo-la, pois, aqui para examinar as perspectivas de equipamento hidráulico do Sul do Save, tais como elas se apresentam ao concluirmos os nossos estudos.

Recordemos os limites dessas zonas :

- Zona I : entre o Save e o Limpopo, limitada a leste pelos calcários dos Urrongas e as areias vermelhas;
- Zona II : entre o Limpopo e o Incomáti, até às areias vermelhas;
- Zona III : calcários dos Urrongas;
- Zona IV : areias vermelhas;
- Zona V : grande curva do Incomáti (até ao paralelo 26.º);
- Zona VI : Maputo (ao sul do paralelo 26.º);
- Zona VII : franja de rochas vulcânicas da fronteira oeste.

ZONA I

Reconheceu-se à primeira vista como a mais deserdada, em virtude da fraca alimentação das toalhas, e da natureza continental dos grés que a constituem; o equipamento hidráulico desta imensa região de vocação pastoril seria susceptível de modificar profundamente a economia do Sul do Save. O fim a atingir seria a criação de uma quadrícula, o mais sistemática possível, de pontos de água para o pastoreio.

A *conservação ou a escavação de charcos superficiais*, já iniciada, pode prosseguir ao sul da zona.

A *exploração das toalhas superficiais* locais por meio de poços filtrantes, subordinada à execução de reconhecimentos por sondagem manual, é útil, mas não constitui senão uma ligeira contribuição para as grandes necessidades da zona.

A *exploração das toalhas aluviais*, por poços, pode encarar-se nos seguintes rios: região de Maxaíla, Nuanetze, Chefu, Changane (Banhine, Chigubo e Marrimane), Limpopo.

A *toalha geral dos grés*, apesar das dificuldades que apresenta a sua exploração nesta zona onde ela está mal alimentada e é muito mineralizada, resta, contudo, o único recurso de grande amplitude.

A sua exploração racional não pode ser *empreendida senão à base de um estudo geofísico sério, destinado a delimitar os sectores de salinidade aceitável*. No entanto, não convém ter ilusões sobre a extensão destes sectores exploráveis, que representam, sem dúvida, uma pequena parte do conjunto.

Duas zonas, na borda da fronteira da Rodésia, conservar-se-ão, contudo, difíceis de equipar, em vista da grande profundidade da toalha (mais de 60 metros).

Finalmente, os nossos estudos mostraram que o *importante projecto de aproveitamento do curso do Changane* pelo desvio de uma parte das águas do Save, a leste de Massangena (ligação Save-Changane), era tènicamente irrealizável de maneira económica.

ZONA II

Ela é, na sua parte sul, objecto de um grande esforço de equipamento rural. É praticamente desértica no norte; a toalha geral dos grés está presente em toda a parte.

a) A região norte, entre o Limpopo e o Rio dos Elefantes, está mal conhecida, mas as suas características parecem idênticas às da zona I; nela são, portanto, aplicáveis os mesmos métodos, compreendendo os

geofísicos. Aí se nota um sector bastante vasto, onde a toalha geral é mais profunda que os 60 metros e onde, portanto, ela se torna dificilmente explorável. Os aluviões do Singuedzi contêm uma toalha possante explorável por poços.

b) Numerosos abastecimentos podem, desde já, empreender-se na região sul.

As *toalhas aluviais* importantes, que se ligam à toalha dos grés, são facilmente acessíveis por poço, mas são irregularmente alimentadas e devem, pois, ser exploradas com prudência.

A *toalha geral dos grés* é explorável, quase por toda a parte por sondagens de muitos m³/hora, e os riscos de fracasso são mínimos. Ela não é, contudo, utilizável :

1. a leste do meridiano 32.° 30', onde é fortemente mineralizada ;
2. entre o Mazimchopes e o Rio dos Elefantes, onde é profunda e muito mineralizada (deve-se recorrer às barragens e à escavação de charcos para equipar estas duas zonas) ;
3. ao longo dos terrenos vulcânicos, nos grés continentais de base, a toalha é muito salgada e inexplorável, mas as condições de escoamento são favoráveis, e podem aí construir-se barragens.

ZONA III

O substrato de calcários miocénicos espessos do conjunto da zona III contém uma toalha regular e possante, relativamente doce, e explorável, a menos de 50 metros de profundidade, por sondagens de bom caudal médio.

O equipamento sistemático destes importantes recursos subterrâneos deveria permitir um rápido desenvolvimento pastoril e agrícola. A população está concentrada de momento na costa, mas a criação de bons pontos de água destinados à irrigação deveria permitir fixar no interior uma população importante.

A toalha geral dos calcários apresenta, no entanto, no limite da zona I, condições menos favoráveis ; as águas são aí, sem dúvida, mais mineralizadas ; o reconhecimento prévio deveria aí prosseguir-se à medida das necessidades.

Ao longo da costa, o prolongamento das dunas de areia da zona IV, pode ser objecto de abastecimento por meio de poços filtrantes segundo os métodos habituais (após reconhecimento com sonda manual no fim da estação seca).

ZONA IV

É a região costeira, coberta de dunas, que se estende de Massinga a Lourenço Marques.

Possui *uma toalha regular*, possante e doce, utilizável em quase todos os pontos. A toalha, que emerge nas zonas baixas onde é explorável por meio de poços, pode, contudo, encontrar-se a cerca de 100 metros de profundidade sob as dunas ; neste caso, só é explorável por meio de sondagens. Pode ser objecto de equipamento sistemático por poços e sondagens. Pode explorar-se normalmente 2 m³/hora dum poço filtrante nestas

areias, e 0,5 a 3 m³/hora por metro de depressão numa sondagem desenvolvida.

A *toalha dos aluviões* do Limpopo é salgada na zona de confluência com o Changane; ela ainda não se reconheceu na margem direita, onde se podem esperar grandes caudais ascendentes. As perspectivas de irrigação por sondagens da zona baixa aluvial do Limpopo depende desse reconhecimento.

O projecto do baixo Changane deveria dar origem a um complemento de estudos por parte dos serviços interessados; a irrigação, por gravidade, de mais de 10 000 hectares, parece possível após os nossos reconhecimentos.

ZONA V

É a zona da grande curva do Incomáti.

A *toalha doce das areias superficiais* encontra-se presente no conjunto da zona, salvo a oeste de Dingue. É explorável por meio de poços, sondagens, ou mesmo por intermédio de trincheiras abertas nas zonas baixas, mas não parece em condições de fornecer caudais superiores a 1 ou 2 metros cúbicos por hora.

A *toalha geral dos grés* apresenta-se por toda a parte e está bem alimentada sob o conjunto da zona onde predominam os grés marinhos.

É inexplorável, por causa do seu excessivo teor em sal, numa banda norte-sul que vai de Dingue a Boane, e que segue ao «grés de base» da zona II, ao longo do basalto.

A sua exploração é, sem dúvida, difícil porque é profunda (mais de 40 metros) na zona elevada da região de Dingue e Mangulane.

Por todo o resto, ela apresenta uma salinidade fraca, e caudais médios inferiores a 10 m³/hora. Estes caudais podem geralmente melhorar-se por uma boa técnica de captação.

A toalha dos grés, por intermédio dos aluviões do Infulene, pode por outro lado servir de apoio à alimentação de Lourenço Marques.

A *toalha dos aluviões* do Incomáti é a mais rica do Sul do Save; fornece caudais que podem atingir 100 m³/hora. Ligeiramente mineralizada (1,5 gr de Cl Na por litro), ela não foi reconhecida senão ao norte da Manhiça; está, sem dúvida, invadida mais ou menos profundamente pelo sal na zona sul, à borda do mar, onde está por reconhecer.

O projecto de ligação Incomáti-Umbeluzi, pelo rio Chambadjouve, na altura da Moamba, deveria ser estudado; a sua realização poderia permitir a valorização pastoril de toda a «banda salgada» da Moamba a Boane, pela formação de um rio artificial permanente, em pleno coração duma região de excelentes pastagens.

ZONA VI

É, para o sul, o prolongamento exacto da zona V.

A *toalha geral* existe por toda a parte, muito bem alimentada e próxima da superfície em todos os pontos (salvo sob as dunas altas).

É muito salgada e inexplorável ao longo do basalto, e à borda do mar até à Bela Vista. Em todos os outros sítios ela é doce, pode dar 5 a 10 m³/hora por captação, com uma percentagem de fracassos extremamente restrita.

As *toalhas aluviais*, invadidas pela água salgada nos seus cursos inferiores, são susceptíveis de fornecer, por meio de poços, bons caudais de água doce na sua parte montante, especialmente a do Umbeluzi (que alimenta já Lourenço Marques) e a do Maputo.

As *toalhas das areias superficiais* limitam-se à região oriental arenosa, onde apresentam, como na zona V, as características habituais de fraca salinidade, e de caudal medíocre a médio. Podem explorar-se por meio de poços filtrantes ou por meio de sondagens desenvolvidas.

ZONA VII

A «*toalha geral dos grés*» liga-se, no sector vulcânico, à toalha da franja alterada ou fracturada dos basaltos.

Esta toalha dos basaltos é geralmente doce ou ligeiramente salgada, à excepção de uma estreita zona de forte mineralização próxima do limite dos terrenos sedimentares.

A exploração por meio de sondagens é possível, mas devemos recordar :

- que o encontro de níveis aquíferos relaciona-se com a fracturação do basalto são, ou com a espessura da alteração ;
- que a percentagem de fracassos a prever é de 1 para 3 ao sul do Incomáti, e de 8 para 10 ao norte ;
- que os caudais, geralmente fracos, podem, parece, melhorar-se por explosão de uma carga de dinamite, especialmente no caso de basaltos fracturados.

Os riolitos compartimentam a toalha dos basaltos porque são impermeáveis. Sobre as altitudes de elevada pluviosidade, as pequenas toalhas locais que eles contêm não podem dar origem a nenhum equipamento de grande amplitude, e as sondagens estão aí votadas ao fracasso.

De uma maneira muito geral, as necessidades de água importantes deverão ser satisfeitas, sobre o conjunto da zona VII, e especialmente na riolítica, por recurso às águas superficiais (construção de barragens, aprofundamento de charcos), tendo em atenção, contudo, que as barragens, salvo se se situam sobre os riolitos, são raramente estanques nestas regiões.

O mapa 7 apresenta os resultados, pormenorizados acima, dos modos de exploração hidráulica que preconizamos, para o conjunto do Sul do Save, após os nossos três anos de estudos hidrogeológicos.

Pudemos, em conclusão, determinar ao sul do Save :

1.º — uma região, que corresponde ao norte das zonas I e II, onde o encontro de águas doces, problemático mas possível, se relaciona com a execução prévia de estudos geofísicos por sondagens eléctricas ;

2.º — uma vasta região, que agrupa as outras cinco zonas e o sul das duas precedentes (em azul no mapa 7), na qual, salvo excepção (cor vermelha), a descoberta de águas doces não é em geral mais que uma questão de técnica de captação (poços, sondagens, charcos, barragens) adaptada a cada caso.

Os estudos hidrogeológicos de base podem, pois, daqui em diante, considerar-se como terminados ao sul do Save.

Se exceptuarmos as regiões onde se deveria executar uma campanha de estudos geofísicos, e que, em face da dificuldade do problema, deveria

ser seguida e interpretada por um hidrogeólogo confirmado, o equipamento hidráulico do Sul do Save não é mais que uma questão de tempo e de meios técnicos, e pode ser empreendido a curto prazo em vista de um desenvolvimento rápido e harmonioso da Província.

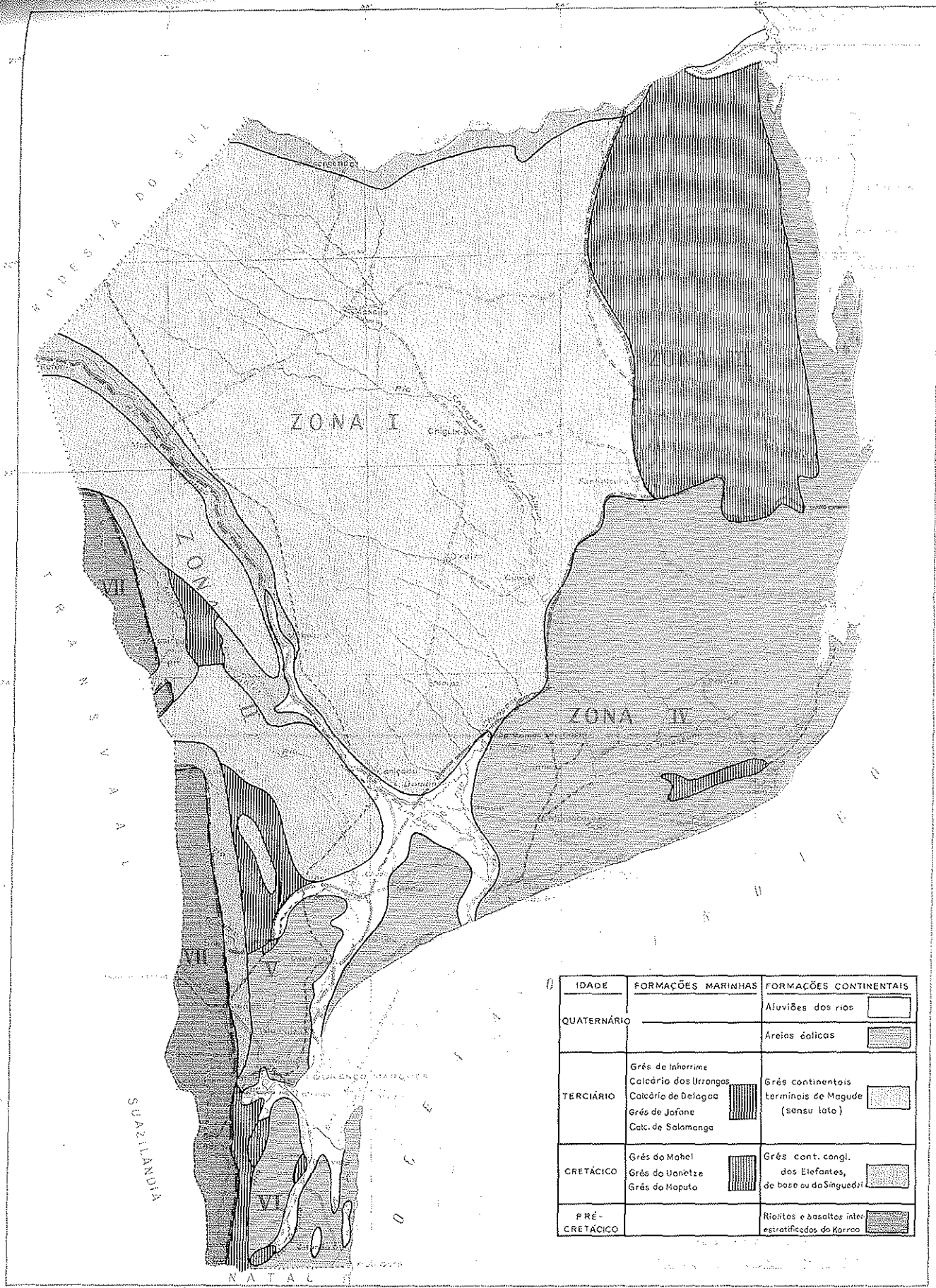
Neuilly, 19 de Setembro de 1961.

Estudos de campo de Jacques LEMOINE, Bureau d'Études de Géologie Appliquée
Guy LEZER, Stéphane BRICKA et d'Hydrologie Souterraine
et Lucien BOURGUET

Relatório de síntese por
Lucien BOURGUET

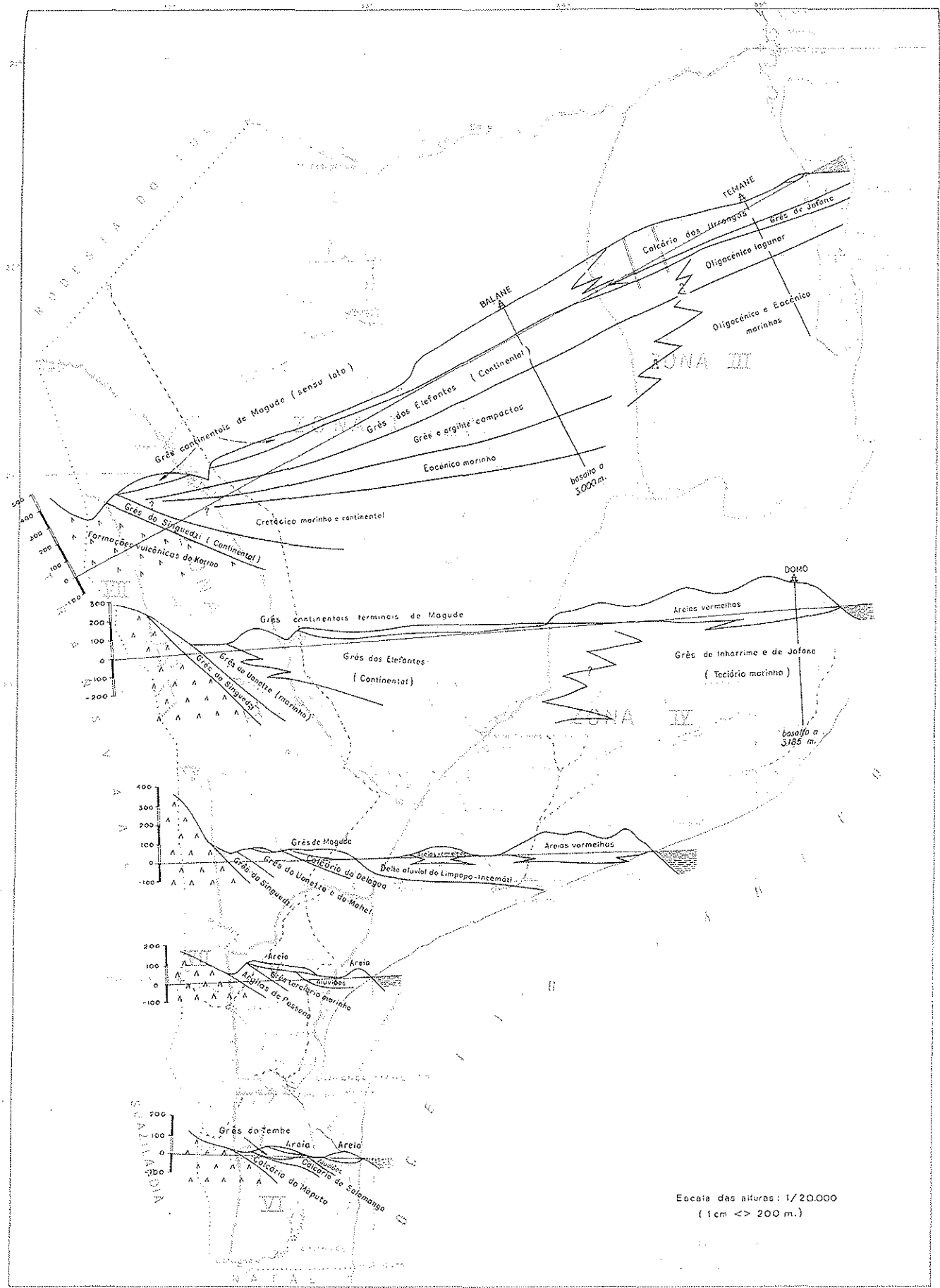
Jean ARCHAMBAULT

ESBOÇO GEOLÓGICO

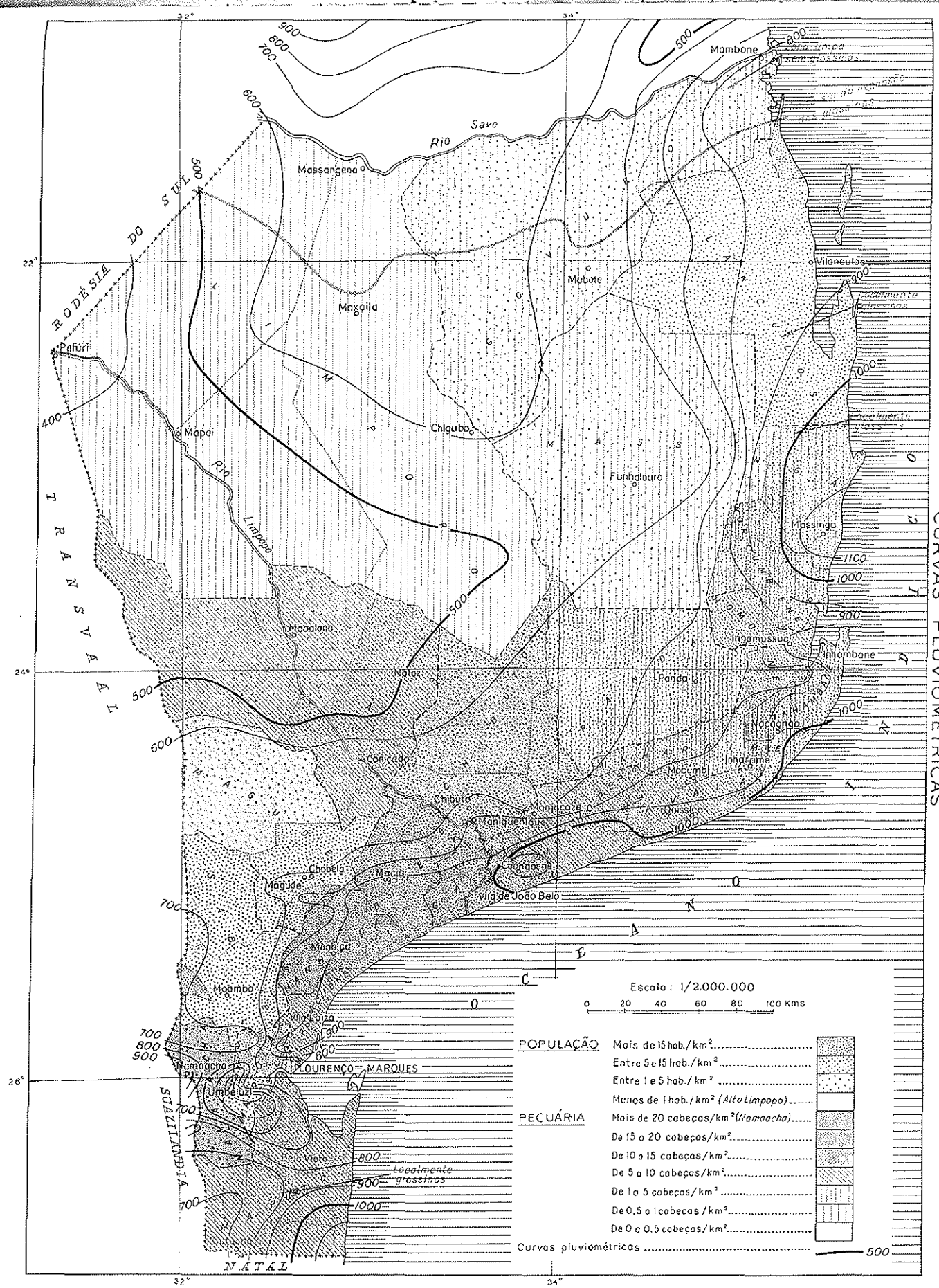


IDADE	FORMAÇÕES MARINHAS	FORMAÇÕES CONTINENTAIS
QUATERNÁRIO		Aluviões dos rios
		Areias éólicas
TERCIÁRIO	Grés de Inhorrime	Grés continentais terminois de Magude (sensu lato)
	Calcário dos Urrongos	
	Calcário de Delagoa	
	Grés de Joane Calc. de Salamanga	
CRETÁCICO	Grés do Mohel	Grés cont. congl. dos Elefantes, de base cu do Singuedzi
	Grés do Vanétze	
	Grés do Maputo	
PRÉ-CRETÁCICO		Riolitos e basaltos interestratificados do Karroo

CORTES GEOLÓGICOS

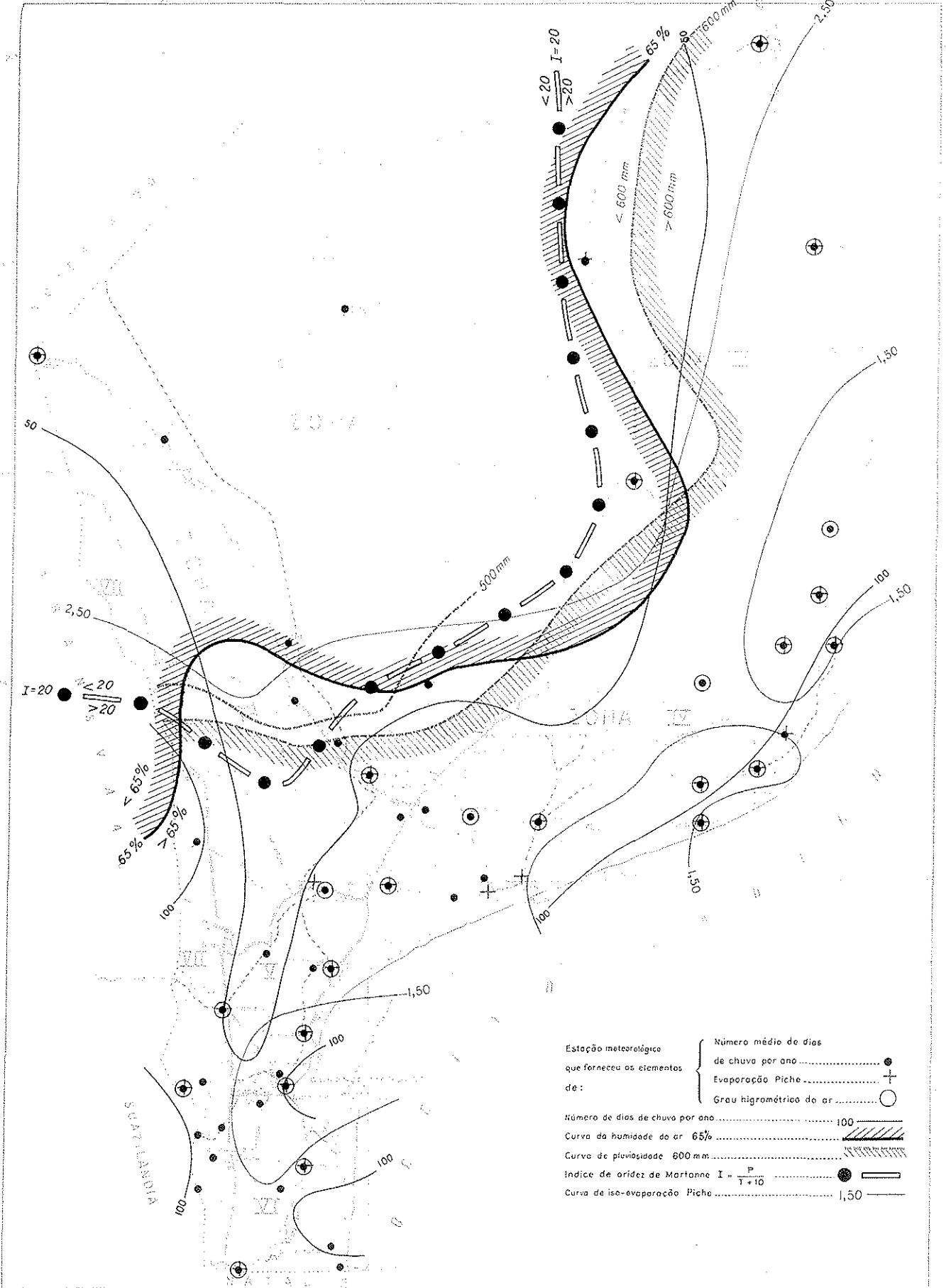


DENSIDADE DA POPULAÇÃO (por postos) E DA PECUÁRIA (por circunscrições)
CURVAS PLUVIOMÉTRICAS

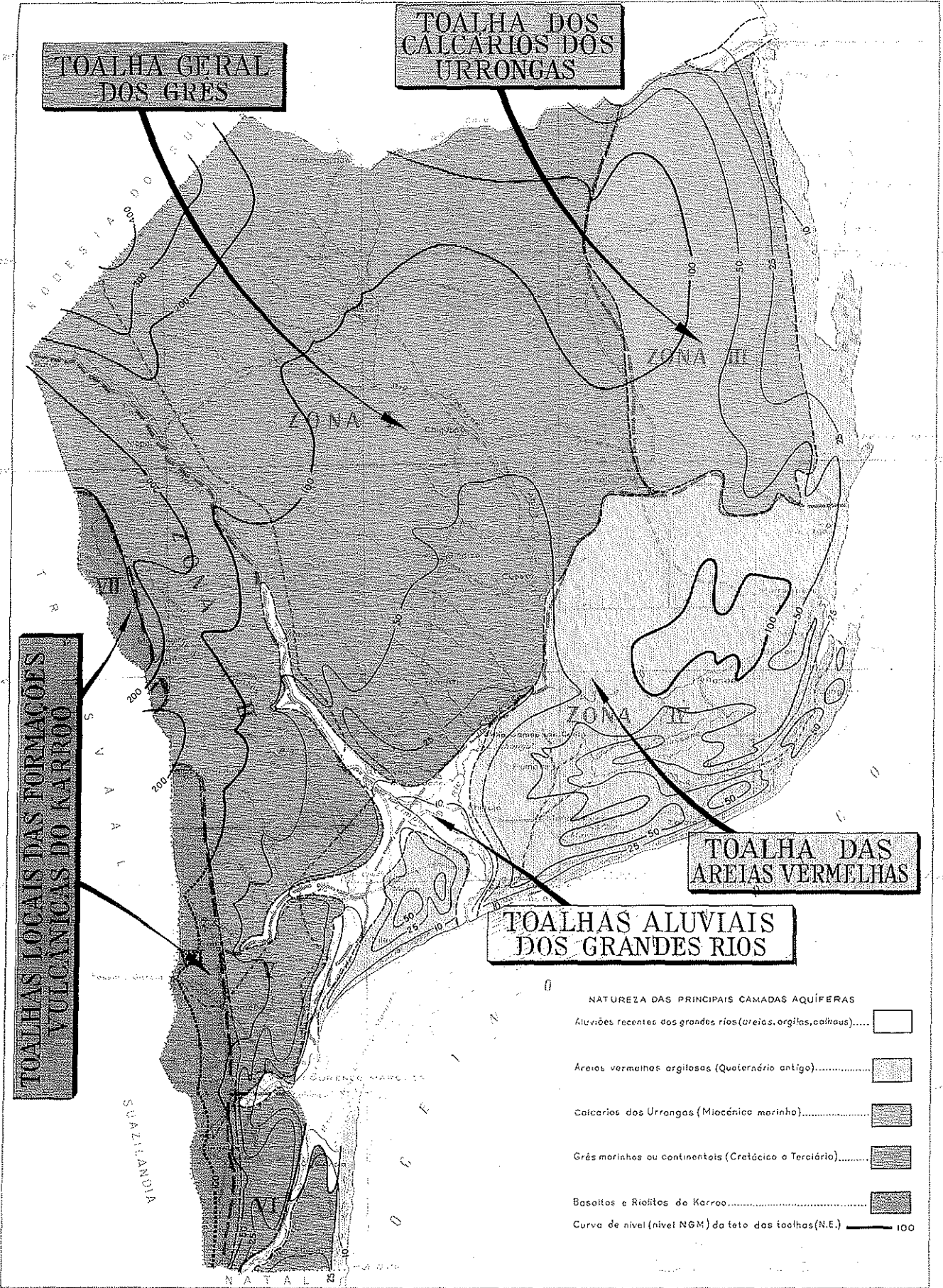


POPULAÇÃO	PECUÁRIA	Curvas pluviométricas
Mais de 15 hab./km²	Mais de 20 cabeças/km² (Alto Limpopo)	1100
Entre 5 e 15 hab./km²	De 15 a 20 cabeças/km²	1000
Entre 1 e 5 hab./km²	De 10 a 15 cabeças/km²	900
Menos de 1 hab./km² (Alto Limpopo)	De 5 a 10 cabeças/km²	800
	De 1 a 5 cabeças/km²	700
	De 0,5 a 1 cabeças/km²	600
	De 0 a 0,5 cabeças/km²	500

ESBOÇO CLIMATOLÓGICO



UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS E CARTA DAS ISOPIEZOMÉTRICAS



TOALHAS LOCAIS DAS FORMAÇÕES VULCÂNICAS DO KARROO

TOALHA GERAL DOS GRES

TOALHA DOS CALCÁRIOS DOS URRONGAS




TOALHA DAS AREIAS VERMELHAS

TOALHAS ALUVIAIS DOS GRANDES RIOS



QUIMISMO DAS ÁGUAS DO SUL DO SAVE

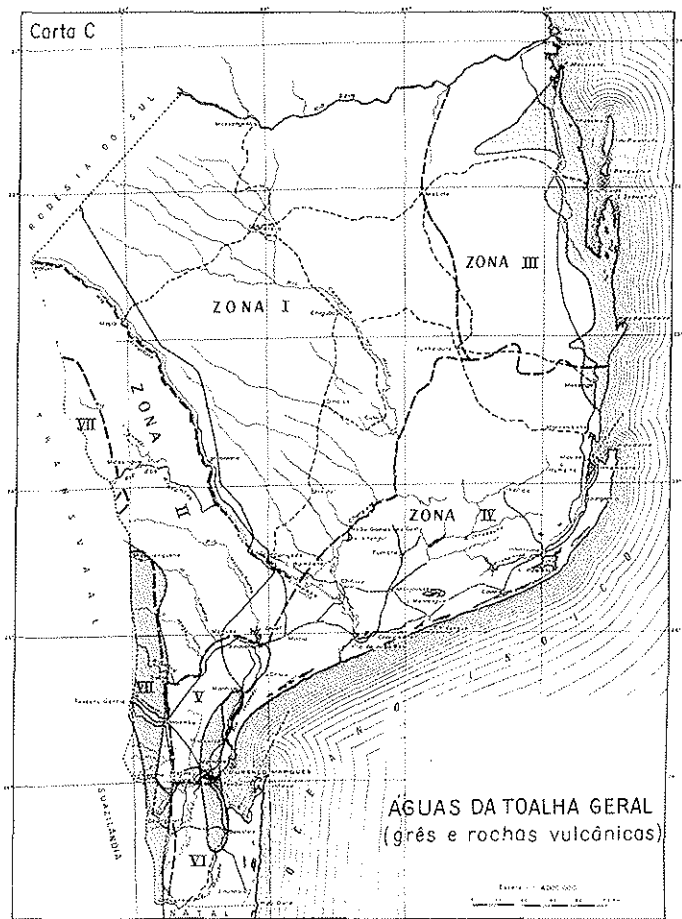
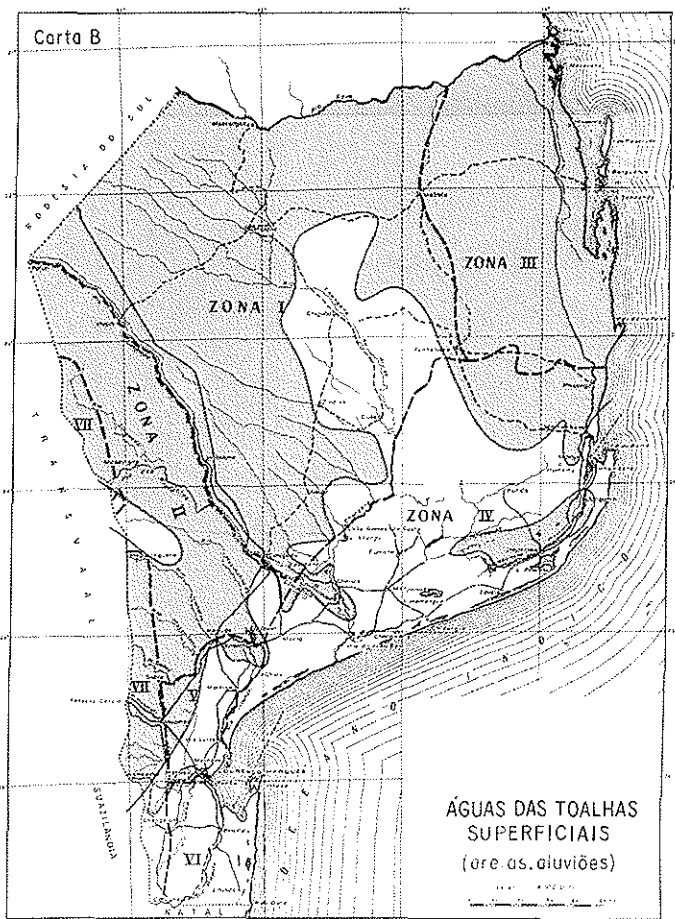
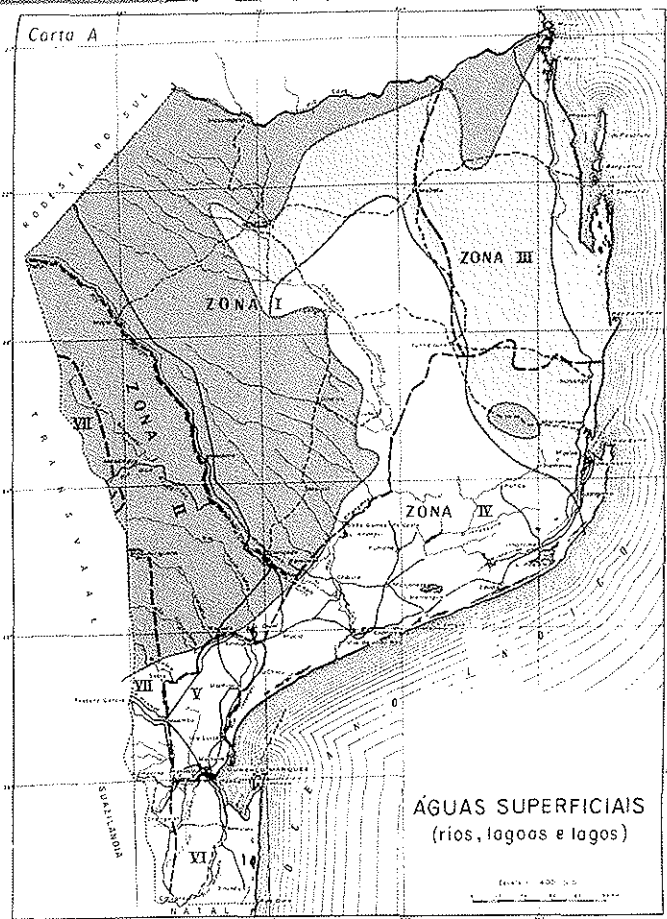
SEGUNDO O ESTUDO SISTEMÁTICO DE 1941 ANÁLISES

CARTA A =

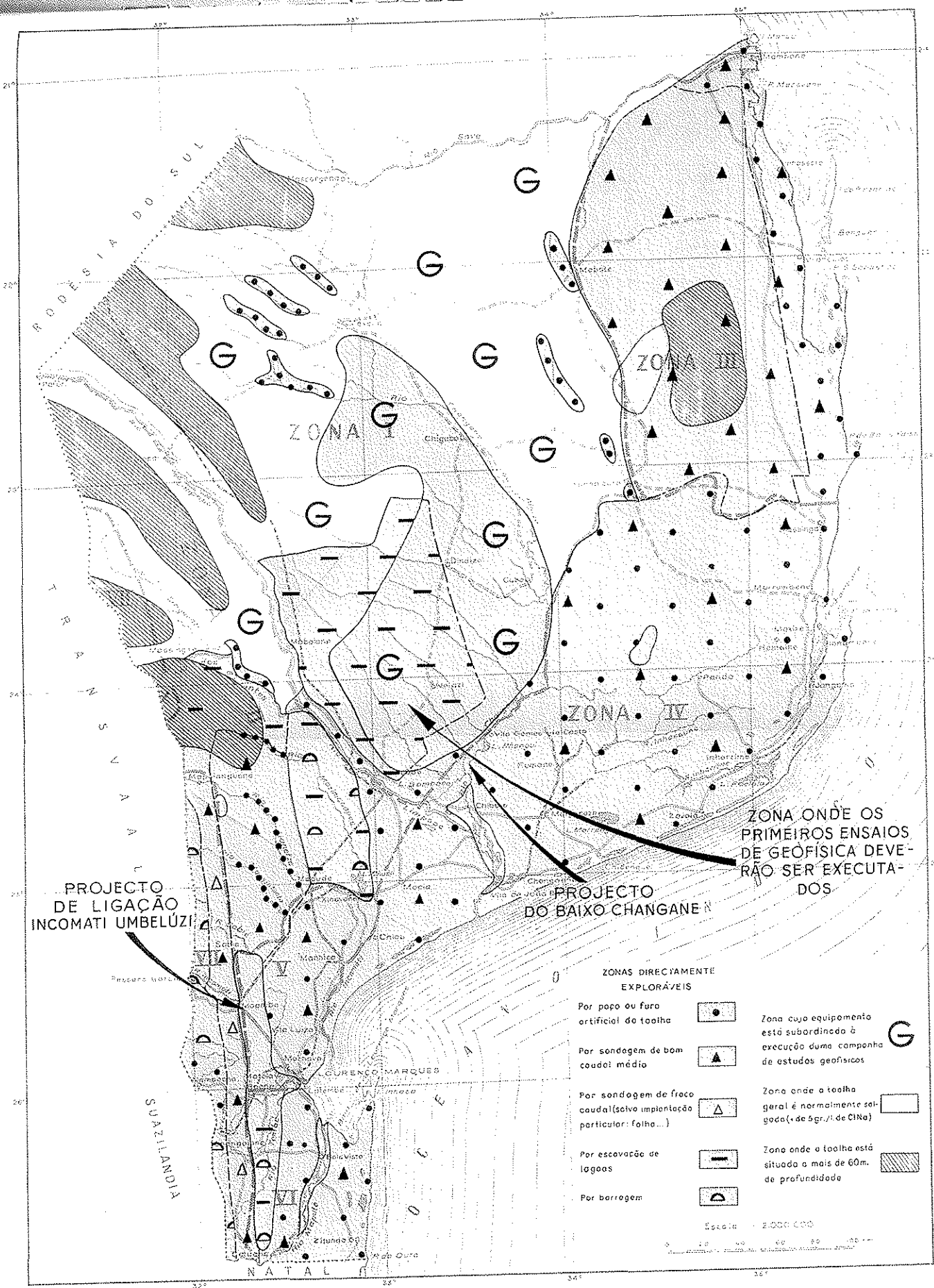
- Águas carbonatadas $r \text{CO}_3 > 2 r \text{Cl}$ 
- Águas mistas $r \text{CO}_3 \neq r \text{Cl}$ 
- Águas clorretadas $2 r \text{CO}_3 < r \text{Cl}$ 

CARTAS B, C =

- Águas carbonatadas e mistas 
- Águas clorretadas 



EXPLORAÇÃO PRECONIZADA



ZONA ONDE OS PRIMEIROS ENSAIOS DE GEOFÍSICA DEVERÃO SER EXECUTADOS

ZONAS DIRECTAMENTE EXPLORÁVEIS

- Por poço ou furo artificial de toalha
 - Por sondagem de bom caudal médio
 - Por sondagem de fraco caudal (sólv implantação particular: folha...)
 - Por escavação de lagoas
 - Por barragem
- Zona cujo equipamento está subordinado à execução duma campanha de estudos geofísicos
 - Zona onde a toalha geral é normalmente salgada (> de 5 gr./l. de ClNa)
 - Zona onde a toalha está situada a mais de 60m. de profundidade

Escala 1:2000 000