

# Sistemas de drenagem urbana da Cidade do México (\*)

Henrique Fernandes Braga (\*\*)

## 1 — INTRODUÇÃO

O Distrito Federal mexicano localiza-se na parte baixa da bacia fechada do Vale do México, a qual, antes da erupção dos vulcões que formam a Serra de Chichinautzin, drenava suas águas em direção a Cuernavaca. A bacia do Vale do México situa-se no extremo sul do altiplano mexicano; tem 9.600 km<sup>2</sup> de superfície, sendo que 30% é plana, e uma altitude média de 2.250 m.

O Distrito Federal ocupa 1.482 km<sup>2</sup> e nele se encontra a cidade do México, com área urbanizada superior a 400 km<sup>2</sup> e população da ordem de nove milhões de habitantes.

A precipitação média anual na bacia é de 700 mm, representando um volume médio de chuva de cerca de 6,5 bilhões de m<sup>3</sup> anuais. Com o represamento das águas do Vale do México, formou-se, inicialmente, um grande lago, onde as cinzas e os aluviões carreados para seu seio sedimentaram-se lentamente, em forma floculenta, dando origem a um solo argiloso e extremamente compressível: a argila do Vale do México.

Com o passar do tempo, a evaporação das águas do lago terminou por transformá-lo em lagoas separadas, das quais subsistem, hoje, parte de Texcoco e os canais da zona Xochimilco-Tláhuac.

Nessas condições, as inundações eram frequentes na cidade do México e são testemunhadas por obras de proteção e afastamento de águas constituídas em épocas distintas, algumas delas ainda existentes:

— Em 1449 construiu-se a primeira obra de defesa importante: um dique de 16 km de extensão para proteger

a população das águas vindas do norte da bacia em direção ao lago Texcoco — então a parte mais baixa da bacia — e para separar as águas doces do lago do México das águas salobras do lago Texcoco.

Outros diques foram construídos; os de Tláhuac e Mexicalzingo, para controle das águas pluviais do sul; o dique de San Cristóbal, fechando a garganta de acesso das águas das lagoas Zumpango, Xaltocan e San Cristóbal ao lago do Texcoco.

— Em 1604 e 1607, grandes inundações da cidade do México pelas águas, principalmente do rio Cuautitlán, levaram à construção do primeiro túnel em Nochistongo, a noroeste da bacia, desviando por ele as águas do rio Cuautitlán e, assim, a bacia deixou de ser fechada em 1608.

Mas, após alguns meses de funcionamento, houve desmoronamentos que inutilizaram o túnel e só em 1789 é que essa obra foi convertida, após 160 anos de trabalhos, em canal, dando saída artificial permanente às águas do rio Cuautitlán.

— Em 1856, diante dos problemas de contínuas inundações, com a elevação do nível das águas do lago Texcoco, iniciou-se a construção do "Gran Canal del Desague" e do túnel de Tequisquiatic, constituindo esse conjunto, com sua conclusão, em 1900, a segunda saída das águas da bacia.

Construiu-se novo túnel em Tequisquiatic, proporcionando, a partir de 1954, uma terceira via de comunicação da antiga bacia fechada do vale do México com a bacia do rio Montezuma, afluente do Rio Panuco, que deságua no Golfo do México, próximo ao Porto Tampico.

Todas essas obras foram projetadas para funcionamento por gravidade.

O crescimento explosivo da capital mexicana neste século foi provocando o esgotamento das fontes existentes de abastecimento de água e a incorporação de outras, das quais a mais imediata se constituiu nos aquíferos profundos. A perfuração e exploração de numerosos poços urbanos aceleraram o processo de afundamento geral do solo, pela consolidação das argilas compressíveis: em alguns pontos da

cidade, como "el Caballito" — Monumento no cruzamento das avs. Paseo de la Reforma e Juárez — o afundamento chegou a superar a 8 m!

Com tais problemas, deslocamentos nas redes de esgotos e águas pluviais (sistema misto ou combinado), criando declividades adversas ao escoamento por gravidade nos coletores que deságuam no Gran Canal e também neste, terminaram por criar sérias inundações na cidade, obrigando as autoridades a implantar inúmeras estações de bombeamento, com grande incremento dos custos de operação e manutenção do sistema; a fazer sobrelevações das bordas do Gran Canal para manter sua capacidade de condução, além de construir tanques de tormenta, retificar coletores e interceptores.

A zona central da cidade, com o seu afundamento, tornou-se o ponto mais baixo da bacia e com isto, qualquer falha do Gran Canal, em seus primeiros 20 km ou a sobrelevação da água acima das bordas de proteção do canal, provocará uma inundação de graves consequências para a população.

Diante de tantos problemas, elaborou-se o "Plano Geral para Resolver os Problemas de Hundiemento, las Inundaciones y el Abastecimiento de Agua Potável de la Ciudad de México" o qual coloca a conveniência de se adotar uma nova solução para o sistema combinado (esgotos + águas pluviais) de drenagem com base em interceptores: o novo sistema profundo de drenagem, que além do interceptador do Poente, em funcionamento desde 1960, compreende os interceptores Central e do Oriente, localizados a profundidades convenientes, de modo a se evitar que o afundamento geral do solo viesse a afetar seu funcionamento e o dos coletores existentes ou a serem construídos.

Dos estudos de soluções para o afastamento das águas procedentes dos interceptores, decidiu-se, em 1959, pela construção de um emissário, "el Emissor Central", que recebendo as águas dos interceptores Central e Oriente as encaminha ao rio El Salto, a 50 km da cidade do México e a 130 m abaixo desta, por gravidade.

(\*) Texto extraído do "Relatório da Viagem de Estudos ao México e à Inglaterra", viagem realizada pelo autor sob os auspícios da OPS-Organização Panamericana da Saúde e da Cetesb-Cia. de Tecnologia de Saneamento Ambiental, de 15/8 a 12/9/80. O Relatório acima encontra-se na biblioteca da Cetesb. O presente trabalho refere-se apenas ao México.

(\*\*) Engenheiro civil formado pela Escola Politécnica da USP em 1960. Chefe da Divisão de Águas da Diretoria de Engenharia da Cetesb.

## 2 — SISTEMA DE DRENAGEM

Em meados de 1979 era a seguinte a situação do sistema:

Rede secundária: 11.500 km de tubos com diâmetro até 60 cm. destinados à coleta das águas pluviais e domiciliares.

Rede primária: 1.050 km de tubulações com diâmetros superiores a 60 cm, fazendo a conexão da rede secundária com o sistema geral de afastamento, mediante 39 subsistemas de coletores.

Sistema geral de afastamento: grandes condutos que propiciam a concentração e o afastamento dos volumes de águas do DF para a bacia do rio Tula, onde, parte é aproveitada no Distrito de Riego.

Os emissários, em conjunto, têm capacidade para uma vazão superior a 400 m<sup>3</sup>/s, sendo, 200 m<sup>3</sup>/s correspondentes ao sistema profundo de drenagem que conta com 18,2 km de túneis dos interceptores Central e Oriente, com diâmetro de 5 m e 50 km do Emissário Central, com diâmetro de 6,5 m.

Esse sistema de drenagem abrange uma área de 450 km<sup>2</sup> e beneficia cerca de 78% da população, existindo perto de 573 comunidades (colônias) sem esse serviço; a maior parte delas, localizada em zonas de grande declividade ou áreas baixas e sem serviços de água.

Há problemas de inundações devido a coletores deslocados; assoreados e deficientes na zona central; à insuficiência de drenagem por falta de capacidade dos coletores e do interceptor do Poente, na zona Norte; a formação de remanso nos coletores com níveis médios no "Gran Canal", nas zonas do Oriente e Sul, sendo que esta, de topografia plana, depende de bombeamento das águas para o rio Churubusco.

A grande parte dos problemas das zonas baixas do Sul, Centro e Norte do DF é devida à insuficiência do interceptor do Poente, fazendo com que os excessos de água sejam vertidos para elas, já agravadas pelo crescimento não planejado da zona urbana do Poente e a diminuição da capacidade de regulação dos reservatórios, devido ao assoreamento e à invasão de suas áreas.

Em termos de tratamento de águas residuais, convém citar a possibilidade de se tratar 4 m<sup>3</sup>/s dos quais 1,1 m<sup>3</sup>/s é aproveitado para irrigação de áreas verdes e conservação do nível dos lagos.

## 3 — PROGRAMA ATUAL DE DRENAGEM

Está prevista e está em andamento a execução de obras que requerem

grandes recursos e cerca de três anos para seu término, o que torna conveniente induzir a expansão urbana de modo compatível com o programa de drenagem que visa estabelecer um sistema efetivo de combate às inundações no DF.

Estima-se, para o DF, para 1982 e o ano 2000, população de 10,5 milhões e 17,2 milhões de habitantes, respectivamente, e uma área urbanizada de cerca de 540 km<sup>2</sup> no ano 2000; e o sistema atual evita inundações catastróficas apenas.

São estas as obras previstas:

— continuação das obras do interceptor central, facilitando a drenagem do centro da cidade;

— continuação das obras do interceptor oriente para captação das águas do canal nacional, estendendo a benefícios até Cochimilco;

— construção do interceptor centro-poente para aliviar o interceptor poente, dando, ao mesmo tempo, maior flexibilidade operacional ao sistema;

— construção do interceptor oriente-sul para drenar grandes áreas do sul e do oriente, descarregando suas águas no interceptor oriente;

— construção do interceptor centro-centro, entre os interceptores central e do oriente para aumentar a eficiência do sistema de drenagem profunda.

O interceptor centro-poente deverá estar concluído em 1982 e os demais, em 1986.

Complementarmente a essas obras, são previstas a construção de um coletor, em substituição aos primeiros 9 km do "Gran Canal del Desague" e de uma estação elevatória em seu trecho final para captar, por gravidade, as contribuições de todos os coletores que descarregam, por meio de bombeamento, no "Gran Canal", e permitir a execução de serviços de manutenção no sistema de drenagem profunda, prevista para as épocas de estiagem.

As zonas Sul e Oriente são prioritárias, em termos de execução das obras, por terem somente possibilidade de drenagem através de bombeamento.

Quanto ao tratamento e reuso de águas residuais, há um programa em andamento de recuperação das estações existentes, permitindo aumentar o fornecimento de águas tratadas para irrigação de áreas verdes e enchimento de lagos recreativos até 1982.

Há possibilidade de no futuro usar-se o efluente tratado em outras aplicações que não necessitem de água

potável, devido, principalmente, aos altos custos de importação de água de outras bacias.

Um último aspecto a ser considerado é o que diz respeito à preservação e controle das águas.

A qualidade das águas superficial e subterrânea tem-se deteriorado continuamente por descargas sem tratamento. Para os anos de 1982 e 2000 serão necessários 47,7 m<sup>3</sup>/s e 71 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, de água potável, o que obrigará importar água de outras bacias a custos elevados.

A vista disso, estuda-se a possibilidade de, servindo-se das obras a de controle de enchentes para escoamentos torrenciais da zona oeste da cidade, prover um sistema de infiltração dessas águas no subsolo por meio de poços, devido à formação geológica da bacia. Ao sul desta têm-se rochas ígneas altamente fraturadas e com capacidade de infiltrar a totalidade das águas pluviais, apresentando, todavia, casos de contaminação do aquífero por infiltração de águas negras. Isto tem motivado a necessidade imperiosa de se proceder ao saneamento das bacias, de modo que a carga natural, ou seu incremento por meio artificial, se faça com água livre de contaminação.

## 4 — PARÂMETROS DE PROJETO

Os dados principais fornecidos se referem ao sistema profundo de drenagem, particularmente aos interceptores Central e Oriente e ao emissário central.

O sistema de drenagem da cidade do México é unitário e as contribuições, devido aos esgotos sanitários e às águas pluviais, foram determinadas com base nos parâmetros e dados abaixo indicados:

— águas negras:

contribuições, para cada interceptor calculadas a partir de suas áreas tributárias e do crescimento e distribuição prováveis da população, considerando:

- densidade demográfica média  
: 200 habitantes/ha
- contribuição média, com taxa de retorno de 80% em relação ao suprimento de água  
: 290 l/habitante/dia
- coeficiente do dia de máximo consumo  
: 2

Como resultado, obteve-se uma vazão total de 47 m<sup>3</sup>/s para o emissário central.

— águas pluviais:

contribuições, para os diferentes trechos dos interceptores, determinados pela Fórmula Racional, considerando uma chuva com duração de uma hora em toda a área tributária e intensidade de 41 mm/h, correspondente à frequência de cinco anos; coeficiente C, entre 0,39 e 0,50 segundo a variação de usos do solo em cada área.

Os escoamentos dentro dos coletores foram integrados pelo Método Gráfico Alemão, obtendo-se assim, para cada trecho, uma vazão de projeto. Com estas se integraram os hidrogramas dos interceptores e do emissário, obtendo-se, para este, uma vazão de 107 m<sup>3</sup>/s.

Assim, resultou para o emissário uma vazão de 154 m<sup>3</sup>/s.

Outros métodos utilizados e seus resultados:

- Hidrograma unitário  
Vazão máxima: 200 m<sup>3</sup>/s  
Duração do hidrograma: 45 horas
- Métodos estatísticos, para uma frequência de mil anos  
Vazão de pico: 200 m<sup>3</sup>/s  
Duração do hidrograma: 32 horas.

Decidiu-se adotar uma vazão de pico de 200 m<sup>3</sup>/s e 45 h como base do

hidrograma, para o projeto do emissário central.

Uma série de análise dos estudos hidrológicos e hidráulicos foi completada por estudos em modelos hidráulicos, como os realizados para o emissário central e sua descarga, para a descarga do coletor 15 no interceptor central e para obras de desvios diversos, todos eles a cargo do Instituto de Engenharia da Universidade Nacional Autônoma do México.

Da consideração dos hidrogramas e vazões de picos para diferentes seções dos interceptores Central e Oriente, resultaram para estes dois trechos de diâmetro diferente.

Foram utilizados os resultados dos estudos hidrológicos com base na Fórmula Racional e no Método Gráfico Alemão e aplicados à fórmula de Hazen-Williams:

$$Q = 0,27851 C. d^{2,63} j^{0,54}$$

com C = 160 (tubos grandes de concreto liso) para calcular a vazão máxima e a fórmula de Manning com n = 0,010, para vazões máximas ou mínimas, além de outras.

Para o dimensionamento do emissário central foi calculada a passagem

da enchente, para considerar o efeito regulador do túnel, através do mesmo, por meio de programa para a calculadora IBM 709 que resolve as equações para fluxo variado por incrementos finitos mediante o método das características.

Do cálculo para vários diâmetros, obteve-se o diâmetro mínimo necessário para dar escoamento livre a enchente de projeto.

Notou-se, todavia, que pela forma do hidrograma, a regularização é mínima e que o túnel deveria ser projetado para dar escoamento a uma vazão constante de 200 m<sup>3</sup>/s.

A capacidade máxima para o túnel de 6,5 m de diâmetro, em escoamento livre, foi calculada por diversas fórmulas, sendo estes os resultados:

Fórmula	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
Hazen-Williams	232
Manning	223
Chezy-Colebrook	215
Kozeny	206
Weisbach-Moody	200

## 5 — ASPECTOS CONSTRUTIVOS E PROTEÇÃO DE CANAIS FECHADOS

### Revestimentos no Sistema de Drenagem

Os túneis foram revestidos com concreto, sendo o interceptor central com concreto armado e o emissário, com exceção de trechos pequenos e da zona do túnel escavado, em materiais expansivos, com concreto simples.

O concreto para o revestimento dos túneis deve ter, do ponto de vista hidráulico, superfície lisa e, por estar em contato com águas negras, resistência melhorada, face ao ataque de sulfatos e proteção contra gases agressivos.

Para obtenção de superfície lisa, ensaiam-se misturas diversas para proporcionar os componentes em função da resistência de projeto, do tamanho máximo do agregado grosso, da finura da areia, do revestimento previsto e do processo de lançamento, ajustando-se as necessidades de água e a relação areia/pedra, de modo a se obter a fluidez desejada.

Pelos resultados obtidos, utiliza-se, basicamente, agregado grosso, obtido por trituração, com incremento nas proporções de areia e cimento, sendo, o tamanho máximo do agregado grosso, limitado a 38 mm.

Para proteção do concreto contra o ataque dos sulfatos dos esgotos, utiliza-se o cimento Portland tipo V, com baixo teor de aluminato tricálcico, na

### Características dos Interceptores e Emissário

#### ● Interceptor central (túnel)

extensão	: 25 km
diâmetros	: 4 m (11,85 km) 5 m (13,00 km)
declividade	: 0,0005 m/m
vazão de pico (Ø = 5 m)	: 90 m <sup>3</sup> /s
velocidade máx. (Ø = 5 m)	: 4,6 m/s
área drenada	: 11.217 habitantes
profundidade média	: 30 m

#### ● Interceptor oriente (túnel)

extensão	: 27 km
diâmetros	: 4 m (10,73 km) e 5 m (16,02 km)
declividades	: 0,0007 (Ø 4 m) 0,0005 (Ø 5 m)
vazão de pico (Ø = 5 m)	: 110 m <sup>3</sup> /s
velocidade máx. (Ø = 5 m)	: 5,6 m <sup>3</sup> /s
área drenada	: 20.346 habitantes
profundidade média	: 30 m

#### ● Emissário central (túnel)

extensão	: 50 km
diâmetros	: 6,5 m
declividade	: 0,00195 m/m
vazão de pico	: 200 m <sup>3</sup> /s
velocidade máxima	: 6 m/s
profundidade média	: 120 m
profundidade máxima	: 220 m

preparação do concreto que fica em contato com os esgotos: sabe-se que os aluminatos cálcicos — que determinam as características do cimento — são mais susceptíveis ao ataque dos sulfatos presentes nos solos e nas águas negras: a reação entre aluminato e sulfatos produz cristais de sulfoaluminato cálcico, com aumento de volume, causando a desintegração progressiva do concreto.

Para a proteção do concreto contra a ação de outros compostos, produtos da decomposição da matéria orgânica dos esgotos e que atuam como gases corrosivos (ácido sulfúrico e anidrido carbono), prevê-se ventilação natural através dos poços de acesso, "lumbreras", para o afastamento contínuo dos gases, o que se considera como sendo a melhor medida preventiva para o caso.

#### Proteção dos trechos canalizados

A proteção principal existente é contra transbordamento dos canais, mediante a construção de represas, a montante da cidade, e de reservatório de tormenta, bacias de detenção, para controle das enchentes.

As represas são dotadas de descarregadores de fundo e/ou vertedores, sendo estes dotados de grades grossas de limpeza manual.

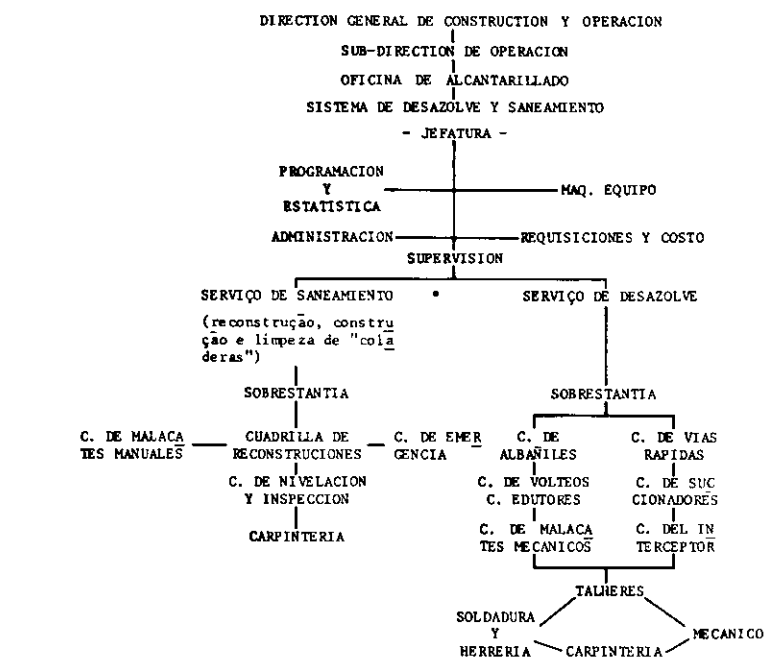
Estas grades dão proteção, no sentido de evitar que, materiais flutuantes de certo porte, sejam carregados para os canais e venham a perturbar o escoamento das águas, provocando remansos e sobrecarregando os serviços de limpeza.

#### 6 — ASPECTOS OPERACIONAIS E DE MANUTENÇÃO

A preocupação atual é a de se reabilitar equipamentos e instalações, de modo sistemático e, desenvolver as primeiras etapas de um programa de sistematização de operação, incluindo a alteração de algumas partes do sistema.

Estão em andamento:

- atividades de atualização e treinamento de profissionais e técnicos para se obter uma melhoria na operação do sistema de drenagem;
- preparação de normas, especificações e regulamentos das atividades internas e de assuntos a cargo das "Delegações", órgãos públicos e particulares;
- avaliação de novas técnicas, materiais e equipamentos que concorram para melhorar as condições operacionais do sistema;
- campanhas de conscientização do usuário, em coordenação com a Secretaria de Agricultura e Recursos Hidráulicos e o Conselho Nacional de Publicidade.



Os serviços de desobstrução e manutenção do sistema de drenagem são executados por 16 "delegaciones", cada uma tendo seus equipamentos, que, atualmente, são insuficientes para atender, de maneira satisfatória, às necessidades resultantes da existência de:

- 500 mil sumidouros ("coladeras");
- 11.500 km de rede secundária;
- 1.050 km de coletores;
- 250 mil poços de visitas;
- 43 poços de absorção de águas pluviais e
- 13 tanques de tormenta.

Devido a isto, a limpeza das tubulações da rede secundária (diâmetro de 15 cm a 45 cm) e dos coletores é programada em função dos problemas detectados ao longo dos anos.

O esquema estrutural para tais serviços é o que aparece acima:

Os serviços de manutenção utilizam cerca de 400 trabalhadores em época normal e, mais 200, em época de chuvas; os serviços de desobstrução, cerca de 850 trabalhadores, e estes e mais 400 outros, respectivamente, em épocas normais e de chuvas.

Há um sistema eficiente de radiocomunicação dos escritórios das "delegaciones", e das unidades móveis entre si e o escritório central de operação, de modo que, em situação de emergência, todo o pessoal necessário é mobilizado em poucos minutos.

Devido aos problemas ainda existentes, esse sistema é vital para o sucesso das operações nessas situações.

#### 7 — CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cidade do México tem seus problemas de drenagem, em parte, coincidentes com o afundamento do solo.

Dada a importância dessa capital, nos contextos internos e externos a seu país, obras vultosas foram projetadas, estando atualmente em fase adiantada ou final de execução.

O sistema profundo de drenagem da capital mexicana, associado aos sistemas normais de drenagem e aos reservatórios de tormentas, e o mecanismo e a responsabilidade, envolvendo consultas amplas e decisões esclarecidas para a elaboração e execução de obras de proteção contra enchentes a cargo do "Greater London Council", são exemplos de soluções e atitudes aplicáveis a cidades grandes e regiões metropolitanas densamente urbanizadas, como, particularmente, a Capital paulista e a Região Metropolitana de São Paulo.

É gratificante notar que as obras de canalização do rio Tietê, ora em andamento no trecho a montante de São Paulo, incluem o aproveitamento de áreas do próprio vale do rio para condução e armazenamento temporário das águas que excedem a capacidade do canal principal, ou seja, o **flood plains** dos ingleses.

Interessa notar também que, a solução mexicana com seu sistema profundo de drenagem e reservatórios de tormenta pode sugerir uma solução, embora vultosa, para as dificuldades de ampliação futura da calha do Tietê no trecho entre as barragens de Edgard de Souza e as da Penha (em obras), dada a dificuldade de se obter espaço físico para essa ampliação, sem afetar as obras de infra-estrutura existentes.