

# **Projecto de Construção do Canal de Drenagem**

## **Bairro de Paquitequete, Pemba**

### **Drenagem de Águas das Marés e Pluviais**

#### **1.0 Objecto**

A presente memória refere-se ao projecto de drenagem de águas do mar e pluviais do Bairro de Paquitequete, Cidade de Pemba, Cabo Delgado. O projecto de drenagem será do tipo misto dado que recolhe e transporta tanto as águas do mar, devido à variação das marés, e as águas pluviais na área da bacia objecto de análise. A rede projectada possui um total aproximado de 1470 metros de extensão e consiste num canal principal e noutro secundário de águas pluviais apenas. Para além do canal secundário que drena no canal principal, existe uma série de valetas ao longo da estrada principal que igualmente descarregam as águas neste último. O projeto abrange uma área significativa dentro dos limites do bairro. A drenagem será efectuada, na sua totalidade, graviticamente

O cálculo da rede de drenagem de águas pluviais baseia-se na definição dos caudais de projecto que por sua vez são determinados através das áreas a drenar em projecção horizontal, nas características da região pluviométrica, tempo de retorno e no tempo de concentração. Com base no caudal acima referido define-se o conjunto de órgãos que compõem a rede de drenagem. Os caudais das águas do mar são estimados com base em dados recolhidos no local.

#### **2.0 Introdução**

A correcta gestão das águas urbanas no Bairro de Paquitequete está intrinsecamente ligada ao uso adequado do solo, o qual constitui um dos principais conteúdos dos planos de urbanização. Porém, devido a uma série de factores, o que se constata na área objecto de análise é a proliferação de assentamentos informais, que não obedecem a nenhuma regra e boas práticas de urbanização. Dentre os pontos salientes neste tipo de assentamentos ressaltam a alta densidade de ocupação do espaço, ocupação de áreas de risco e a ausência de infra-estruturas básicas sustentáveis. Evidentemente, este quadro resulta em impactos negativos sobre os habitantes e o meio ambiente.

A questão da drenagem constitui uma preocupação devido às implicações que a sua gestão inadequada pode trazer como o comprometimento das fontes de abastecimento de água, pela contaminação dos mananciais superficiais e

subterrâneos, erosão, produção de sólidos, inundações e problemas de saúde. No Bairro de Paquitequete é notória a existência de muitos focos de águas estagnadas, resultantes das águas das chuvas e das águas do mar que não se escoam devidamente em virtude da ocupação dos caminhos naturais para fins de habitação e outros. Estas condições propiciam a multiplicação de microrganismos e insectos como as bactérias e mosquitos, causando problemas de saúde pública (Malária, Cólera, Bilharziose).

## **2.1 Clima**

Os dados climatéricos foram obtidos no Município da Cidade de Pemba, onde se insere a área do plano. O clima característico é tipicamente Tropical Húmido. A temperatura média mensal é estimada em 30°, e o índice pluviométrico anual é estimado em aproximadamente 872 mm, considerando-se assim uma cidade relativamente seca. Os ventos predominantes variam entre as orientações Este e Nordeste, sendo a primeira a mais prolongada e intensa. Durante a estação chuvosa, os ventos dominantes são provenientes do Sul. A época seca e fria varia entre os meses de Abril a Outubro, e a estação quente e húmida com chuvas, vai de Outubro a Março. No que se refere à humidade relativa, os valores situam-se na casa dos 74%.

O sistema de drenagem a projectar tem por objetivo garantir o adequado escoamento das águas do mar e pluviais que se espalham e permanecem na superfície das áreas adjacentes ao caminho natural do escoamento.

## **3.0 Aspectos hidrológicos e fisiográficos**

### **3.1 Hidrologia**

A análise do escoamento superficial, ocorrência e transporte da água na superfície terrestre, constituiu um dos elementos de grande relevância na apreciação das variáveis hidrológicas como base para o projecto de drenagem em Paquitequete. Os principais factores que influenciam o escoamento superficial na zona, designadamente os de natureza climática, relacionados à precipitação, e os de natureza fisiográfica, ligados às características físicas da bacia foram tidos em conta. Dentre os factores climáticos apreciados destacam-se a intensidade e a duração da precipitação. O escoamento superficial derivado do excesso de precipitação que ocorre logo após uma chuva intensa tende a causar problemas sérios de inundações na zona. Esta situação é agravada pelas características fisiográficas da zona. Com efeito, a parte Sul do Bairro é bastante íngreme fazendo com que as águas pluviais que se geram, incluindo as do Bairro adjacente, escoem a uma velocidade elevada para a parte baixa, com todas as consequências em termos de erosão dos solos e inundações.

Ainda sobre os factores fisiográficos apreciados destacam-se a área, a permeabilidade e a capacidade de infiltração. A influência da área é mais visível, pois a sua extensão

está relacionada à maior ou menor quantidade de água que ela pode captar. A área é o elemento básico para o estudo das demais características físicas. A permeabilidade do solo influi directamente na capacidade de infiltração, ou seja, quanto mais permeável for o solo, maior será a quantidade de água que ele pode absorver, diminuindo assim a ocorrência de excesso de precipitação. De outra forma, a impermeabilização do solo origina uma diminuição da capacidade de infiltração, provocando o aumento do volume da água e da velocidade do escoamento superficial, conduzindo, por isso, a situações de inundação.

No caso de Paquitequete, onde o padrão de ocupação e uso do solo são problemáticos, teve que se fazer uma análise cuidadosa. Dada a intensidade do uso do solo no Bairro, densamente povoado, e as características dos solos locais, areias compactas e nível freático elevado, a parcela de precipitação que se escoou superficialmente é bastante significativa comparativamente à infiltração e evaporação.

### **3.2 Topografia**

A área objecto de estudo tem duas características distintas. A área sul é bastante acidentada a partir do limite até ao ponto intermédio. A altimetria varia de 37,50 m no extremo sul para cerca de 9,0 m na zona central do Bairro. Desde esta parte central até à extremidade Norte junto à orla marítima a topografia é bastante regular, com pequenas variações de altimetria. Por esta razão, grande parte do escoamento tem origem na parte alta dirigindo-se para a zona central onde existe um canal secundário que conduz as águas para o canal principal, indo desaguar no mar na zona Este do Bairro. O canal natural de marés liga dois pontos da orla marítima passando pela zona central numa espécie de arco. O canal situa-se em áreas sem diferenças apreciáveis de altimetria, exceptuando o trecho final a sudoeste do Bairro onde há uma acentuada redução da altimetria.

## **4.0 Descrição do sistema de drenagem**

O sistema de drenagem é de natureza dual pelo facto de se destinar ao escoamento das águas do mar e das águas pluviais de uma parte do Bairro de Paquitequete.

### **4.1 Águas do mar**

Estas águas têm origem num ponto do Bairro a partir do qual se escoam para o interior conforme a variação das marés. O escoamento dá-se por via de um caminho/canal natural que sai de um ponto da praia, correndo por algumas áreas e indo desaguar num outro ponto do mar num percurso aproximado de 1100 metros. Assim, a área por cima do canal natural torna-se numa ilha.

## **4.2 Águas pluviais**

As águas pluviais oriundas largamente da parte Sul do Bairro escoam-se em direcção ao Norte através de atalhos uma vez que a zona é densamente povoada. Já na parte baixa do bairro as águas vão dar ao canal natural das águas do mar onde se juntam a estas indo em direcção ao ponto de desaguio. Existe um pequeno canal escavado por onde as águas pluviais se encaminham até ao canal das águas do mar com uma extensão de cerca de 370 metros.

## **4.3 Problema**

Pela descrição anterior existem caminhos para o escoamento das águas do mar e das águas pluviais. Pode-se perguntar, então, onde reside o problema com a drenagem das referidas águas. Há dois aspectos principais neste sentido, designadamente:

O canal natural de escoamento das águas do mar sofreu uma redução de secção ao longo dos anos em virtude da ocupação da zona para fins habitacionais. Por outro lado, registou-se um acentuado assoreamento do mesmo (solos e resíduos sólidos) e por não ter havido manutenção a secção de vazão está drasticamente comprometida. Como resultado, sempre que os níveis das marés sobem torna-se difícil realizar-se escoamento das águas através do canal, dando azo à inundação das áreas adjacentes. A água nestas zonas chega a atingir cerca de um metro de altura, afectando os moradores e outro equipamento social na zona.

O canal de escoamento das águas pluviais tem os mesmos problemas. Está cada vez mais confinado pela ocupação crescente da área inicialmente disponível e pela deposição de solos arrastados e detritos sólidos por parte dos moradores.

## **Proposta de solução**

- Para obviar os problemas prevalecentes será preciso fazer uma intervenção a vários níveis, a saber:
- Remoção de uma parte das habitações por sobre os canais naturais de escoamento das águas
- Desassoreamento dos canais de escoamento das águas do mar e das águas pluviais

- Escavação de solos no percurso dos canais naturais e construção de muros de gabiões para o revestimento das paredes do canal de águas pluviais e construção de um canal em betão para o escoamento das águas das marés.

## 5.0 Dimensionamento dos canais

Para o dimensionamento dos canais de escoamento das águas do mar e das águas pluviais foram considerados os seguintes critérios principais:

Velocidade máxima permitida – velocidade crítica

Tensão máxima permitida – tensão crítica

Esta precaução tem vista evitar o desgaste precoce das paredes e do fundo do canal pelo efeito de fricção do escoamento. Velocidades e tensões excessivas tendem a provocar erosão acentuada.

### 5.1 Caudais

#### Água do mar

Os caudais de marés no canal variam em função dos níveis das marés, sendo elevados em preia mar e relativamente reduzidos em marés mortas. A variação das alturas da água junto ao canal e as dimensões aproximadas do canal nesse ponto permitiram estimar um caudal médio de aproximadamente 20 m<sup>3</sup>/s.

### 5.2 Caudais de projecto das águas pluviais

Os caudais de projecto de águas pluviais resultam da consideração dos caudais de precipitação. Os caudais de projecto foram estimados pela aplicação do Método Racional, e são obtidos em função do coeficiente de escoamento (C), da intensidade de precipitação (I) e da área a drenar em projecção horizontal (A), utilizando a fórmula:

$$Q = 0,278.C.I.A$$

As hipóteses de base do método racional residem no conceito de tempo de concentração,  $t_c$ , e na linearidade da relação entre a precipitação útil,  $(C \times I)$ , e o caudal de ponta,  $(Q_p)$ .

O número 0,278 é um coeficiente de retardamento devido à incerteza nos dados hidrológicos; C é o coeficiente de escoamento “runoff” neste caso 0,6; I a intensidade

de precipitação média em mm/hora para uma duração da chuva igual ao tempo de concentração na bacia em estudo e A a área da bacia em análise em km<sup>2</sup>. O valor da intensidade é igual a 30 mm/h e a área da bacia é de 1,2 km<sup>2</sup>.

A fórmula racional é bastante efectiva para o caso de pequenas bacias, tal como o Bairro de Paquite, nas quais se admite que a precipitação intensa possa atingir simultaneamente toda a bacia. O valor de C em áreas urbanizadas é uma função do declive do terreno bem como do tipo de solo.

Nesta base o caudal gerado pela precipitação na área objecto de estudo é de aproximadamente 6 m<sup>3</sup>/s, determinado pela expressão do Método Racional aplicável para pequenas bacias, área menor que 3 km<sup>2</sup>, como é o caso da área drenante em consideração.

### 5.3 Canais

Para o dimensionamento dos canais foi empregue a fórmula de Manning Strickler. O caudal é expresso como se segue

$$Q = (A: n) \times R^{2/3} \times I^{0,5}$$

Onde n representa o valor de rugosidade de Manning; R o raio hidráulico e I o gradiente.

#### 5.3.1 Canal de águas pluviais

O n para gabiões é de 0,04; o raio é o quociente entre área de secção e perímetro molhado e a inclinação assumida do canal é de 0,5%. Toma-se uma secção rectangular.

$$Q = (A: n) \times R^{2/3} \times I^{0,5}$$

$$Q = 7 \times 1:0,04 \times (7:7,5)^{2/3} \times 0,005^{0,5} = 11,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = Q : A = 11,8 : 7,5 = 1,6 \text{ m/s}$$

Esta velocidade está abaixo do máximo recomendado para canais do gênero, que é de cerca de 4 m/s, pelo que é compatível.

Esta velocidade é inferior à velocidade crítica para gabiões com enrocamento de diâmetro de 25/30 cm e espessura das caixas de 50 cm que é de cerca de 5,8 m/s.

Considerando uma secção rectangular, o canal principal terá uma secção de 3,5 x 2,0 metros com revestimento de gabiões. A altura efectiva deve situar-se nos 1,6 metros para a constituição de folga no canal. O caudal máximo que o canal pode comportar resulta em cerca de 11,8 m<sup>3</sup>/s, o que é suficiente para absorver o escoamento do caudal previsto.

Tensão tractiva média no perímetro molhado do canal – fundo

$$T_T = g \cdot h \cdot S = 1000 \cdot 2 \cdot 0.005 = 10 \text{ kg/m}^2$$

Tensão tractiva limite  $T_{TL}$ ;  $T_T$  deve ser menor que  $T_{TL}$

$$T_{TL} = 6,25 \times 10^{-4} \times D_{50} = 6,25 \times 10^{-4} \times 200 = 0,125 \text{ Kpa} = 12,5 \text{ kgf/m}^2, \text{ verifica portanto.}$$

Se o leito dos canais for de solo natural sem colocação de enrocamento, há uma probabilidade enorme de se exceder a tensão tractiva ou tangencial.

### 5.3.2 Canal principal

$$Q = 16,5 \times 1:0,018 \times (16,5:10,9)^{2/3} \times 0,002^{0,5} = 45,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = Q : A = 47,7 : 16,3 = 2,8 \text{ m/s}$$

Esta velocidade está abaixo do máximo recomendado para canais do gênero, que é de cerca de 4 a 6 m/s, pelo que é compatível.

Considerando uma secção trapezoidal, o canal principal terá uma secção com base de 4 m, altura de 3,0 m e inclinação de taludes de 45 graus. A inclinação longitudinal é de 0,2%. A altura efectiva pode ir até aos 2,5 metros para a constituição de folga de cerca de 0,50 m no canal. O caudal máximo que o canal pode comportar resulta em cerca de 46 m<sup>3</sup>/s, o que é suficiente para absorver o escoamento dos dois caudais previstos.

## 6.0 Dimensionamento dos gabiões

Os gabiões são calculados como muros de gravidade sujeitos às pressões dos solos sobre a parte posterior.

As dimensões dos gabiões são determinadas por aproximação. A base deve ter pelo menos:

$$B = 0,5 \times (1 + 2) = 0,5 \times (1 + 2,0) = 1,5 \text{ m}$$

À medida da altura a partir da base será reduzida a espessura da parede do gabião para 1,0 m na fiada do topo.

As pressões a um terço da altura são determinadas pelas expressões da mecânica dos solos e o empuxo pela expressão:

$$E_a = 1 : 2 \times \gamma \times h^2 \times K_a$$

$$E_a = 0,5 \times 1800 \times 2^2 \times 0,45 = 1620 \text{ kgf/m}$$

Considera-se que a inclinação do terreno em relação à horizontal é nula e o paramento do muro é vertical. Com base nestes dados calcula-se o coeficiente de empuxo.

O muro é verificado ao tombamento, deslizamento e á compressão.

### 6.1 Tombamento

O coeficiente de estabilidade é dado pela relação entre o momento estabilizante ( $M_r$ ) e o momento de tombamento ( $M_o$ ) das forças actuates em relação ao eixo da fundação. A relação deve ser maior do que 1,5.

$$VT = M_r : M_o \geq 1,5$$

$$M_r = 2300 \times 2 \times 1 \times 0,75 = 2587,5 \text{ kgf.m}$$

$VT = 1,59$  Maior que 1,5. Há segurança ao tombamento.

### 6.2 Deslizamento

Sendo  $N$  a componente da resultante das forças actuates normais à base do muro,  $T$  a componente da resultante das forças actuates na tangencial à base do muro e “ $f$ ” o coeficiente de atrito entre a base do muro e a plataforma de apoio (0,5 – 1,0), deverá resultar:

Por outras palavras, a segurança contra o deslizamento consiste na verificação do equilíbrio das componentes horizontais das forças atuantes, com a aplicação de um fator de segurança adequado.

$$T_{\text{tangencial}} = B \times ( A_{\text{Dsolomuro}} + ( N:B - u ) \times \text{tg } \delta = 1,5 \times ( 0,5 + ( 6900:1,5 - 0 ) \times \text{tg } 30 ) = 3984 \text{ kgf/m}$$

$$VD = (T + E_{\text{passivo}}) : E_a \geq 1,5$$

$$VD = 3984 : 1620 = 2,4 \text{ ok!}$$

### **6.3 Capacidade de carga - compressão**

A capacidade de carga consiste na verificação da segurança contra a ruptura e deformações excessivas do terreno de fundação. A análise considera o muro rígido e a distribuição de tensões linear ao longo da base. A resultante das forças atuantes no muro localiza-se no núcleo central da base do muro e o diagrama de pressões no solo será aproximadamente trapezoidal. O terreno estará assim submetido apenas a tensões de compressão equivalente a cerca de  $0,5 \text{ kgf/cm}^2$  que é inferior à capacidade resistente do solo estimada em  $1,5 \text{ kgf/cm}^2$ .

### **7.0 Passagens de água**

Existe no local uma passagem de água do canal na zona onde passa a estrada constituída por culvert boxes cuja capacidade é bastante limitada presentemente. Será aumentada a capacidade de vazão da água por via do acréscimo de culvert boxes num total de 25 unidades com dimensões de  $1,5 \times 2,5 \times 1,22 \text{ m}$  cada, aproximadamente. A secção de vazão será de aproximadamente  $7,5 \times 2,5 \text{ m}^2$  o que é compatível com o caudal esperado no canal principal – Canal A. A fundação da passagem de água será por via de uma camada de enrocamento com cerca de 80 cm de espessura devidamente compactado. Sobre este será disposta uma laje de fundação duplamente armada com 45 cm de espessura. As caixas de passagem de água, culvert boxes, assentam na laje. Por sobre as caixas será executado um aterro com espessura em função da cota do projecto para posterior construção do pavimento da estrada. Estão ainda previstos muros nas laterais para servirem de encontros assim como no topo das caixas para efeitos de contenção dos sols. Estes muros serão igualmente assentes na laje de fundação geral. Estão previstos guardas de protecção em tubo de ferro preto devidamente tratado e pintado.

Maputo, Julho de 2016