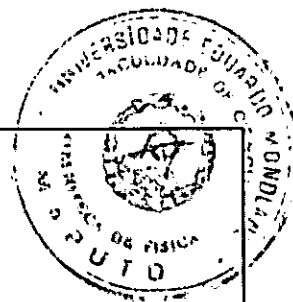


F15-20



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

**FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

Trabalho de Licenciatura

INTRUSÃO SALINA NO ESTUÁRIO DO RIO INCOMATI

Messias Alfredo Macuiane

Maputo, Agosto, de 2003



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

Trabalho de Licenciatura

INTRUSÃO SALINA NO ESTUÁRIO DO RIO INCOMÁTI

Autor: Messias Alfredo Macuiane

Supervisor: Prof. Dr. A. M. Hogueane

Maputo, Agosto, de 2003

DECLARAÇÃO DE HONRA

Declaro pela minha honra que os resultados aqui apresentados são da minha inteira responsabilidade e representam o culminar de um trabalho árduo, trabalho inteiramente realizado por mim sob supervisão do Prof. Dr. António Mubango Hogueane.

Maputo, Agosto de 2003

O autor:

Messias Alfredo Macuiane

(Messias Alfredo Macuiane)

DEDICATÓRIA

Este trabalho dedico especialmente ao meu falecido pai Alfredo Macuiane, que sempre acreditou em mim e a minha mãe Catarina Gilberto Macuiane.

AGRADECIMENTOS

À todos aqueles que em mim confiaram e depositaram esperança, e a todos aqueles que contribuíram para o presente trabalho de licenciatura se tornasse uma realidade, o meu desejo neste momento é prestar o meu eterno reconhecimento em especial:

- Ao Prof. Doutor António Hogueane Mubango, meu supervisor pela disponibilidade e interesse em orientar e discutir os objectivos básicos deste trabalho e pela paciência infinita que teve na discussão da metodologia e estratégias de estudar e abordar os assuntos.
- À Direcção do Departamento de Física e aos meus docentes pela capacidade extraordinária na transmissão dos conhecimentos nomeadamente: Prof. Dr. A. M. Hogueane, Prof. Dr. Rogério Utui, Dr. Víctor Saíde, Dr. Momade Ibraimo, Dr. Gilberto, Dr. Chenene, Prof. Dr. Alexandre Maphossa, Dr. Cumbane, Dr. Genito, Dr. Sacate, Prof. Dr. Burdeinny, Dr. Mavume e todos aqueles que não foram mencionados.
- À Cátedra da UNESCO das Ciências Marinhas e Oceanografia e ao GTA (Grupo de Trabalho Ambiental) pelo apoio material fornecido.
- Aos meus colegas do Departamento, nomeadamente: Lucas Sidumo, Amorano Tinga, Jackeline, Nhacoungue, Higinio, Missage, Édson, Nostado, Matuel, Carvalho, Saraiva, Meque, Hallo, Clousa, Ivódia, Luís, Ataíde, Berino, Ricardo Albano Salzon, Alberto Sitõe, Danilo Macucha, Hermínia Salomone, dr. Sérgio Buque, Hipólito, Agostinho Queba, Marenjo, Cumba, Cláudio, Marito, Laurinda, Moiane e Mondlane.
- Aos meus amigos Jovito, Jonas, Nico, Genito, Manhiça, Gabriel, Duda, Valdemar, Gildo, Nito, Anete, Dodoca, Adelaide, Rozinha, Joana, Basílio, senhor Rafael; ao IIP, nomeadamente: a dr. Verónica Dove, dr. Emídio, senhor Daniel e ao Dr. Halafo
- Aos meus pais Alfredo Macuiane e Catarina Gilberto Macuiane e aos meus irmãos: Matilde, Alfredo, Daniel, Virgílio, Sónia, Quim que viveram de perto a minha formação e um abraço à minha filha Claire Macuiane, a sua mãe Rosy Martins e todos os meus familiares que não foram mencionados, e por fim um especial o meu tio Zacarias pelo apoio material e maoral. À toda equipa do Grupo de Trabalho Ambiental, nomeadamente: senhor Nordine, Manuel Sousa, George, Ibraimo e a d^a Patrícia.

RESUMO

O rio Incomáti no seu percurso atravessa três países nomeadamente a África do Sul, Swazilândia e Moçambique. Antes de entrar em Moçambique drena uma grande quantidade de água em Transvaal (África do Sul) e na Swazilândia. Já em Moçambique uma parte é drenada na parte sul deste país. O estuário é muito largo e raso perto da sua entrada. As maiores descargas de água foram verificadas antes da Independência em 1975. Antes da Independência, o rio Incomáti nunca esteve seco tendo um caudal mínimo de $1\text{m}^3\text{s}^{-1}$. Com o rápido desenvolvimento da República da África do Sul o fluxo de água do rio Incomáti ficou drasticamente reduzido. Actualmente o rio é seco durante a época seca apesar de haver um acordo bilateral com a República da África do Sul em que se deve garantir o caudal mínimo de $2\text{m}^3\text{s}^{-1}$.

Como consequência da falta de água surgem problemas ecológicos tais como: falta de caudal para manter a produtividade dos ecossistemas, mudanças ecológicas da área do estuário que outrora era rico em nutrientes atraindo muitas espécies de peixes no seu estágio reprodutivo deixaram de existir, a falta da deposição dos sedimentos obriga a migração de algumas espécies associadas ao ambiente estuarino e verifica-se a progressão da intrusão salina em direcção á montante pois as marés vivas alcançam grandes distâncias, pondo em risco as terras cultivadas localizadas junto ao rio Incomáti no distrito de Marracuene a 20 Km da boca do estuário.

Este trabalho dá continuidade aos estudos efectuados por Cossa (2001) e Hogueane et al., (2002). E para elaboração do presente trabalho, foram usados dados das observações do campo durante o período de 2002 a 2003.

Neste trabalho determinou-se o caudal mínimo adequado de $8\text{m}^3\text{s}^{-1}$ que permite que a extensão da intrusão salina não afecte negativamente as terras cultivadas do baixa Incomáti localizadas no distrito de Marracuene a 20 Km da boca do estuário. E com base nas observações do campo verificou-se que o estuário do Incomáti é positivo, misturado e transitando por vezes para o tipo de estuário parcialmente misturado.

Conteúdo

	Páginas
I. INTRODUÇÃO -----	1
II. OBJECTIVOS -----	2
2.1 Objectivos Gerais -----	2
2.2 Objectivos Específicos -----	2
2.3 Localização e Descrição da bacia do Incomáti -----	2
2.3.1 Factores climáticos gerais -----	3
III. ESTUÁRIOS -----	4
3.1 Importância dos estuários -----	5
3.2 Classificação dos estuários quanto á estrutura da salinidade -----	6
3.2.1 Estuário do tipo fjord -----	6
3.2.2 Estuário parcialmente misturado -----	7
3.2.3 Estuário bem misturado ou homogénio -----	8
3.2.4 Estuário fortemente estratificado ou de cunha salina -----	9
3.4 Intrusão salina -----	10
3.5 Circulação e Difusão -----	11
3.6 Caracterização do escoamento -----	12
3.7 Tempo de permanência de água no estuário -----	16
3.7.1 Modelo de duas camadas -----	17
3.8 Marés -----	18
IV. MATERIAIS E MÉTODOS -----	20
4.1 Recolha de dados ao longo do estuário -----	20
4.2 Caracterização dos instrumentos usados -----	23

4.2.1 Descrição do CTD	23
4.2.2 Descrição do GPS	25
4.2.3 Descrição do Disco de Secchi	25
4.5 Modelo	25
V. RESULTADOS	30
5.1 Resultados do modelo	37
5.2 Caudal para uma intrusão salina mínima no estuário do Incomáti	37
5.3 Probabilidade de ocorrência da intrusão salina	37
VI. DISCUSSÃO	39
6.1 Discussão do modelo usado	39
6.2 Salinidade, temperatura e densidade	39
VII. CONCLUSÕES	40
VIII RECOMENDAÇÕES	41
VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
ANEXOS	45

LISTA DE ABREVIATURAS

CTD - Conductibility Temperature and Deep

DNA - Direcção Nacional de Águas

Ara Sul – Administração Regional das águas do Sul

GPS - Global Position System

INAHINA - Instituto Nacional de Hidrografia e Navegação

ASCII - American Standard Code for Information Interchange.

I. INTRODUÇÃO

A água como recurso natural é essencial para vários aspectos da vida no geral. A disponibilidade da água de boa qualidade em quantidades suficientes nos momentos precisos é uma importante condição para o desenvolvimento sócio económico. É por essa razão que a gestão dos recursos hídricos deve merecer uma maior atenção por parte das entidades governamentais (DNA, 1991).

O estudo da intrusão salina no estuário do rio Incomáti é de grande importância. A intrusão salina vem sendo agravada pela redução dos caudais resultante da existência de muitas barragens na África do Sul que retêm água para irrigação e uso industrial, daí a ocorrência da intrusão salina ameaçadora no estuário do rio Incomáti, que afecta a agricultura praticada na zona do Marracuene (Hoguane et al., 2002).

O rio Incomáti antes da independência de Moçambique nunca esteve seco, tinha um caudal mínimo de $1\text{m}^3\text{s}^{-1}$. com o rápido desenvolvimento da República da África do Sul o caudal ficou reduzido (Groen, 1993).

O presente estudo tem como objectivo determinar o caudal mínimo conveniente para uma intrusão salina mínima no estuário do rio Incomáti. Espera-se que este caudal contribua na gestão da bacia, medidas que possam responder à demanda da água para o desenvolvimento sócio económico do nosso país, manutenção dos ecossistemas e que as terras cultivadas localizadas nas margens do rio Incomáti não sejam afectadas pela intrusão salina. Para que o objectivo acima fosse alcançado, foram feitas medições da temperatura das águas em função da profundidade, medições da salinidade e densidade no estuário do Incomáti, e por fim desenvolveu-se um modelo que determina a extensão da intrusão salina no estuário em função do escoamento e da área do estuário.

II. OBJECTIVOS

2.1 Objectivos Gerais

Com o presente trabalho pretendemos: estudar os processos que têm contribuído para a intrusão salina no estuário do rio Incomáti; estimar o caudal mínimo para uma intrusão salina mínima contribuindo deste modo para uma gestão integrada da bacia hidrográfica do Incomáti; despertar interesse aos gestores, académicos e cientistas de diversas áreas ligadas aos recursos hídricos na produção de informações relevantes para a formulação de melhores planos de uso da água; contribuir na produção de estratégias de conservação, e utilização sustentável da água.

2.2 Objectivos específicos

- Estabelecer a relação entre a extensão da intrusão salina e o caudal do rio
- Estudar a influência das marés na intrusão salina.
- Propor medidas para uma gestão melhorada.
- Identificar o impacto da intrusão salina sobre a agricultura e biodiversidade marinha.

2.3 Localização e Descrição da bacia do incomáti

A área da bacia do Incomáti é de 46.200Km², dos quais 62% estão localizados na África do Sul, 6% na Swazilândia e 32% em Moçambique, sendo limitada pelos paralelos 24° 00'S e 26° 30'S e pelos meridianos 29° 30'E e 33° 15'E (DNA, 1991).

A água doce que entra no estuário do Incomáti provém de diferentes rios, sendo os mais importantes os seguintes: Komati, Crocodile e Sabié. O Komati entra em Moçambique a jusante da confluência dos rios Komati e Crocodile, passando a chamar-se Incomáti.

O comprimento do rio em Moçambique é de 280 Km (cerca de 40% do comprimento total). A Tabela 1 apresenta a distribuição das áreas por sub-bacias (DNA, 1991).

TABELA 1-Distribuição por sub-bacias das áreas das do Incomáti.

RIO	ÁFRICA DO SUL (Km ²)	SWAZI- LANDIA (km ²)	MOÇAM- BIQUE (Km ²)	TOTAL (Km ²)
Komati	8500	2600	6000	17100
Incomáti	10500	-	-	10500
Crocodile	6400	-	700	7100
Sabié	3300	-	8200	11500
Total	28700	2600	14900	46200

Fonte: DNA, 1991

2.3.1 Factores climáticos gerais

O clima da bacia em Moçambique na costa, varia de tropical húmido de savana, a seco de estepe nas regiões mais a Oeste e Centrais. A temperatura anual varia de 22.4°C a 23.9°C. A precipitação média anual varia de 1073mm em Calanga, na costa, e 509mm em Mapulanguene, perto da fronteira com a África do Sul. A precipitação anual da bacia na área de Moçambique é de cerca de 650mm. A precipitação máxima anual registada na parte moçambicana da bacia foi de 2483mm e ocorreu em Macia no ano de 1917/18. A precipitação mínima anual foi registada na confluência do rio Sábie em 1969/70 e foi de cerca de 320mm. A precipitação está principalmente concentrada no período de Dezembro a Março (DNA, 1991).

As maiores precipitações podem temporariamente baixar os valores da salinidade da água e podem agir como um factor causador de stress nas comunidades bentónicas (Bareta e Ruardij, 1988:20).

III. ESTUÁRIOS

A palavra estuário deriva do latim *aestus* (Ketchum, 1983:5). Existem várias definições de estuário, mas a definição mais precisa e aceite por muitos cientistas foi a de Pritchard (1967) em como “o estuário é um corpo de água costeiro parcialmente fechado, com uma livre ligação com o mar e com um teor mensurável de sal marinho, diluído com água doce derivada da drenagem terrestre”. Esta diluição da água do mar providencia um gradiente de densidade que define a característica da circulação estuarina (Dyer, 1972).

Os estuários são constituídos por três zonas: A primeira zona é onde as águas do rio se encontram com as águas do mar. É a zona de maior predominância de água doce do que a água salgada. A segunda zona é a intermediária onde se verifica uma mistura igual entre a água doce e a água salgada e a última zona é onde depois da mistura a água flui em direcção ao mar, sendo esta água geralmente salgada (Anónimo, 2003).

O estuário forma a zona de transição entre a água doce e água salgada. Como tal o estuário retém algumas características da água doce e do ambiente marinho, mas este tem suas próprias características, algumas delas são comuns em todos os estuários do mundo e outras são determinadas pelas condições locais, e cada estuário tem as suas características e propriedades individuais (Ketchum, 1983:1).

Pritchard (1967) considera um estuário positivo aquele em que o fluxo de entrada de água derivada das descargas fluviais, mais a precipitação excedem o fluxo de saída causado pela evaporação, conseqüentemente a salinidade neste tipo de estuário é baixa comparativamente a do mar aberto. Considera estuário negativo aquele em que a evaporação excede o fluxo de entrada de água pelo rio mais a precipitação. Nos estuários negativos predominam condições para uma maior salinidade (Dyer, 1972:1).

3.1 Importância dos estuários

Os estuários constituem um habitat vital de centenas de espécies marinhas. Tem sido considerados “viveiros do mar” devido ao seu ambiente protegido e abundância do alimento que os tornam num local ideal para a reprodução de peixes e moluscos. Servem como rota de migrações por onde certas espécies passam e enriquecem os seus grupos de criação. Algumas espécies de peixes desovam nas águas salgadas (salobres) do estuário. É por essa razão que são considerados viveiros de muitas espécies de peixes na sua fase juvenil (Ketchum, 1983).

Muitas espécies de peixes comerciais passam o seu ciclo de vida nos estuários. Para além do peixe, muitas espécies de pássaros dependem dos estuários para a sua alimentação e reprodução, e alguns pássaros migratórios usam-no como um ponto de repouso durante a sua viagem (Jackson, 2000).

Muitos mamíferos marinhos usam também os estuários para a sua alimentação e reprodução. Os estuários lideram uma grande diversidade de vida marinha e providenciam um grande espaço para a vida de muitas espécies marinhas (Anónimo, 2003).

Os estuários são importantes para a vida dos oceanos porque filtram os sedimentos e poluentes que provêm dos rios antes de entrarem nos oceanos. Os nutrientes em excesso são removidos das margens, providenciando uma água limpa para a população humana e para os organismos marinhos. Reduzem o efeito das enchentes. Têm um valor histórico e cultural significativo. Em todo o mundo a maior parte das pessoas vive perto dos estuários, usando-os como fonte de alimentação e como rota de transporte. São muito importantes para a nossa vida se encontrarmos meios sustentáveis de usá-los e preservarmos a sua saúde.(Jackson, 2000)

3.2 Classificação dos estuários quanto à estrutura da salinidade

A maioria dos estuários conhecidos, apresentam diferenças devido à sua circulação no que concerne à estratificação da densidade e aos processos de mistura. Conseqüentemente, a melhor classificação é baseada na estrutura da distribuição da salinidade e nos escoamentos característicos dos respectivos estuários (Dyer, 1973).

Pritchard e Cameron (1955), Pritchard (1963) e (Ketchum, 1983:3) classificaram os estuários pela estratificação e características da distribuição da salinidade e eles definiram quatro tipos de estuários:

- fjord;
- parcialmente misturado;
- estuário bem misturado ou homogêneo;
- estuários fortemente estratificados ou de cunha salina.

3.2.1 Estuário do tipo fjord

Segundo Ketchum (1983:4) a distribuição da salinidade nos estuários do tipo fjord consiste em três camadas principais:

- camada de água salobre;
- camada intermediária em que se verifica o aumento da salinidade de acordo com a profundidade;
- camada em que a salinidade é constante até ao fundo.

Os estuários o tipo fjord são profundos. Uma certa área destes estuários recebe a maior descarga de água proveniente dos rios, a referida área é afectada por uma pequena maré de mistura. O exemplo em causa ocorre em estuários profundos e em estreitos da British Columbia, Alaska, em países Escandinavos, Greenland, Nova Zelândia, Chile e noutras costas glaciares.

Nestes estuários a tendência da água proveniente do rio é de manter-se na superfície e movimentar-se admitindo pouca mistura com a água da camada subjacente de água salgada.

Há pouca entrada de água do rio na camada profunda. O estuário de cunha salina existe somente como um estuário fortemente estratificado, estes estuários nunca são verticalmente misturados (Duxbury et al., 1997).

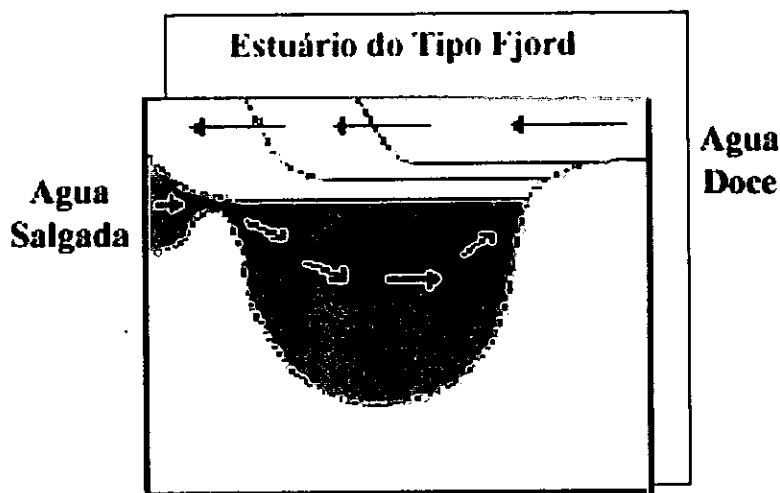


Figura 1 - Estuário do tipo Fjord. Fonte: (gailschow@gso.uri.edu.)

2.2.2 Estuário parcialmente misturado

É também chamado de ligeiramente estratificado, a salinidade aumenta do fundo até a camada superficial em todas as direções. A água é essencialmente constituída por duas camadas. A camada superior é menos salina do que a inferior e entre estas duas camadas existe uma zona de mistura. Neste tipo de estuário há um fluxo de água para o mar através da camada superior como se vê na secção da salinidade (Pickard, 1968:170); para que o estuário seja parcialmente misturado é necessária uma pequena maré de mistura (Dyer, 1972:9).



Figura 2 - Estuário parcialmente misturado. Fonte: (gailscow@gso.uri.edu)

3.2.3 Estuário bem misturado ou homogêneo

No estuário bem misturado não há variações virtuais de salinidade entre a superfície e o fundo (Ketchum, 1983).

Este tipo de estuário caracteriza-se por uma forte maré de mistura e baixos caudais dos rios. A mistura é devida à maré de turbulência que é muito forte até ao ponto de a salinidade ser uniforme em todas as profundidades e decresce do oceano para o rio. As linhas verticais de salinidade constantes movem-se em direcção à jusante, durante a vazante ou quando o fluxo do rio aumenta e movem-se em direcção à montante quando na presença de uma forte maré de mistura ou no caso de uma diminuição do fluxo do rio (Duxbury et al., 1997).

A água do mar corre para o mar e o sal como que progride para o fundo por difusão turbulenta (Pickard, 1968:168).

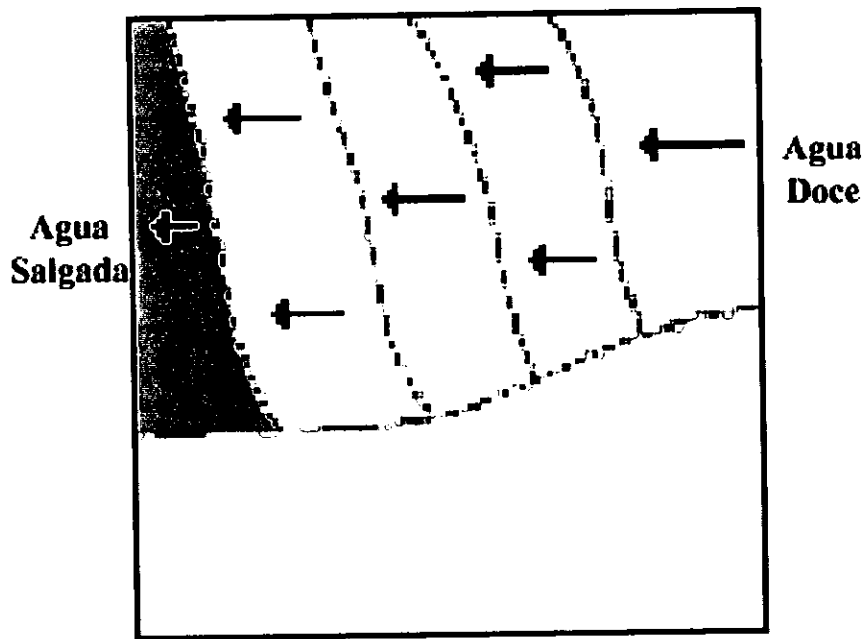


Figura 3 - Estuário bem misturado ou homogêneo. Fonte: (gailscow@gso.uri.edu)

3.2.4 Estuário fortemente estratificado ou de cunha salina

Neste tipo de estuário a salinidade na superfície é diferente da salinidade no fundo. Há um forte gradiente de salinidade na profundidade média do estuário (Ketchum, 1983:4).

Os estuários de cunha salina caracterizam-se por um maior escoamento do rio que domina completamente a circulação. No estuário deste tipo, representado pela Figura 4, a água salgada do mar penetra do mar como uma cunha sob a água do rio. Esta situação é comum em rios de grandes descargas. De facto há uma pequena fricção entre a camada de água doce e a de água salgada.

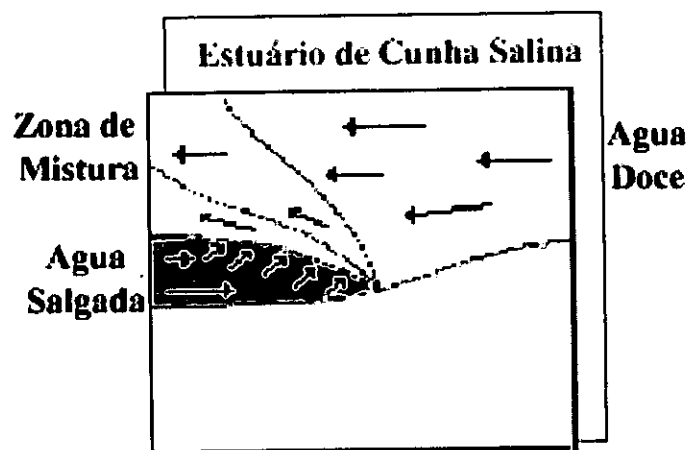


Figura 4 – Estuário de cunha salina. Fonte: (gailscow@gso.uri.edu)

3.4 Intrusão salina

O fenómeno de intrusão salina é caracterizado pela entrada de água salgada do mar no rio adentro misturando-se com água doce, tornando-a salgada e portanto imprópria para certos usos tais como o consumo humano e a irrigação. A intrusão salina é máxima quando o caudal do rio for mínimo Matola (1991) citado por Leestemaker et al., (2000).

A intrusão salina no estuário resulta da redução dos caudais do rio Incomáti, associada a extracção da água para irrigação de cana-sacarina no baixo Incomáti e a insuficiente entrada de caudais na fronteira entre África do Sul/Moçambique (Leestemaker et al., 2000).

A intrusão salina num estuário é geralmente associada à sua dinâmica. Ela decorre de acordo com o processo de mistura que por sua vez determina a dinâmica do estuário (Cossa, 2001).

Os processos dinâmicos que têm lugar no estuário e que são determinantes para a intrusão salina são:

- a propagação da maré;
- os escoamentos dos rios.

A propagação da maré depende dos seguintes factores:

- amplitude da maré;
- a topografia do estuário;
- o escoamento do rio.

3.5 Circulação e Difusão

O estuário recebe uma influência da água doce que provém da descarga terrestre e que possui uma ligação livre com o mar aberto. A mistura de água doce e salgada é de tal modo que a sua proporção varia de lugar para lugar Bonwden citado pelo Lauf (1967).

O grande problema físico a ser investigado é o movimento das águas, o processo de mistura e de distribuição de salinidade que resulta de uma acção combinada. A distribuição de temperatura constitui o segundo interesse no estuário pois tem menor efeito na distribuição de densidade no estuário. A razão da afluência da água doce dos rios tem uma grande variação e as condições no estuário variam com, a variação do volume de água escoada pelos rios (Lauf, 1967:15).

O método de classificação dos estuários foi baseado nas características físicas da circulação e que foi proposto por Stommel (1951) e a sua ideia foi adoptada por Pritchard (1952, 1955) e Ketchum (1953) (Dyer, 1972).

O factor básico da determinação do tipo de circulação é a acção das correntes relativas de marés que afectam o fluxo do rio no estuário. Na ausência de outras influências a água do rio tenderá a fluir em direcção ao mar (Lauff, 1967:16).

As correntes de marés não só servem para o transporte de água durante um ciclo de marés como também exercem uma profunda influência na mistura, pois tendem a quebrar o interface entre a água salgada e a água doce e produzem uma mistura parcial ou completa das duas camadas. Em casos extremos a mistura vertical pode ser completa até ao ponto de não se verificar nenhuma variação de salinidade desde a superfície até ao fundo (Dyer, 1972).

As marés possuem energia, uma parte dessa energia é convertida em energia cinética. A outra parte da energia é usada no aumento da energia potencial da água por mistura vertical e uma parte desta energia reaparece como energia potencial na circulação estuarina.

A interação entre a água doce e a salgada providencia a circulação das águas e os processos de mistura. Esta interação surge a partir da diferença das densidades entre duas camadas de água. Sendo a densidade da água do mar dependente da temperatura e salinidade, mas em estuários a variação de salinidade é maior que a variação de temperatura, por essa razão a temperatura tem relativamente pouca influência na densidade por isso é desprezível em estuários (Dyer, 1973:1).

3.6 Caracterização do escoamento

Na caracterização do fluxo dos fluidos homogêneos e estratificados nos estuários, dois números adimensionais são tomados em consideração que são o número de Reynolds e o número de Richardson (Dyer, 1972:19).

O número de Reynolds compara a importância relativa das forças inercial e viscosa. Para a determinação da resistência do fluxo temos a fórmula:

$$Re = \frac{uD}{\nu} \quad (3.1)$$

Onde:

u é a velocidade

D é a profundidade da água

ν é a viscosidade cinemática que é a razão da viscosidade molecular e da densidade $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

TABELA 2-Caracterização do escoamento pelo Número de Reynolds

Número de Reynold	Características do escoamento
$Re < 2000$	Laminar
$2000 < Re < 10^5$	intermédio
$Re > 10^5$	muito turbulento

Fonte: Dyer, 1972

Em condições de rios não estratificados e de estuários, o fluxo é sempre intermédio ou muito turbulento. No caso de um fluido estratificado o gradiente de densidade resiste à mudança do momento pela turbulência e é necessário que a velocidade tangencial atinja um valor crítico para causar a mistura (Dyer, 1972:19)

O número de Richardson é um parâmetro de comparação entre as forças que estabelecem a estratificação da densidade e as forças de desestabilização da velocidade crítica e é definido pela fórmula a baixo mencionada:

$$Ri = -\frac{g \frac{\partial \rho}{\partial z}}{\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2} \quad (3.2)$$

Quando a estratificação está acima de um certo valor a turbulência será amortecida e o fluxo será laminar. Esta transição do fluxo laminar para o fluxo turbulento abaixo das condições uniformes ocorre quando o número de Richardson for igual a $Ri = 0,25$.

Portanto, nos estuários, devido à não uniformidade dos fluxos, a transição ocorrerá com um valor de Richardson maior. Devido às dificuldades de uma medição precisa de gradientes de densidade e velocidade por causa da variação da maré, o número de Richardson sofre várias flutuações nos estuários. Geralmente as condições são mais ou menos neutras nas camadas superficial e do fundo no momento em que as correntes das marés estiverem próximas do seu máximo (Dyer, 1972).

Devido às dificuldades de medições os valores efectivos do número de Richardson têm sido derivados tomando em conta as variações temporal de $\frac{\partial \rho}{\partial z}$ e de $\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2$ determinando a sua média através do ciclo das marés (Dyer, 1972).

TABELA 3-Caracterização do fluxo pelo número de Richardson

Número estuarino de Richardson	Caracterização do escoamento
$Ri > 0$	Estratificação estável
$Ri = 0$	Estratificação neutra, o fluido não estratificado entre as duas camadas
$Ri < 0$	Estratificação instável

Fonte: Dyer, 1972

Autor: Messias Alfredo Macuiane

É também possível definir uma camada do número de Richardson pela fórmula:

$$Ri = \frac{\left(\frac{\partial \rho}{\rho}\right) gD}{u^2} \quad (3.3)$$

Onde:

D é a profundidade da camada superficial fluindo com a velocidade u relativa à camada inferior.

$\Delta\rho$ é a diferença da densidade entre as camadas. Na fórmula (3.2), o número de Richardson é um número de volume reflectindo as características de todo o fluxo detalhado em relação ao gradiente localizado do número de Richardson dado pela equação (3.2)

A seguir temos o número interfacial de Froud que é a raiz quadrática do inverso do número de Richardson representado pela fórmula:

$$Fi = \frac{u}{\sqrt{gD \frac{\Delta\rho}{\rho}}} \quad (3.4)$$

O número de Froud é uma alternativa de considerar a influência de estratificação da densidade, e reflecte uma comparação da velocidade do fluxo ou a velocidade de propagação de uma onda progressiva ao longo do interface da densidade. Quando o valor de Fi se aproxima a unidade, as ondas interfaciais não se propagam para cima (Dyer, 1972:20).

3.7 Tempo de permanência da água no estuário

Considerando R e F a taxa de entrada da água doce e o volume total de água doce acumulada no estuário respectivamente. Se S_0 é a salinidade da água fora do estuário e S a salinidade em qualquer ponto dentro do estuário, a fração de água doce nesse ponto segundo (Lauff, 1967) é dada pela fórmula:

$$f = \frac{S_0 - S}{S_0} \quad (3.5)$$

O volume acumulado de água doce é dado pela fórmula:

$$F = \int_v^0 f dv \quad (3.6)$$

Onde a integral é considerada sobre o volume total. Um estado estacionário é considerado assumindo R a taxa pela qual a água doce vem sendo removida do estuário.

O tempo de residência τ é o tempo necessário para remover o volume acumulado de água doce presente num dado instante e é dado pela fórmula:

$$\tau = \frac{F}{R} \quad (3.7)$$

A metade deste tempo é por vezes considerada como a meia vida do estuário. Uma estimativa do tempo residencial requer portanto, o conhecimento do escoamento e a salinidade do rio em função da profundidade num número suficiente de posições dentro do estuário (Lauff, 1967).

3.7.1 Modelo de duas camadas

Se se assumir que a troca da água entre o estuário e o oceano é devida à advecção, considerando a difusão horizontal desprezível, então o fluxo do rio pode ser calculado a partir dos valores conhecidos de salinidade de entrada e de saída das duas camadas de água doce e salgada.

Na Figura 5 considera-se T_1 transporte do volume, S_1 a salinidade de água que sai pela camada da superfície. T_2 e S_2 correspondem à quantidade e salinidade de água que entram pela camada inferior, respectivamente.

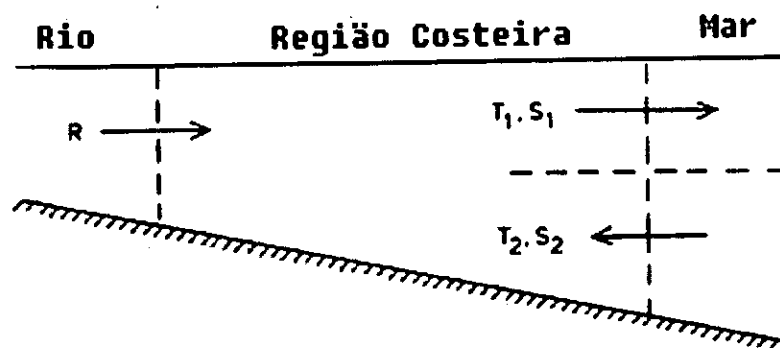


Figura 5 - Duas camadas trocando água entre o estuário e o mar. Fonte: Lauf, 1967:20.

Expressando as condições de continuidade da água e sal respectivamente, temos:

$$T_1 - T_2 = R \quad (3.8)$$

$$T_1 S_1 = T_2 S_2 \quad (3.9)$$

Logo:

$$T_1 = \frac{S_2 R}{S_2 - S_1} \quad (3.10)$$

e

$$T_2 = \frac{S_1 R}{S_2 - S_1} \quad (3.11)$$

Se a área da secção transversal das duas camadas for conhecida a velocidade média do fluxo pode ser calculada. Se V for o volume da água contida no estuário, o tempo residencial é dado pela fórmula:

$$\tau = \frac{V}{T_1} = \frac{V(S_2 - S_1)}{S_2 R} \quad (3.12)$$

3.8 Marés

O termo maré aplica-se à subida e descida periódica do nível do mar. As marés surgem devido à força de atracção existente entre a terra e outros astros. As marés vivas ocorrem quando a Terra e a Lua estão em conjunção ou quando estão em oposição à Lua nova. Em fases do quarto crescente e do minguante ocorrem as marés mortas (Pop, 1998).

A interacção entre o fluxo do rio e as correntes das marés é influenciada por dois factores que são:

- as dimensões físicas do estuário;
- o efeito da força de coriolis (desprezível em estuários estreitos como é o caso do estuário do rio Incomáti).

A elevação e a queda do nível da água no estuário de Incomáti, causada pela passagem da onda de maré, gera uma corrente de maré horizontal no estuário de Incomáti. Este movimento horizontal da água é a característica dominante da maré e pode propagar-se até uma distância considerável da boca á montante.

Durante a propagação da onda de maré, verifica-se uma oposição entre a onda e o escoamento do caudal fluvial. Há um deslocamento em direcção à montante no caso de menor caudal do rio, e à jusante em caso de caudal disponível ser maior.

O fenómeno da intrusão salina é inevitável, ocorre em qualquer estuário. A sua extensão varia de lugar para lugar e no caso do estuário do rio Incomáti a situação é alarmante pois esta alcança dezenas de quilómetros afectando a agricultura praticada em Marracuene junto às margens do rio devido aos baixos caudais disponíveis serem menores.

IV- MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Recolha de dados ao longo do estuário

Para se fazer o estudo da intrusão salina no estuário do rio Incomáti foi-se ao local e orientando-se das estações pré definidas (Figura 6), fez-se a recolha dos dados oceanográficos de modo a compreender melhor as características do estuário usando um barco para o percurso do estuário, orientando-se com o GPS na localização das coordenadas geográficas apresentadas na (Tabela 4), a partir da boca localizada na estação S14 até à montante na estação S31 situada a mais de 25km.

As deslocações ao campo foram feitas consultando a tabela de marés fornecida pelo INAHINA. O levantamento dos dados foi feito uma hora antes da maré cheia, obedecendo o calendário apresentado pela (Tabela 5).

TABELA 4-Coordenadas geográficas das estações observadas.

ESTAÇÃO	S14	S15	S16	S17	S18	S19
LATITUDE	25.52,00	25.51,70	25.51,10	25.50,50	25.49,80	25.49,20
LONGITUDE	32.44,15	32.44,15	32.43,70	32.43,72	32.44,15	32.43,90
ESTAÇÃO	S20	S21	S22	S23	S24	S25
LATITUDE	25.48,10	25.46,90	25.46,20	25.45,50	25.44,90	25.44,62
LONGITUDE	32.43,70	32.43,75	32.44,00	32.43,50	32.42,50	32.40,80
ESTAÇÃO	S26	S27	S28	S29	S30	S31
LATITUDE	25.44,14	25.43,94	25.43,80	25.43,20	25.42,70	25.41,70
LONGITUDE	32.40,84	32.41,15	32.41,80	32.41,80	32.40,80	32.40,70

TABELA 5-Datas programadas para observações do campo

Data das Observações	Estações observadas
30/Abril/02	S14, S15, S16 ,S17 ,S18 ,S20 ,S21, S22, S23, S24, S25.
29/Junho/02	S14, S15, S16 ,S17 ,S18 ,S20 ,S21, S22, S23, S24, S25, S26, S27, S28, S29, S29.
02/Agosto/02	S14, S15, S16 ,S17 ,S18 ,S20 ,S21, S22, S23, S24, S25, S26, S27, S28, S29, S29, S30, S31
22/Março/03	S14, S15, S16 ,S17 ,S18 ,S20 ,S21, S22, S23, S24, S25, S26, S27, S28, S29, S29, S30, S31
03/Maio/03	S14, S15, S16 ,S17 ,S18 ,S20 ,S21, S22, S23, S24, S25, S26, S27, S28, S29, S29, S30, S31
12/Junho/03	S14, S15, S16 ,S17 ,S18 ,S20 ,S21, S22, S23, S24, S25, S26, S27, S28, S29, S29, S30, S31
12/Julho/03	S14, S15, S16 ,S17 ,S18 ,S20 ,S21, S22, S23, S24, S25, S26, S27, S28, S29, S29.

Depois da recolha de dados no campo usando-se o instrumento denominado CTD, conectou-se o instrumento no computador e fez-se passar os dados do instrumento ao computador. Em seguida, estes dados foram convertidos para o formato ASCII. Através do programa SURFER obteve-se os perfis de temperatura, salinidade e densidade.

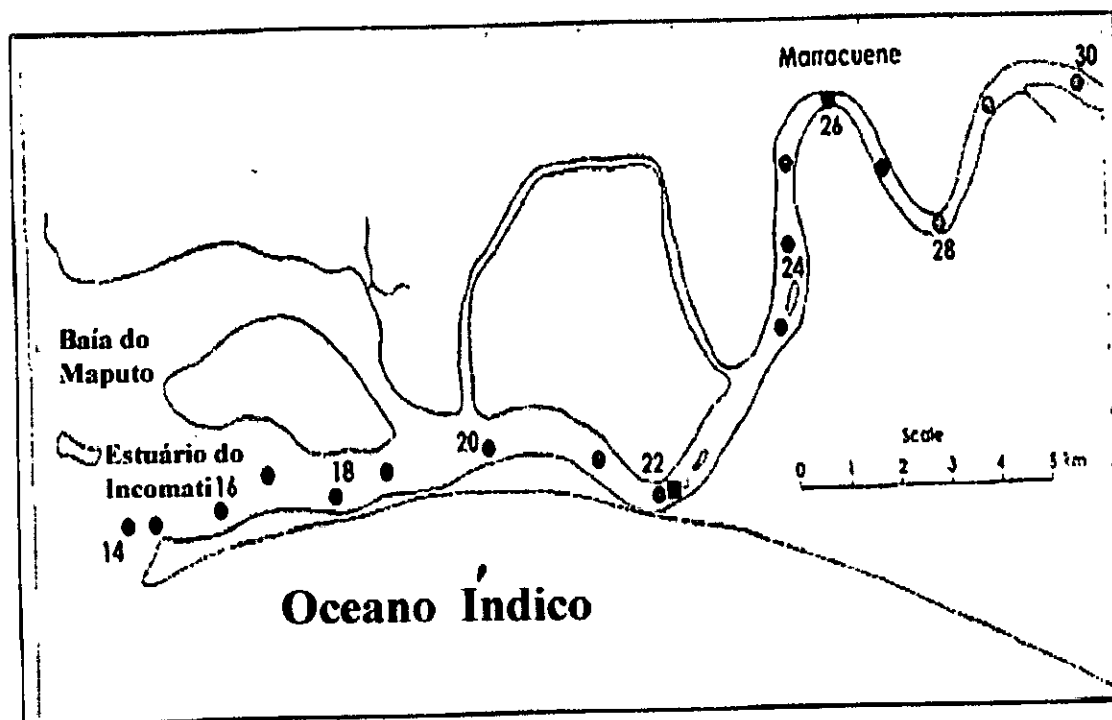


Figura 6 - Estações de observações marcadas no estuário do rio Incomati, e sua divisão em segmentos. Fonte: Hogueane et al., 2002:31

4.2 Caracterização dos instrumentos usados

4.2.1 Descrição do CTD

O CTD da série SBE, modelo 19plus 600m, da série 19927672-4157, fabricado nos Estados Unidos da América (Figura 7), é um instrumento fiável que faz medições in situ da condutibilidade eléctrica, temperatura e pressão a profundidades acima de 7000 metros, convertendo de seguida a condutibilidade em salinidade e a pressão em profundidade. Tem um peso de aproximadamente 10 quilogramas, daí que não necessita de um barco de maior capacidade de carga para o seu transporte. É fácil de movimentá-lo durante a medição dos parâmetros oceanográficos e possui as seguintes características:

- permite o uso de qualquer tipo de cabo para a sua elevação e vice-versa;
- capacidade de operar 60 horas continuamente;
- com a resolução de conductividade (S/m) de 0,00005 (no mar; resolve 0,4ppm de salinidade), 0,00007 (maior salinidade da água; resolve 0.4ppm de salinidade) e 0,00001 (água doce; resolve 0.1ppm de salinidade); resolução da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de 0,001 e a resolução da pressão é de 0,002% no intervalo de 0 a 7000metros e opera em intervalos de temperatura de cerca de -5°C a $+35^{\circ}\text{C}$.

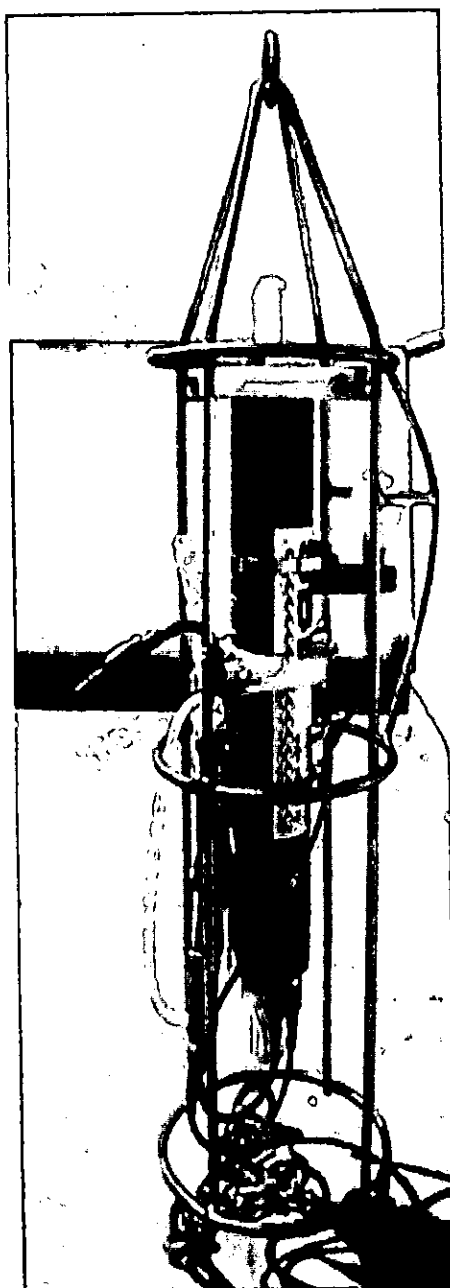


Figura 7 - CTD usado durante os trabalhos do campo. Fonte: (www.seabird.com)

4.2.2 Descrição do GPS

Para a localização das estações a investigar no rio, usou-se o GPS (Global position system) de modelo Garmin GPS III Plus Personal Navigator GPS receiver com o écran do tamanho 256x160 pixes de capacidade da memória de 19.0 MB e possui uma antena. Trata-se de um instrumento que nos ajuda na determinação da posição em qualquer ponto indicando a latitude e longitude (ver Figura 8 em anexo)

4.2.3 Descrição do Disco de Secchi

Foi usado o Disco de Secchi em todas as estações, que permitiu-nos ver a transparência da água. Trata-se de um instrumento constituído por um disco com aproximadamente 20cm (centímetros) de diâmetro, pintado de cor branca, provido de um peso na parte inferior e quatro cordas de material resistente. Quando mergulhado na água, deve descer lentamente a ser observado até que desapareça completamente e fixa-se a correspondente profundidade. A corda deve ser graduada para que possa nos dar valores certos da profundidade.

4.5 Modelo usado

O modelo usado para estimar a intrusão salina em função das descargas do rio, é a equação clássica de difusão do sal que foi usada por Bowden (1993), por Turrel et al., (1996), por Cossa (2001) e por Hogue et al., (2002).

A equação de difusão do sal é dada em termos da distância em função do caudal fluvial. Deve ser conhecida a salinidade na boca do estuário correspondente à estação S14 e para diferentes escoamentos a salinidade é determinada para cada posição ao longo do estuário.

Tomando-se como referencial a boca do rio S14 e um ponto qualquer à montante, considerando que o rio sofre influência da acção da maré, sendo o caudal R_0 e a sua largura b . A salinidade na boca do rio é aproximadamente constante: cerca de 35, e tende a zero cada vez que se segue em direcção à montante (Cossa, 2001:12).

O modelo é sempre usado para determinar o perfil da salinidade em estuários misturados ou parcialmente misturados, como é o caso do estuário do rio Incomáti, em função do espaço e escoamento do rio (Bowden, 1983) citado por (Hoguane et. al., 2002).

Como o estuário do rio Incomáti é misturado, isto é homogéneo e considerando que a força de coriolis é desprezível, a forma geral das equações de conservação do sal e da massa da água integrados sobre um período suficientemente longo e em condições estacionárias são apresentadas as equações (4.1) e (4.2) Pritchard (1968) citado pelo Cossa (2001).

$$\frac{\partial}{\partial x}(bu) + \frac{\partial}{\partial z}(bw) = 0 \quad (4.1)$$

e

$$b \left(u \frac{\partial S}{\partial x} + w \frac{\partial S}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(bK_x \frac{\partial S}{\partial x} \right) \partial z + \frac{\partial}{\partial z} \left(bK_z \frac{\partial S}{\partial z} \right) \quad (4.2)$$

Onde:

S é a salinidade média no ponto considerado; x e z são as coordenadas horizontal e vertical respectivamente, positivas em direcção ao mar e em direcção inferior respectivamente; u e w são componentes da velocidade média e K_x e K_z são os coeficientes de difusão turbulenta (Lauff, 1967:45).

A equação (4.2) é simplificada assumindo uma forte mistura do estuário devido às marés, isto é quando for lateralmente homogéneo. Pela integração de toda secção obtém-se a relação de uma dimensão:

$$R_o \frac{dS}{dx} = \frac{d}{dx} \left(bhK_x \frac{dS}{dx} \right) \quad (4.3)$$

Onde:

h é a profundidade média do estuário

R_o é o caudal

b é a largura do estuário

Pela integração da equação (4.3) considerando R_o constante obtém-se a seguinte relação unidimensional:

$$R_o S = bhK_x \left(\frac{dS}{dx} \right) \quad (4.4)$$

Stomell (1953), baseando-se da técnica semi-empírica propôs que o valor de K_x seja determinado a partir das observações da salinidade.

Quando a equação (4.4) for aplicada em estuários que não são lateralmente homogêneos, o significado do K_x deve ser alterado. Todavia a equação (4.4) é aplicada considerando aplicações práticas.

Integrando a equação (4) obtém-se:

$$S = S_o \exp \left(- \int_0^x \frac{R_o}{K_x hb} dx \right) \quad (4.5)$$

Onde S_o é a salinidade em $x = x_o$ na boca do estuário: $hb = A_c$ representa a área da secção transversal do estuário que se considera constante ao longo do tempo.

O coeficiente de difusão turbulenta varia em todo o canal e depende do caudal fluvial (Bowden, 1963).

A equação (4.5) dá-nos a extensão da intrusão salina que é a distância X , a partir da boca do estuário (correspondente à estação S14 para o caso do estuário do rio Incomáti) até a posição onde o valor da salinidade é localizado. A expressão (4.5) toma a seguinte forma:

$$X = \frac{KA_c}{R_o} \ln \frac{S}{S_o} \quad (4.6)$$

A equação (4.6) acima descrita a ser usada na distribuição da salinidade deve ser melhorada dado que depende do caudal. No presente trabalho foram usados dados de caudais da estação de Magude (E-43) localizada à montante, fornecidos pela (DNA) (Tabela 6, anexo), registados no período de 20 anos (1983 a 2003). Para o efeito introduziu-se um coeficiente de calibração β pelo facto dos caudais terem sido medidos numa extensão à montante, muito afastado do estuário (Cossa, 2001).

Assim a equação (4.6) pode ser rescrita da seguinte maneira:

$$X = \frac{\beta KA_c}{R_o} \ln \frac{S}{S_o} \quad (4.7)$$

Por não dispor de um mecanismo independente para a determinação do coeficiente de difusão turbulenta K , os dois coeficientes são integrados num único, $\beta K = \Gamma$ que tem o significado do coeficiente de regressão linear, que permite fazer o estudo com base nas observações da salinidade e caudais, tomando em conta que a distribuição da salinidade depende dos caudais e da difusão turbulenta da água do mar. Assim a equação (4.7) toma a fórmula:

$$X = -\frac{\Gamma A_c}{R_o} \ln \frac{S}{S_o} \quad (4.8)$$

Nb. O sinal negativo deve-se ao referencial escolhido.

Onde:

A_c é o valor médio da área transversal do estuário.

Γ combina a difusão e o coeficiente de calibração com base nos valores dos escoamentos medidos a partir da estação de Magude.

A área da secção transversal $A_c = 1800\text{m}^2$ correspondendo a uma média da largura do rio Incomáti de cerca de $b = 600\text{m}$ e à média de profundidade de cerca de $h = 3\text{m}$ (Hoguane et al., 2002).

A partir dos dados recolhidos ao longo dos 20 anos (1983 – 2003), foi calculada a probabilidade da ocorrência da intrusão salina no estuário do Incomáti, usando a fórmula:

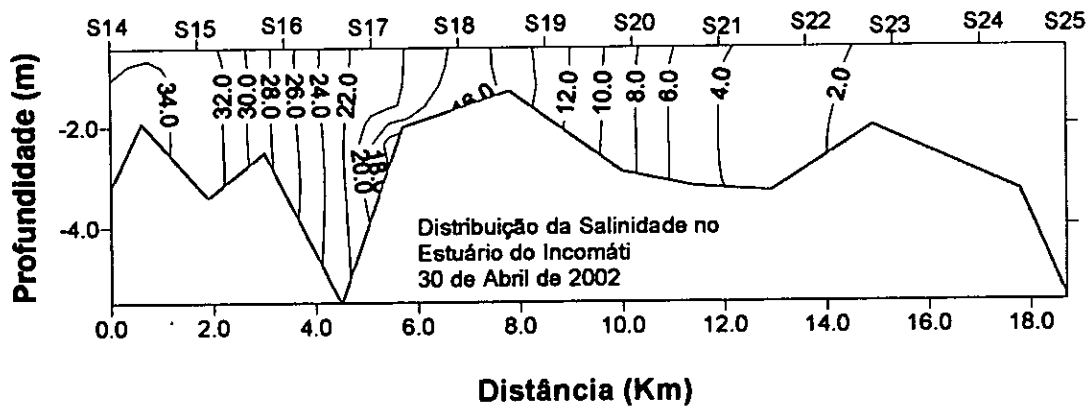
$$P = \frac{N_c}{N_o} \quad (4.9)$$

Onde:

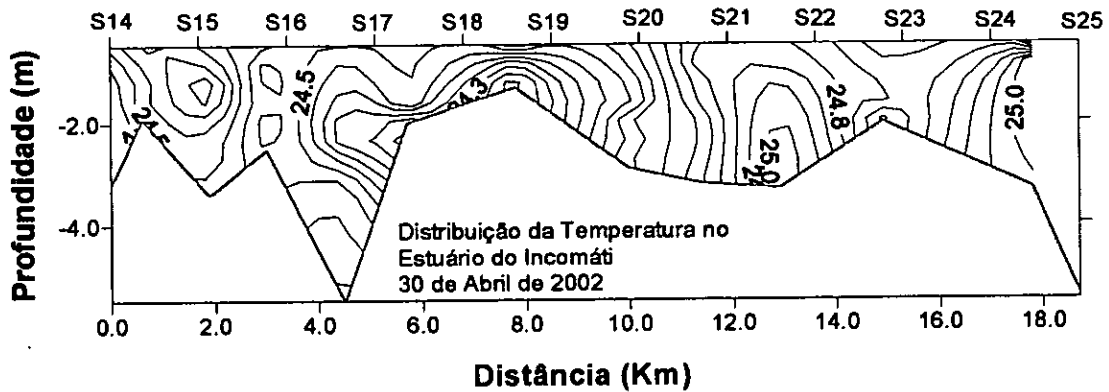
P é a probabilidade da ocorrência da intrusão salina, N_o é o número total dos eventos observados e N_c é o número de eventos observados inferiores ao caudal mínimo calculado.

V. RESULTADOS

a)



b)



c)

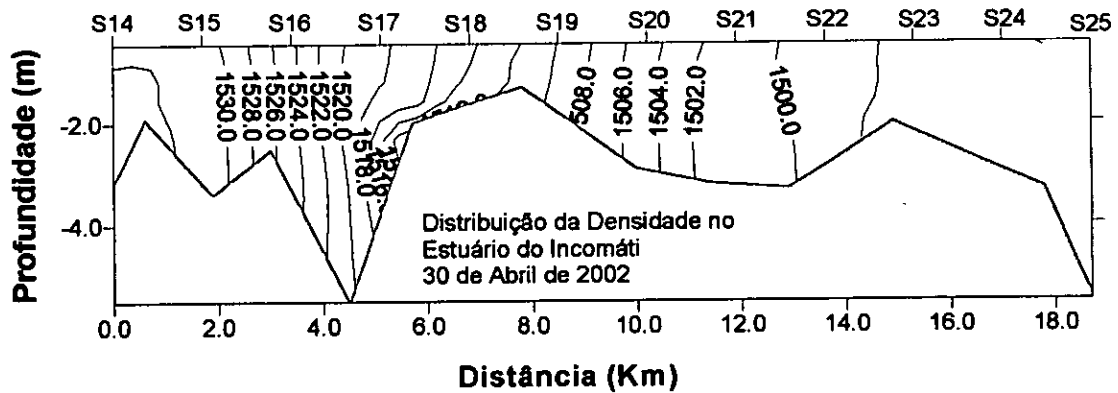


Figura 10- Variação longitudinal e vertical da salinidade, temperatura e densidade ao longo do estuário do Incomati no dia 30 de Abril de 2002

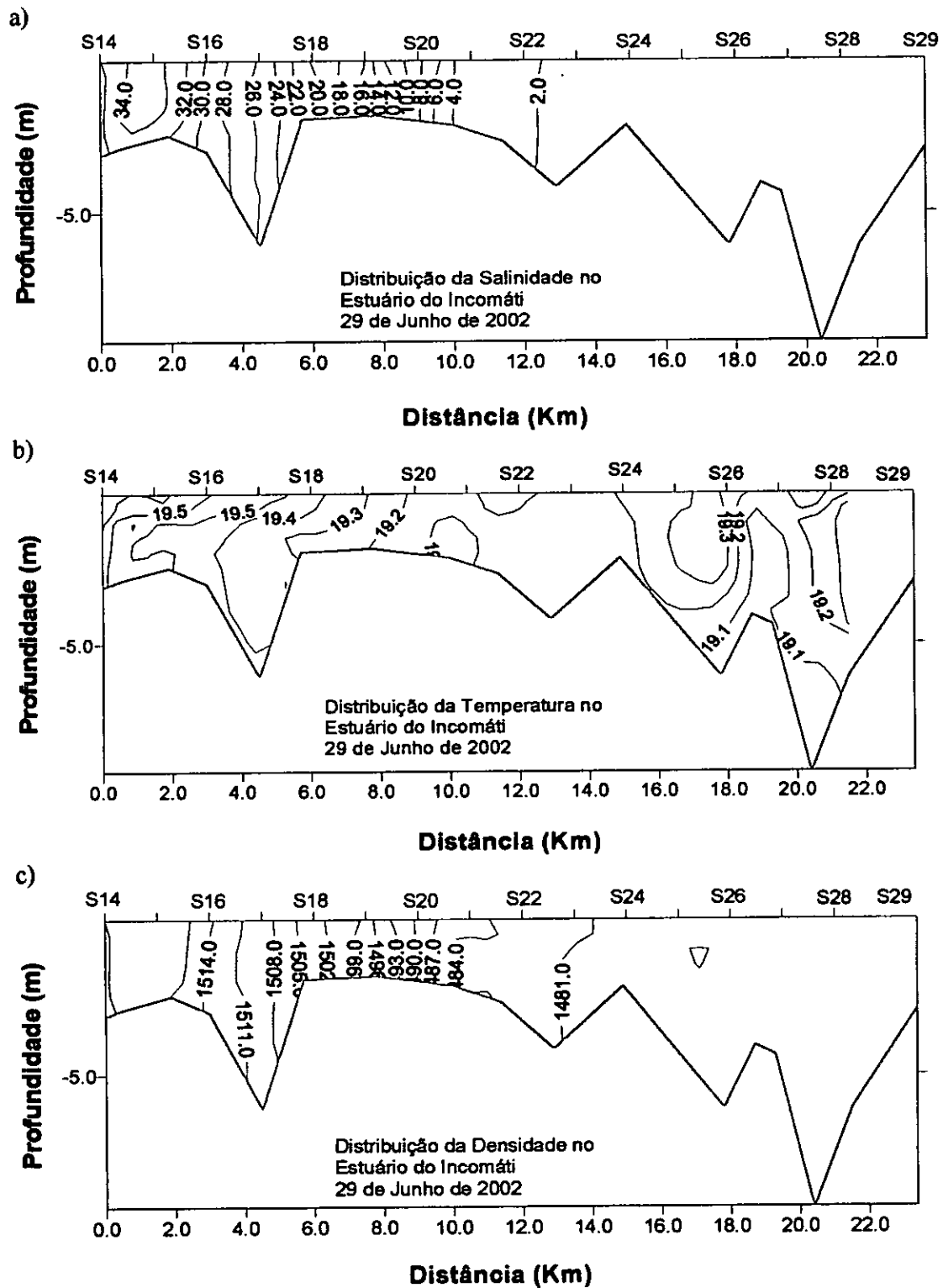


Figura 11- Variação longitudinal e vertical da salinidade, temperatura e densidade ao longo do estuário do Incomati no dia 29 de Junho de 2002

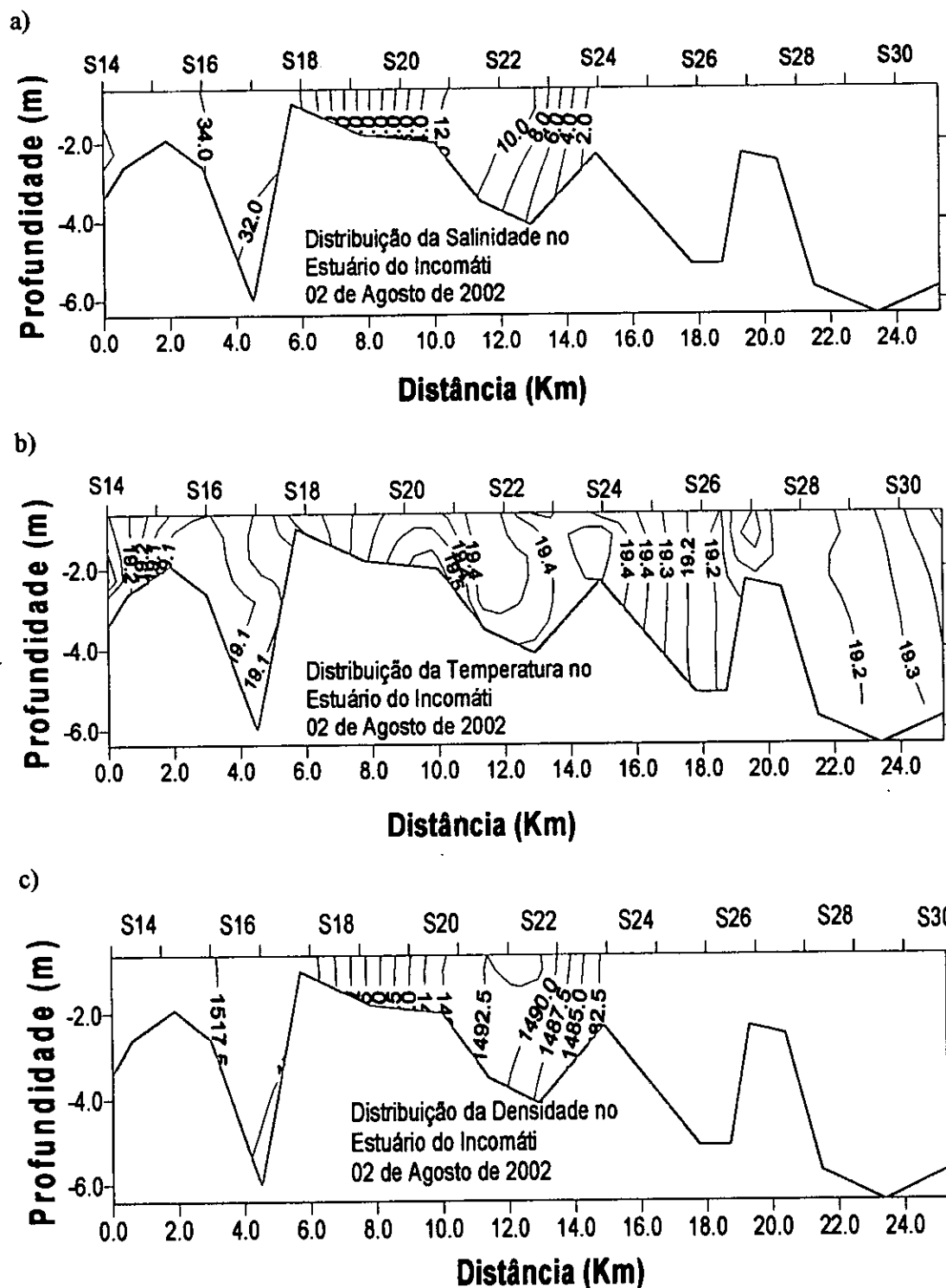


Figura 12- Variação longitudinal e vertical da salinidade, temperatura e densidade ao longo do estuário do Incomati no dia 02 de Agosto de 2003

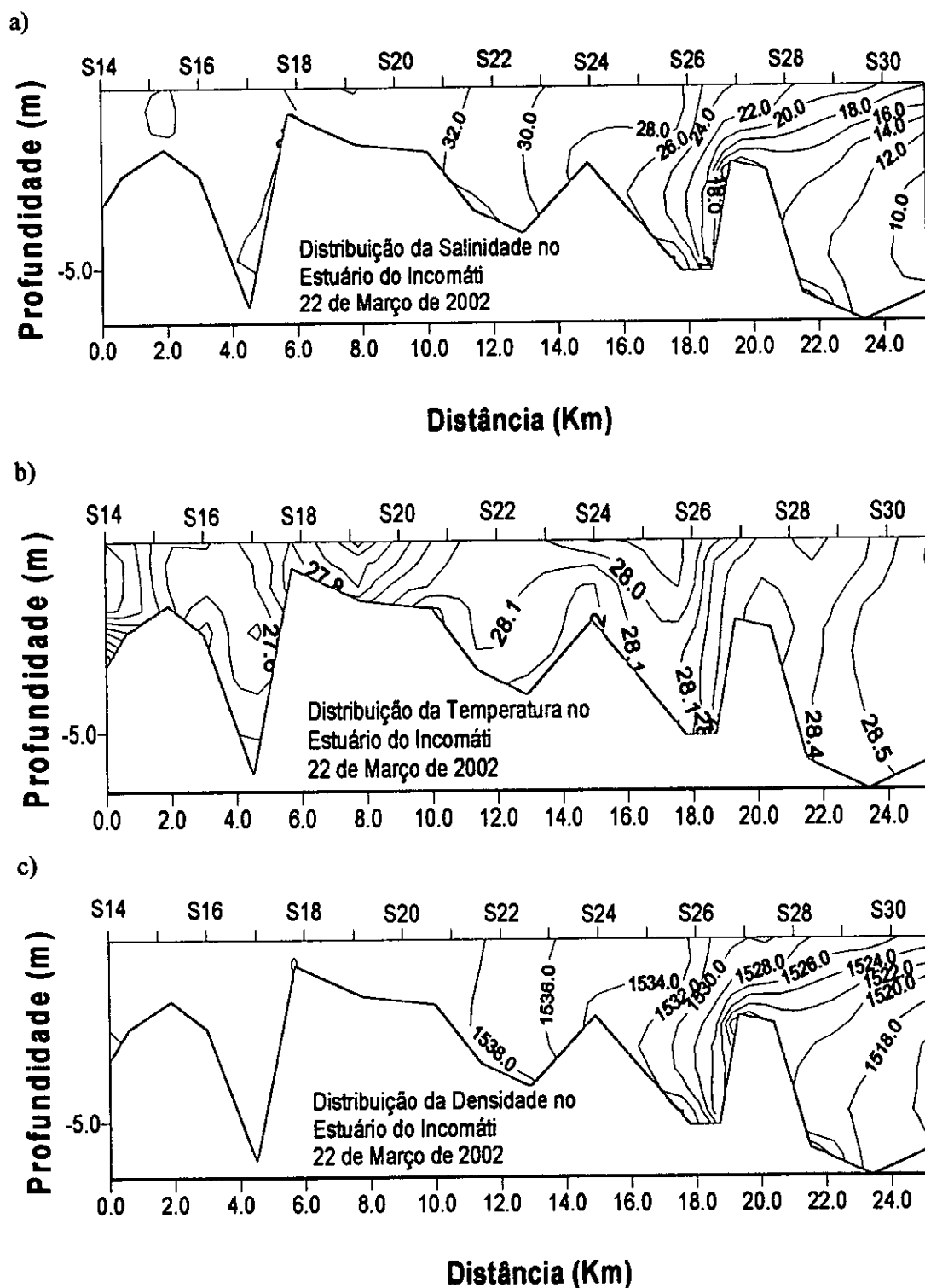


Figura 13- Variação longitudinal e vertical da salinidade, temperatura e densidade ao longo do estuário do Incomati no dia 22 de Março de 2003

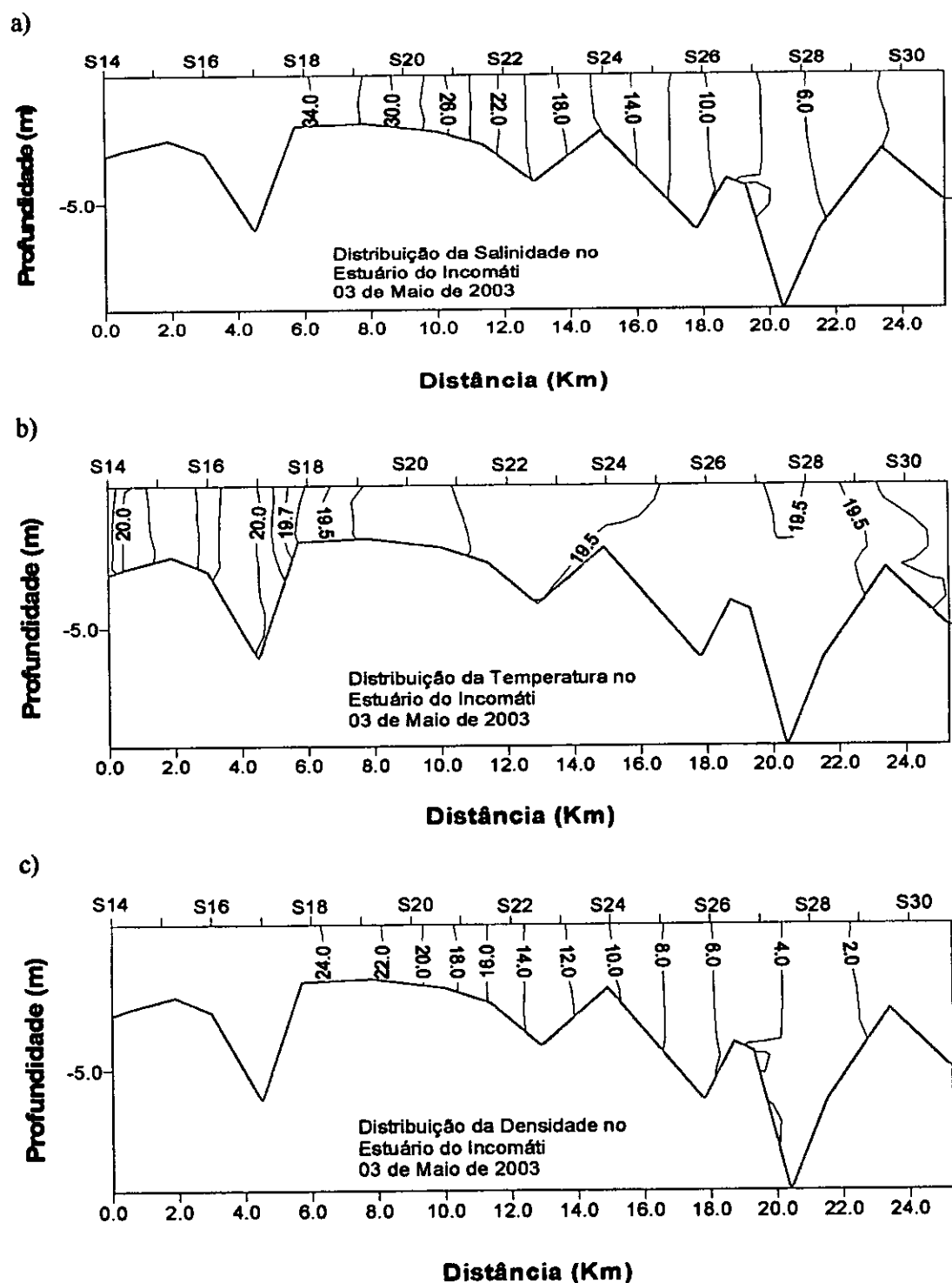


Figura 14- Variação longitudinal e vertical da salinidade, temperatura e densidade ao longo do estuário do Incomati no dia 05 de Maio de 2003

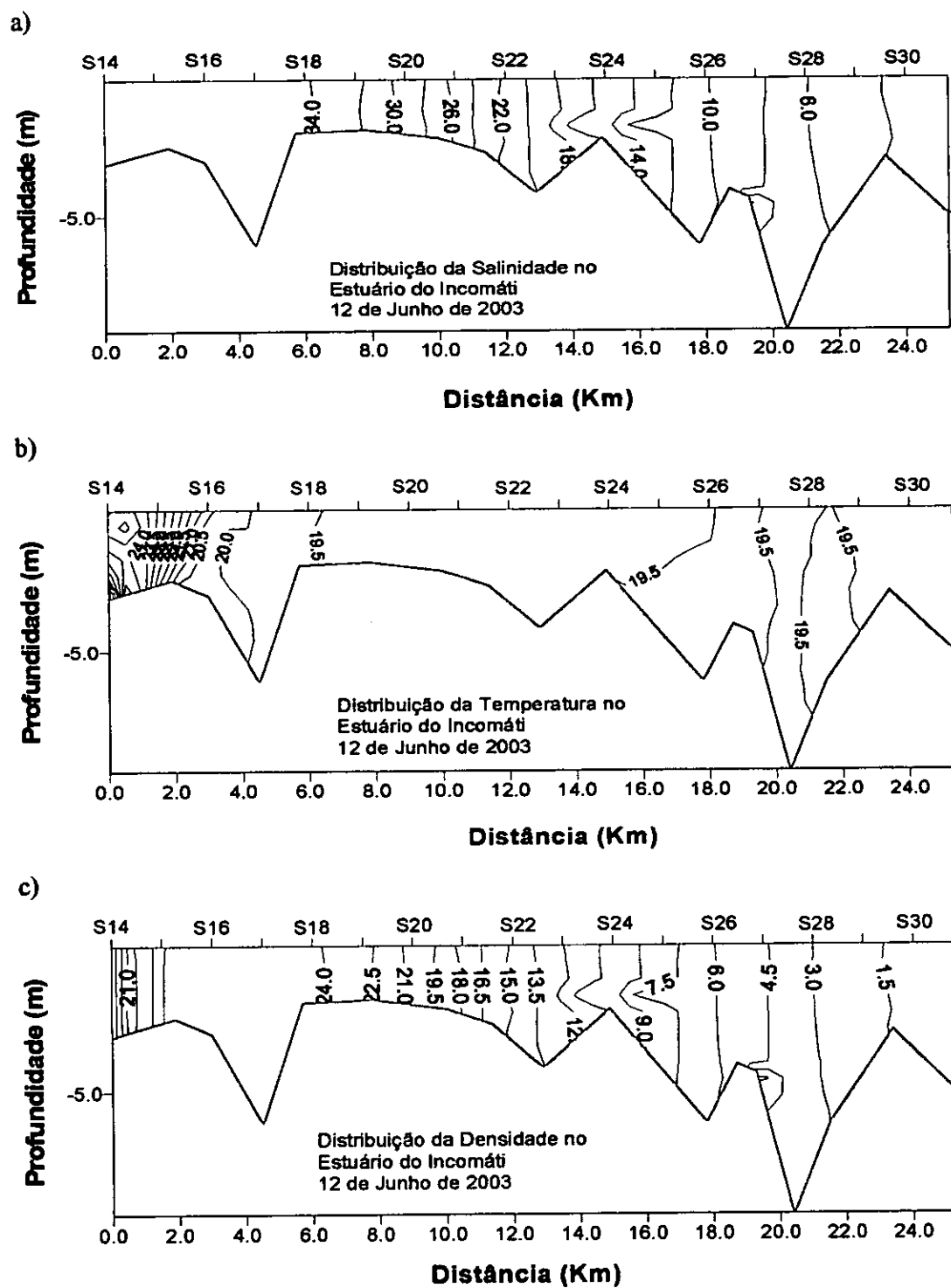


Figura 15- Variação longitudinal e vertical da salinidade, temperatura e densidade ao longo do estuário do Incomati no dia 12 de Junho de 2003

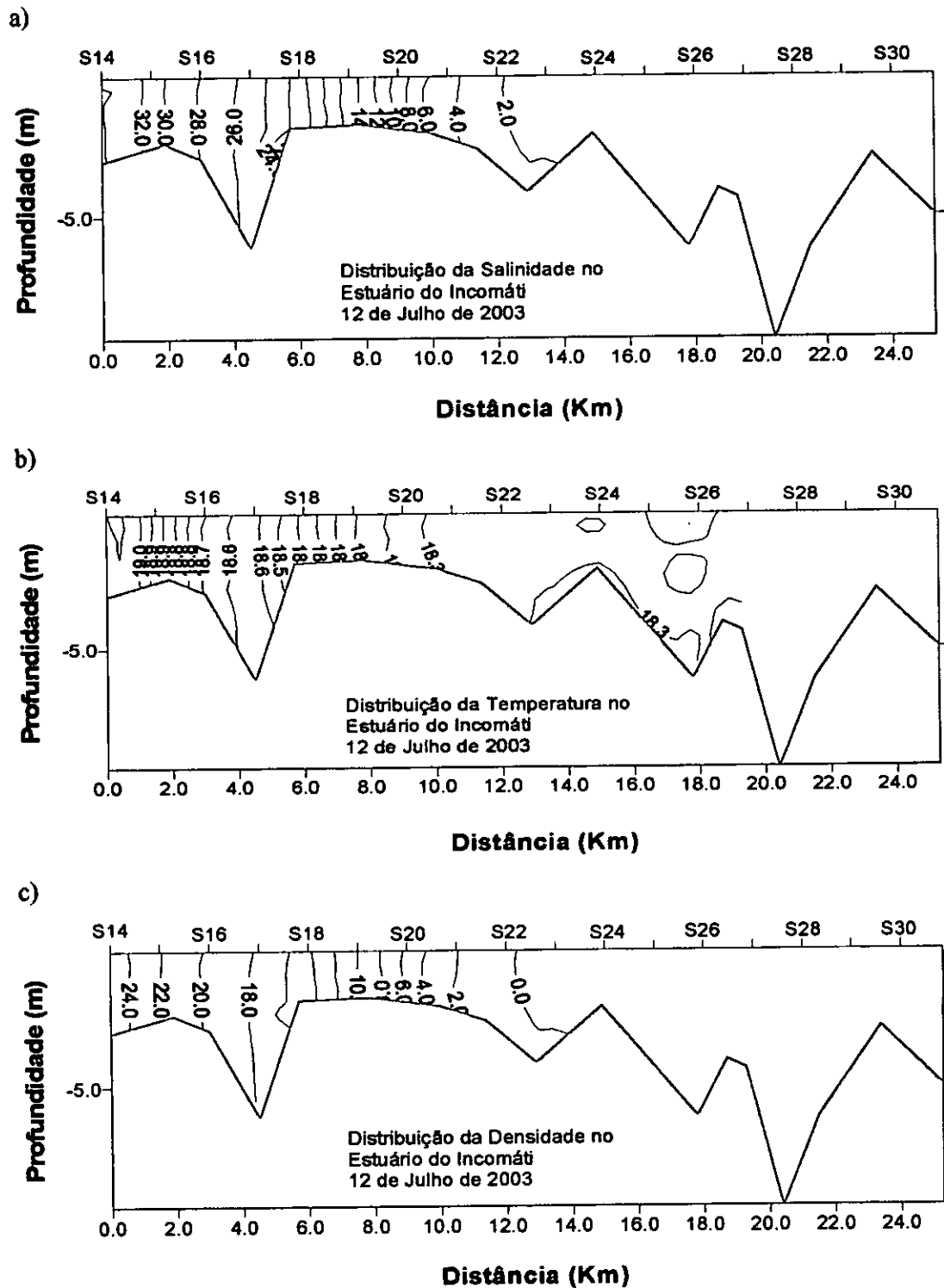


Figura 16- Variação longitudinal e vertical da salinidade, temperatura e densidade ao longo do estuário do Incomatino dia 12 de Julho de 2003

5.1 Resultados do modelo

O modelo de difusão das marés foi usado para determinar a extensão da intrusão salina como função das descargas observadas na estação de Magude representados pela (Tabela 6, anexo). Os valores das descargas da água foram obtidos na Direcção Nacional de Águas. O modelo foi calibrado e baseado nas observações do campo.

Com base às observações do campo foi possível calcular o coeficiente de calibração e obteve-se como coeficiente $\Gamma = 24.8 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

A equação (4.8) dá-nos a extensão da intrusão salina como função inversa do escoamento. A (Figura 17) e a (Tabela 7, anexo) mostra-nos a relação entre os caudais disponíveis e a extensão da intrusão salina no estuário do Incomáti.

5.2 Caudal para uma intrusão salina mínima no estuário do rio Incomáti

Considerando a distância de 20 Km onde estão localizadas as terras cultivadas do distrito de Marracuene a partir da boca do estuário do Incomáti, a que pretendemos que não sejam afectadas pela intrusão salina e assumindo a salinidade na boca como sendo de 35 e localizando a salinidade dentro do estuário com o valor 1, usando o coeficiente de calibração de $\Gamma = 24.8 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, obteve-se o caudal mínimo com sendo de $8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

5.3 Probabilidade de ocorrência da intrusão salina no estuário do Incomáti

A probabilidade de ocorrência da intrusão salina no estuário do Incomáti durante 20 anos (1983 - 2003) foi estimada em 29.5%, e a probabilidade de ocorrência da intrusão salina por mês, num período de 20 anos é representada pela Tabela 8 e pela Figura 18. Como se pode ver o estuário do Incomáti sofre maior intrusão salina a partir do mês de Abril até ao mês de Novembro que é o período da seca e atinge a máxima intrusão nos meses de Agosto e Setembro.

Tabela 8- Probabilidade de ocorrência da Intrusão Salina por mês

MESES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
PROB(%)	2.86	4.29	4.29	2.86	7.14	8.57	11.43	15.71	15.71	14.29	8.57	4.29

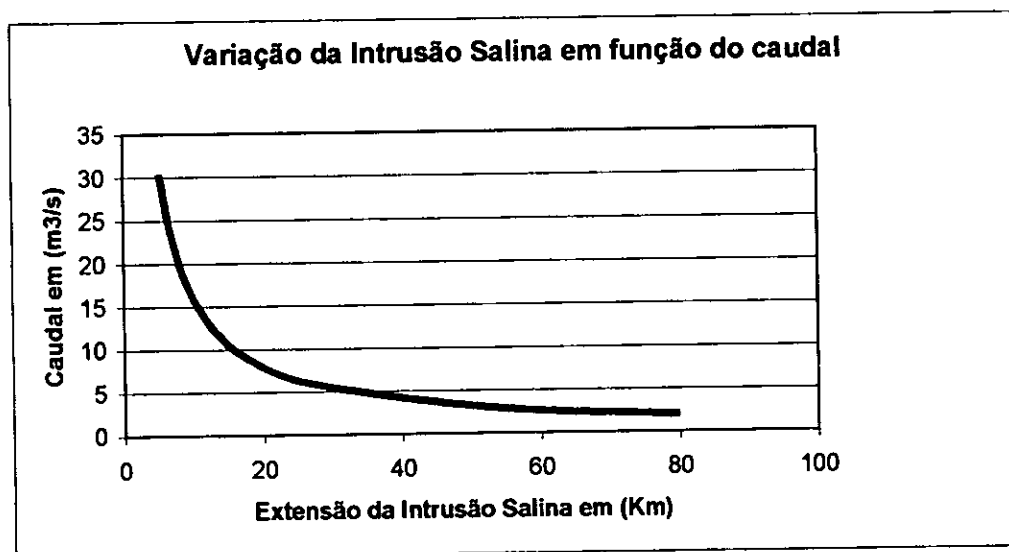


Figura 17- Relação entre o caudal e a extensão da intrusão salina

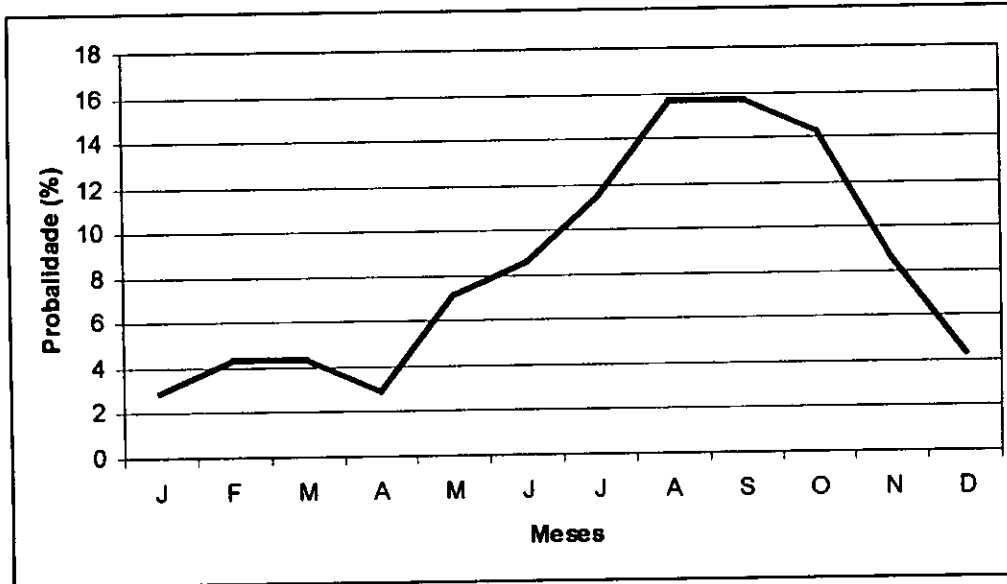


Figura 18- Probabilidade de ocorrência da Intrusão Salina

VI. DISCUSSÃO

5.1 Discussão do modelo usado

O modelo é físico e teórico e é usado em estuários misturados ou em estuários parcialmente misturados como é o caso do estuário do rio Incomáti. O período das observações coincidiu com as exigências do modelo visto que o estuário estava na fase de misturado com uma ligeira transição para fase de parcialmente misturado.

O modelo usado é limitado na presença de caudais maiores como os observados em Fevereiro de 1984, Janeiro, Fevereiro, Março e Abril do ano 2000 respectivamente, porque colocam o estuário numa situação de estratificado. A outra limitação reside no facto do modelo não considerar a topografia do fundo do estuário enquanto na verdade tem influência.

5.2 Salinidade, temperatura e densidade

As variações dos caudais do rio Incomáti criam grandes variações da salinidade no estuário, quando o estuário recebe maiores descargas da água proveniente do rio mantêm-se parcialmente misturado e com a diminuição dos caudais transita para o tipo de estuário misturado que é a fase mais duradoira deste estuário. As figuras 11a), 12a), 14a), 15a) e 16a) representam o tipo de estuário misturado devido aos baixos com a influência de forte maré de mistura e as figuras 10 a) e 13 a) apresentam o tipo de estuário parcialmente misturado associado aos altos caudais.

O estuário do Incomáti apresenta pequena variação da temperatura, como se pode ver em todas figuras, a pequena subida da temperatura verifica-se na boca do estuário na Estação S14 devido a influências das águas oceânicas durante a preia-mar. No geral podemos considerar que a temperatura ao longo do estuário do Incomáti não varia.

A distribuição da densidade depende dos caudais disponíveis, como se pode ver pelas Figuras 14c), 15c) e 16c), apresentam densidades baixas associada aos baixos caudais. As figuras 10c), 11c), 12c) e 13c) o estuário apresenta valores altos da densidade, associada aos valores altos de caudais, situação que nos leva a concluir que o rio Incomáti com caudais altos contribui positivamente na deposição dos sedimentos na Baía de Maputo.

VI. CONCLUSÕES

Com base nas observações de campo foi calculado o coeficiente de calibração e obteve-se o resultado de $\Gamma = 24.8 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$. A partir deste coeficiente calculou-se o caudal mínimo usando-se a equação (4.8) e obteve-se o resultado de $8 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

O fenómeno da intrusão salina é inevitável em qualquer que seja o estuário, no caso do estuário do rio Incomáti deve-se á utilização excessiva da água pela África do Sul país situado á montante.

Com base nas observações de campo verificou-se que o estuário do Incomáti é positivo porque a salinidade dentro do estuário é baixa em relação á salinidade do mar aberto, quanto á estrutura da distribuição da salinidade o estuário do Incomáti permanece misturado durante um longo período, apresentando valores altos de salinidade que podem contribuir para o desaparecimento de certas espécies marinhas que não suportam valores altos de salinidade. Com o aumento dos caudais o estuário transita para o tipo de estuário parcialmente misturado.

Das observações do campo conclui se também que o estuário do Incomáti não sofre variação da temperatura apesar deste ter influência das águas oceânicas. E quanto á distribuição da densidade dentro do estuário a densidade da água aumenta em direcção ao mar, tendo valores baixos na presença de caudais baixos e aumenta com o aumento dos caudais.

VII. RECOMENDAÇÕES

Moçambique por ser um país que se situa à jusante sofre perturbações dos caudais, conseqüentemente surgem vários problemas tais como maior progressão da intrusão salina no estuário do Incomáti, para mitigar este problema é necessário que se verifique a Convenção das Nações Unidas que estabelece princípios e regras gerais que orientam os estados que compartilham bacias internacionais na negociação de acordos. E é necessário que se ponha em prática o acordo bilateral entre a África do Sul e Moçambique que estabelece o fornecimento de um caudal de $2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

A DNA ou a Ara Sul entidades responsáveis pela gestão das bacias no nosso país devem criar um mecanismo de registo diário de caudais fornecidos de modo que se permitam melhores estudos que são muito importantes nas medidas de gestão da bacia.

A construção de uma barragem do lado moçambicano da bacia seria uma ótima ideia, pois serviria para gerir os caudais para a manutenção dos ecossistemas durante a estiagem e para o consumo humano. Todavia se não haver uma distribuição equitativa da água entre África do Sul, Swazilândia e Moçambique, a barragem a ser construída serviria apenas para o controle das cheias e não para minimizar a intrusão salina no estuário do Incomáti. Deve-se verificar o princípio de integridade territorial de um curso de água (nenhum país situado à montante deve usar as águas de um rio internacional de tal forma que possa ter algum efeito negativo sobre o território de um estado à jusante).

Com o fim da guerra no nosso país a procura de água vem aumentando ano após ano o que quer dizer que as empresas ligadas à gestão da bacia devem defender princípios que permitam uma distribuição equitativa da água de modo que Moçambique apesar de se situar à jusante não sofra perturbações de caudais devido ao uso excessiva por parte dos países que se situam à montante.

VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, Wanda do (1999) Guia para apresentação de teses dissertações trabalhos de graduação. 2ª Edição.
- ANÓNIMO, (2003). National estuarine Research Reserves, estuaries. Gov.
- BARETTA, J e RUARDIJ, P. (1988). Tidal Flat Estuaries.
- BOWDEN, K. F. (1983). physical oceanography of coastal waters.
- COSSA, Obadias. J. Intrusão Salina no estuário do rio Incomáti. 2001. Tese, Licenciatura, Universidade Eduardo Mondlane, 2001.
- DYER, K. R. (1972). Estuarines: a Physical Introduction.
- DNA, 1995. Boletim da Sociedade de estudos de Moçambique. LM 35 (143) Abril – Junho, contribuição para o estudo hidrográfico do Incomáti, rios Komáti e Crocodilo (RSA e Swazilândia).
- DUXBURY, Alyn. C.e DUXUBURY, Alison. B. (1997). An introduction to the World's Oceans fifth edition.
- gailscow@gso.uri.edu
- GROEN, Marieke de. (1993). RAPID ASSESSMENT TECHNIQUE FOR SALT INTRUSION IN ALLUVIAL ESTUARIES STEADY STATE MODEL, Case study Incomati estuary.
- HINAHINA, (2002). TABELA DE MARÉS

- HOGUANE, A. M, MOTA. Elena e PEREIRA, Marcos. A. M. (2002). Proceeding of the II National Zone Research. Evento fundado pela Danida.
- JAKSON, Jerry. (2003) Why are Estuaries Important, Wild Things.
- KETCHUM, Bostwicck. H. (1983). ECOSYSTEMS OF THE WORLD 26 ESTUARIES AND ENCLOSED SEAS.
- KRANENDONK, Leonard. (1991). GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DE INCOMÁTI, UNDTCD Proj. Moz. 88/020. Com colaboração do grupo de trabalho 'Task Force'; Departamento de estudos e Planeamento, DNA Dezembro.
- LAUFF, Geoge. (1963). Estuaries.
- LEESTEMAKER, Joanne e TAUCALÉ, P.I. Francisco, (2000) Revisão das relativas literaturas sobre a saúde do rio Incomáti.
- LEESTEMAKER, Joanne Brechas entre a convenção das Nações Unidas, o protocolo da SADC e os sistemas legais na África do Sul, Suazilândia e Moçambique, Uma análise das novas leis de águas nacionais e supranacionais na África Austral.
- MACUÁCUA, Rodrigues Dezanove. Caracterização das cheias na Bacia do rio Incomáti, 2000. Relatório do estágio, Instituto Industrial do Maputo, 2000.
- PICKARD, George. (1968). Oceanografia Física Descritiva.
- POP, José Henrique.(1998) Geologia Gera, 5ªEdição..

- TAUCALE, Francisco. T. P. Determinação do padrão do caudal ecológico da bacia do rio Umbeluzi. 1999. Tese de Licenciatura; Universidade Eduardo Mondlane, 1999.
- www.seabird.com

ANEXOS

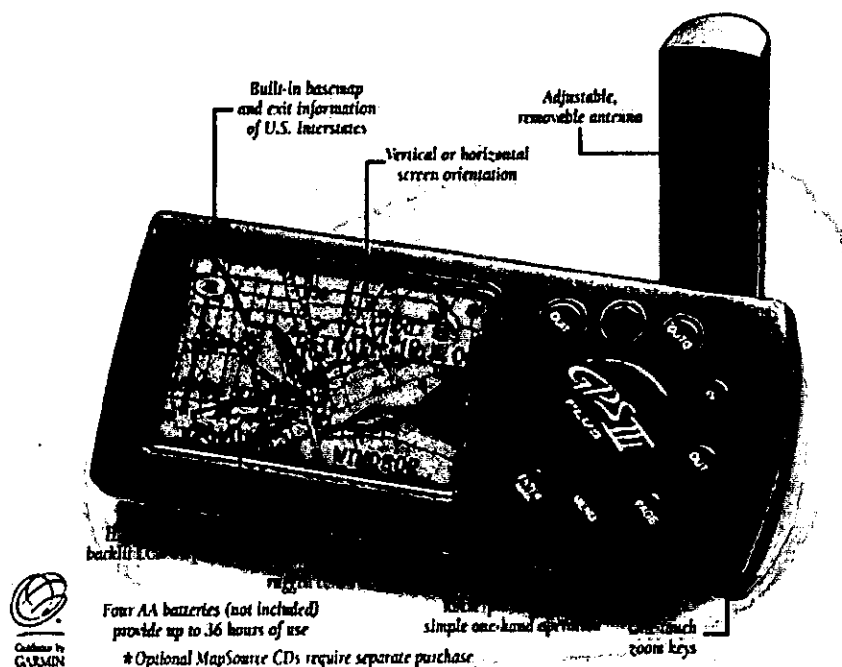


FIGURA 8 – GPS usado durante os trabalhos de campo. Fonte-(www.trimble.com)

TABELA 7-Relação entre o caudal e a extensão da intrusão salina no estuário do Incomati

Mês/Ano	Escoamento ($m^3 s^{-1}$)	Extensão da Intrusão Salina (Km)
Abril/2002	29.1	5.5
Junho/2002	17.3	9.2
Agosto/2002	15.6	10.2
Março/2003	14.6	10.9
Mai/2003	12.4	12.8
Junho/2003	10.5	15.1

**TABELA 6- Dados de caudais em $m^3 s^{-1}$ na estação hidrométrica de Magude (E-43).
Registro de 20 anos (1983-2003).**

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1983										0.01	63.72	44.52
1984	172.29	561.53	63.76	67.25	21.88	14.78	35.74	23.72	14.57	11.31	43.87	59.86
1985	34	517	121.67	39.75	26.05	18.32	13.77	7.17	7.36	2.27	18.94	11.87
1986	34.52	64.81	27.55	61.31	31.09	10.2	5.39	2.83	1.82	1.19	2.37	3.5
1987	41.82	14.72	25.69	28.54	3.63	2.07	1.69	1.51	4.44	60.55	41.26	107.03
1988	78.95	62.39	195.54	45.69	16.99	7.37	10.63	3.83	19.66	36.78	18.89	26.54
1989	43.78	159.5	145.75	22.25	14.4	18.54	9.54	6.45	4.29	3.53	41.52	147.39
1990	23.12	42.92	40.61	31.58	16.44	8.546	6.54	5.11	4.62	6.78	3.78	19.66
1991	100.06	179.82	124.95	60.67	32.6	27.16	19.39	10.31	7.65	2.9	14.93	8.98
1992	5.55	7.16	2.91	1.08	2.95	4.59	4.17	4.71	3.94	2.31	5.23	42.64
1993	19.55	7.21	95.13	10.8	4.63	3.64	3.62	1.9	2.68	2.49	2.53	3.68
1994	6.23	4.12	3.31	3.66	3.75	3.68	3.83	3.99	4.84	5.51	5.19	7.43
1995	6.46	10.53	4.57	5.47	5.25	4.95	4.7	4.58	4.15	2.88	2.78	27.76
1996	193.34	675	547.69	143.69	95.55	61.87	52.65	45.35	29.99	28.77	26.896	50.58
1997	46.36	42.26	38.16	34.06	29.95	25.85	21.83	14.91	25.47	13.48	22.96	57.88
1998	45.91	22.47	35.19	12.22	8.93	8.12	7.18	6.58	6.49	26.21	59.46	227.73
1999	154.43	366.27	187.68	60.81	34.54	27.27	29.33	9.52	7.98	27.35	33.65	86.74
2000	559.28	1654.83	957.67	680.92	346.56	254.59	142.8	96.06	97.46	88.84	252.94	349.36
2001	149.21	149.78	105.93	92.02	55.65	28.75	21.29	17.89	15.98	20.01	199.83	419.48
2002	140	95.77	32.43	29.08	21.08	17.28	16.9	15.56	15.37	15.76	19.15	22.67
2003	21.88	15.27	14.56	12.02	12.4	10.5						

Fonte: DNA, 2003

Autor: Messias Alfredo Macuiane