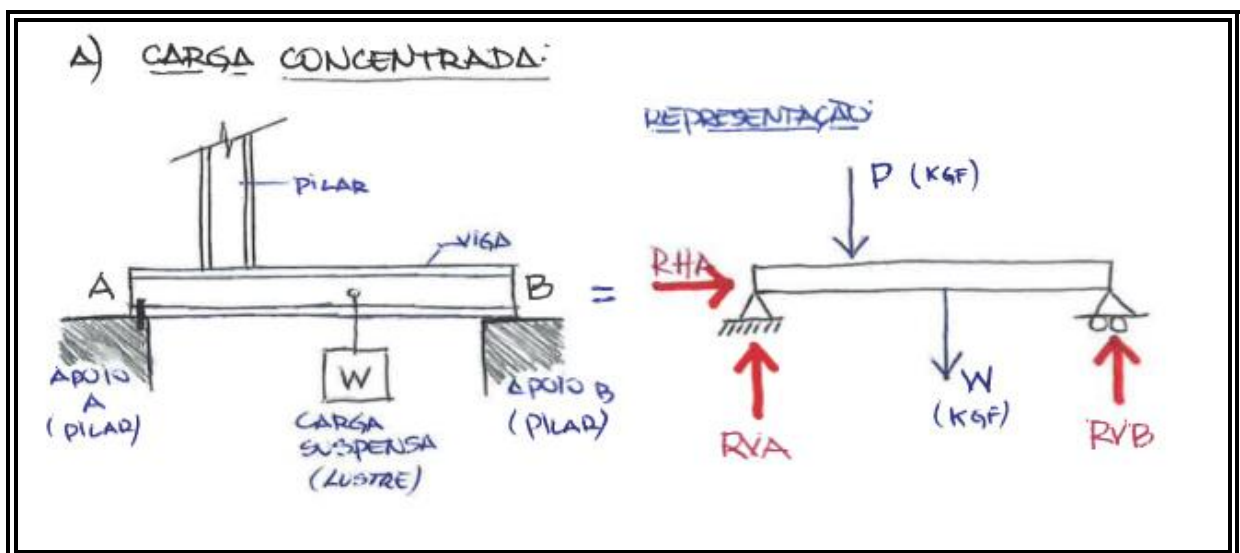


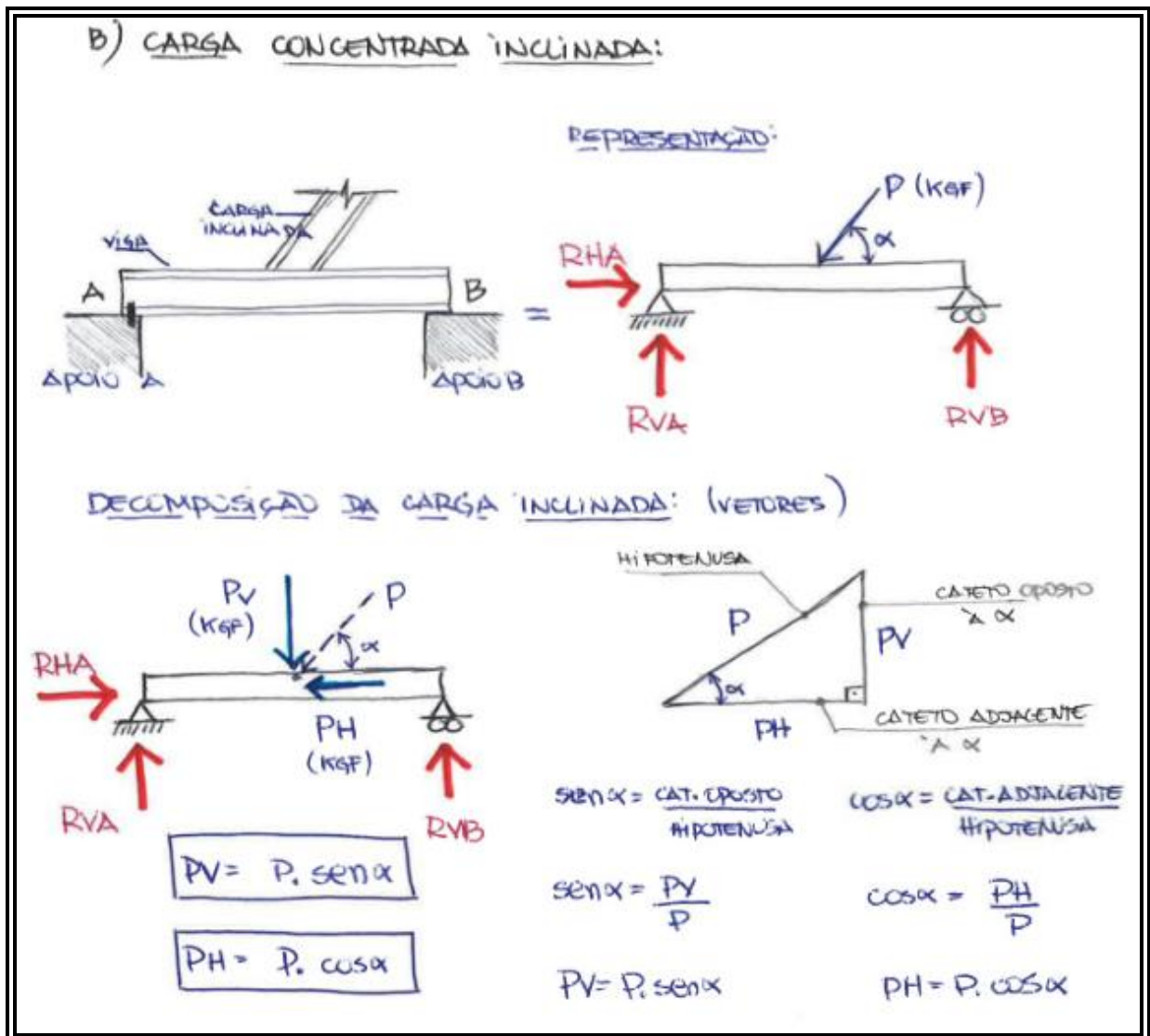
Título:	Reservatórios - Conceitos e Premissas Estruturais
Objetivo:	Discussão de alternativas, de método construtivo, materiais de construção e tipo estrutural.
Palavras-chave:	Reservatórios, Classificação Estrutural, Processo Executivo, Conceituação Estrutural.

1.) PROJETO ESTRUTURAL

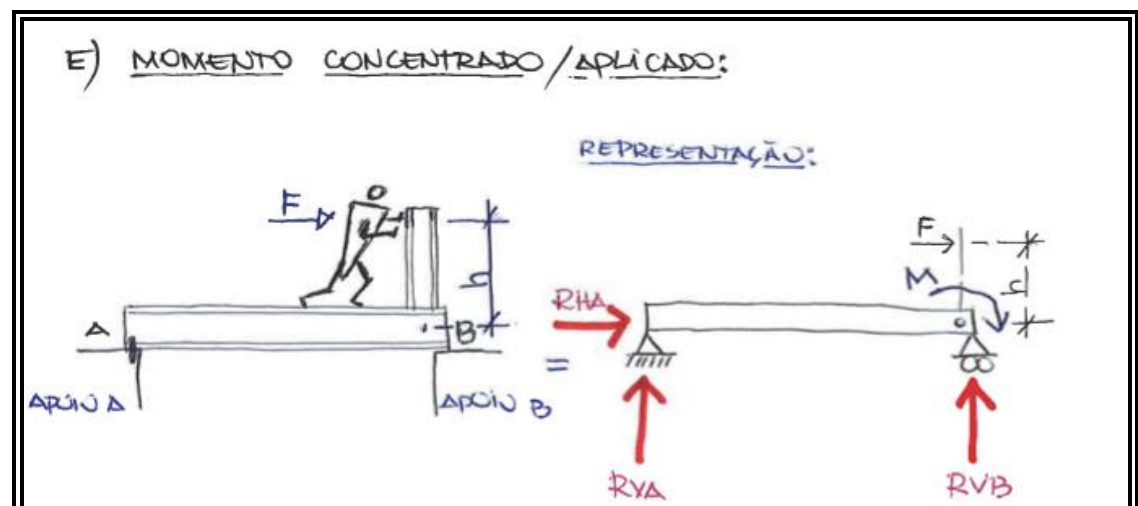
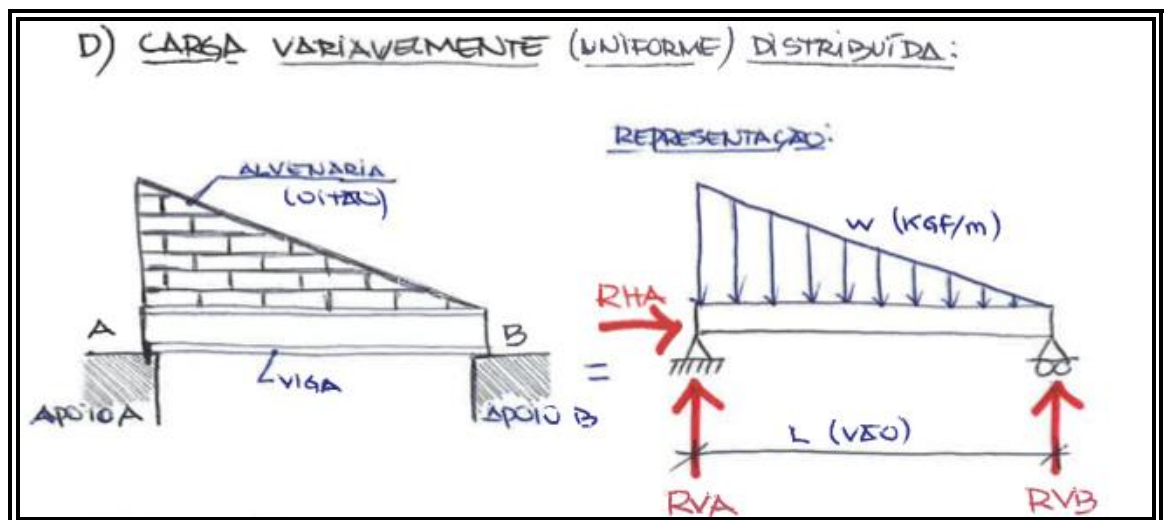
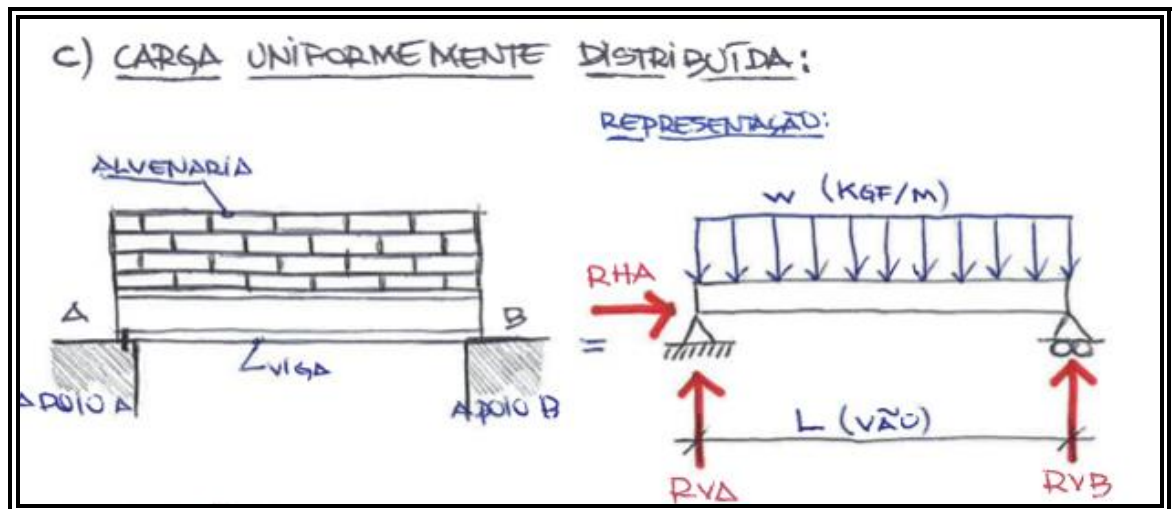
O projeto estrutural não analisa a estrutura real, mas uma versão idealizada que constitui o modelo mecânico. O modelo mecânico engloba todas as idealizações adotadas e representa um modelo “discreto” das possíveis de relações matemáticas e físicas importantes que abrangem o fenômeno físico em estudo.



O sistema estrutural idealizado é apenas um substituto do sistema real, e como tal, inclui aproximações. É imprescindível a habilidade, experiência e conhecimentos suficientes para que o modelo seja capaz de representar, de forma satisfatória, o sistema físico real e de produzir resultados cujo nível de aproximação seja conhecido. .



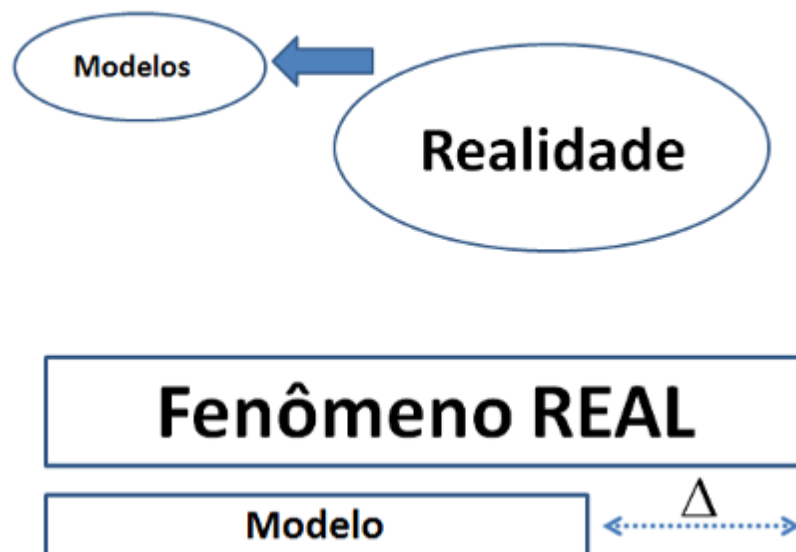
Para uma tomada de decisão analítica é adequado estabelecer modelos que representam uma simplificação ou abstração da realidade, uma vez que esta é muito complexa para ser copiada com exatidão.



É possível observar que, em primeiro lugar, antes de iniciar o processo de modelagem (que é um processo análogo a todo estudo analítico), é necessário ter algum entendimento sobre a fenômeno ou evento a ser modelado. Uma vez que isso é compreendido, é também importante para o problema em particular usar os dados

apropriados. Depois disso, é crucial saber como utilizar o modelo a ser aplicado para a criação do cenário do problema. E finalmente, também é relevante saber como interpretar os resultados.

Isso é relevante mencionar, ainda segundo Tavares (2009), porque até para um modelo preciso, ele nunca irá representar 100% da realidade sempre será um modelo, vide Figura.



É possível observar, pela Figura, que a diferença entre o verdadeiro fenômeno (a partir de realidade) e o modelo é o erro (Δ), uma vez que um modelo é uma tentativa de representar o mundo “real” (ou realidade). O erro sempre existirá, por que não existe modelo perfeito; e desta forma gera-se incertezas do modelo e ainda da própria imprevisibilidade do futuro. Contudo pode-se minimizar as incertezas através da compreensão do que se está modelando e do modelo que está sendo usado. Conhecendo o comportamento de cada uma das partes da estrutura a ser projetada e assumindo a majoração de Cargas e Minoração de resistências, premissa assumida pelo Estado Limite Ultimo (E.L.U)

Conhecendo, ainda, o comportamento de cada uma das partes da estrutura a ser projetada, o arranjo estrutural consiste na decomposição, em partes, da estrutura de uma construção, analisando-se cada uma delas separadamente, como se não pertencessem a um todo integrado. Essa separação é justificada pela

hipótese de que os esforços assim determinados não diferem apreciavelmente dos esforços reais que atuam na estrutura integrada.

Essa decomposição reduz a estrutura a um conjunto de elementos estruturais (barras, folhas e blocos) suficientemente simples; cada um dos elementos estruturais considerados pode ser assimilado a um dos modelos estruturais esquemáticos (vigas, pilares, lajes, paredes, blocos etc.), estudados pela Teoria das Estruturas.

Segundo FUSCO (1974), a validade da hipótese acima somente será confirmada, se o projetista considerar corretamente a vinculação real existente entre os diferentes elementos estruturais, que devem ser analisados em separado. A idealização do comportamento estrutural de cada um dos elementos estruturais pode então ser feita, de modo a se respeitar o comportamento global da estrutura.

Além disso, para que o comportamento do conjunto possa ser estudado através da análise de suas partes em separado, é necessário que se faça a superposição dos efeitos. Nessas condições, a síntese estrutural é feita pela simples superposição dos esforços determinados em cada um dos elementos estruturais isolados. A estrutura retoma o seu caráter tridimensional, pela mera justaposição dos elementos estruturais considerados em sua análise.

2.) GENELARIDADES E DEFINIÇÕES

Por reservatórios, do ponto de vista conceitual estrutural, serão todas as estruturas que tenham a função de armazenar líquido. Sem nenhum prejuízo a essa definição, dada a relevância e predominâncias, serão aqui tratados como “Reservatórios de Água”.

Os tipos de reservatórios existentes podem ser definidos de acordo com o posicionamento em relação a um plano de referência. Este plano de referência é o plano horizontal do terreno, ou seja, o solo onde a estrutura é apoiada. De partida podemos elencar dois grandes grupos, que segregam os tipos de Reservatório de acordo com a posição da distribuição de carga, são eles:

- **Reservatórios Térreo ou Enterrados**, que descarregam as cargas da água (ou qualquer outro fluido) armazenada e o peso próprio diretamente ao solo (caso este possua compatível capacidade de carga) ou para elementos de fundações; Figura 3 (a e b)
- **Reservatórios Elevados**, que utilizam elementos estruturais, ou toda uma estrutura para descarregar as cargas à fundação. Figura 3 (c, d, e)

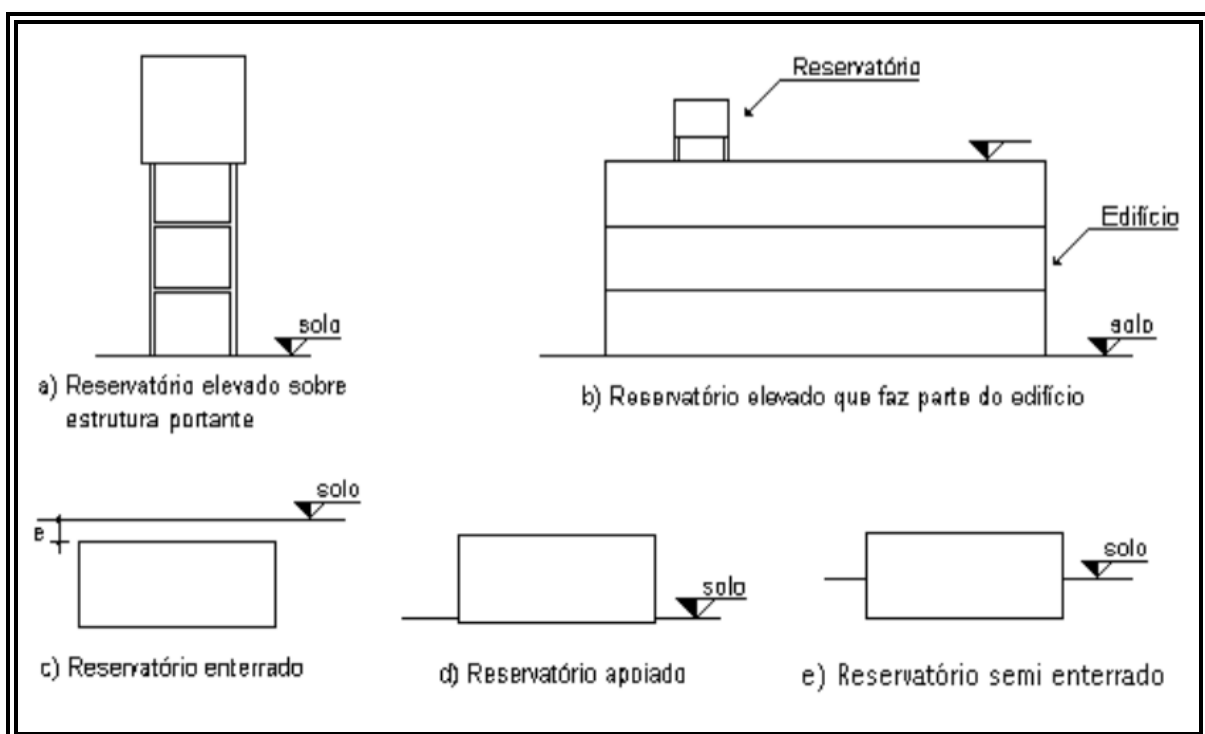


Figura: Tipos mais comuns de reservatórios

- **CUBA**.....Parte formada por elementos estruturais de superfície com a finalidade principal de armazenar água.
- **FUNDAÇÕES**.....Elementos estruturais em contato com o solo, com o objetivo de obter deste as reações necessárias ao equilíbrio de toda a estrutura, e geralmente podem ser:

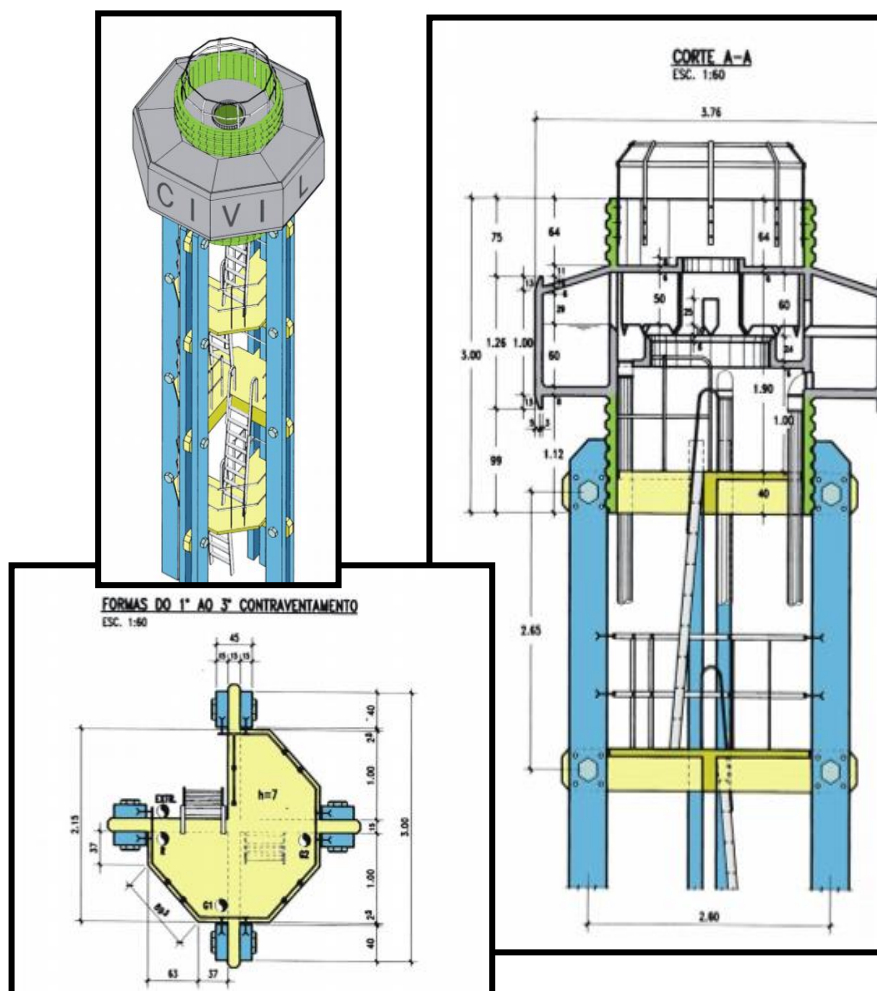
DIRETAS – RASAS: Quando o solo da superfície, reúne condições geotécnicas, segundo princípios de mecânica dos solos, para receber as reações;

INDIRETAS PROFUNDAS E TUBULÕES: Quando o solo superficialmente não fornece condições para receber as reações;

- TORRE..... Parte estrutural projetada com a finalidade principal de transferir as cargas das cubas e as forças de vento para as fundações. Só existem nos reservatórios elevados e são de dois tipos:

com PILARES: Composta por pilares contra ventados com vigas;

com FUSTE: Composta por paredes maciças de concreto armado, eventualmente com seção vazada, ou fechada



Ainda, do ponto de vista construtivo, esta classificação pode ser melhor descrita:

1.) Quanto a posição da Cuba em Relação ao Solo:

a) Reservatórios elevados

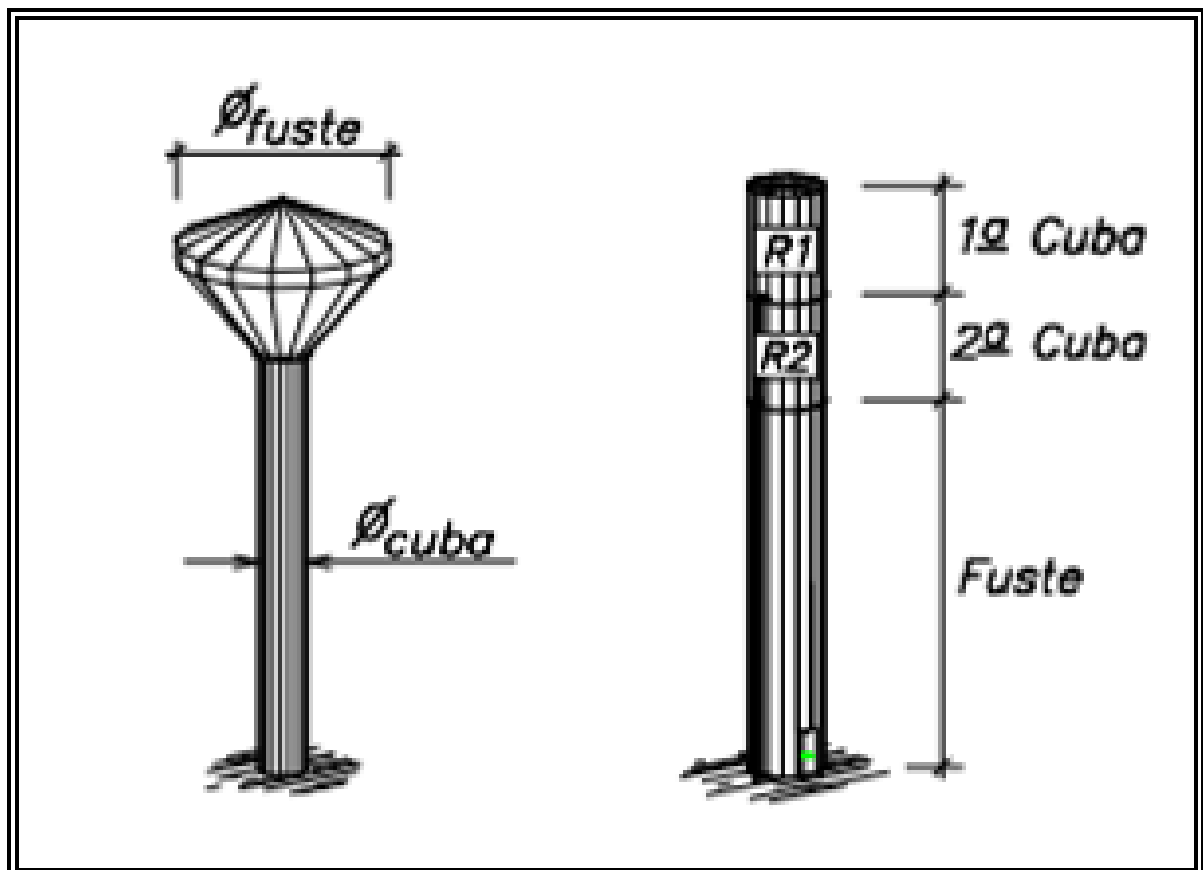
- Torres com fuste

Reservatórios grandes e médios

$$\phi_{\text{fuste}} < \phi_{\text{cuba}}$$

Reservatórios médios e pequenos

$$\phi_{\text{fuste}} = \phi_{\text{cuba}}$$



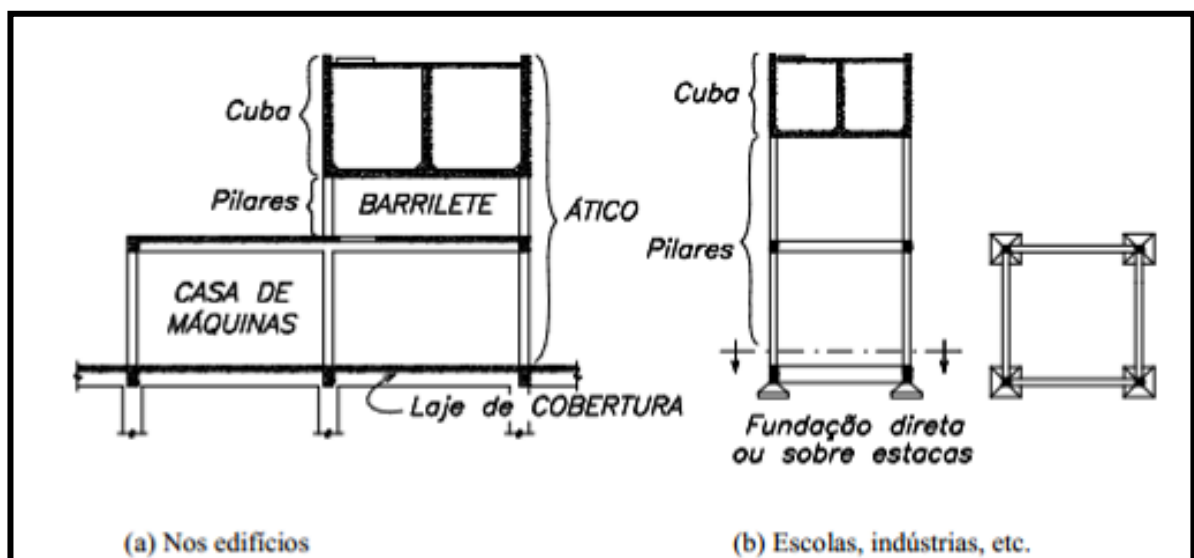
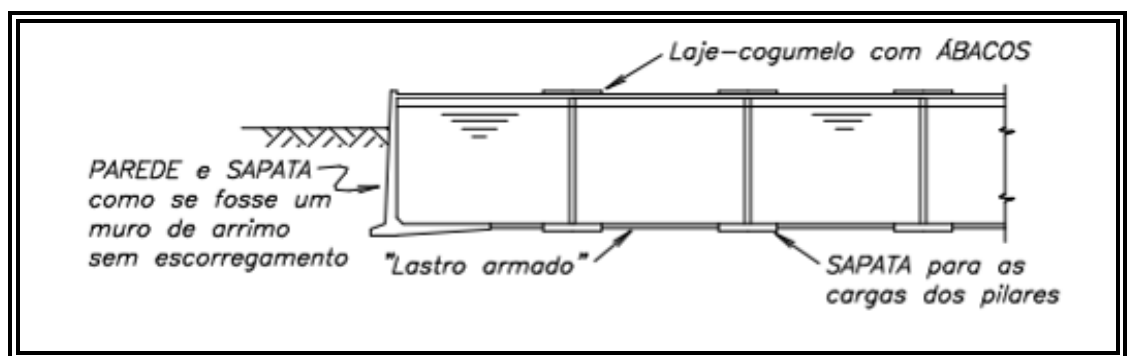
- Torres com pilares: Reservatórios pequenos (escolas, indústrias, residências e edifícios);

b) Reservatórios térreos

Fundação sobre estacas: Piscinas, reservatórios médios e grandes de abastecimento de cidade, quando o solo é ruim para fundação direta.

Obs.: A solução para a laje do fundo é obrigatoriamente em laje-cogumelo!

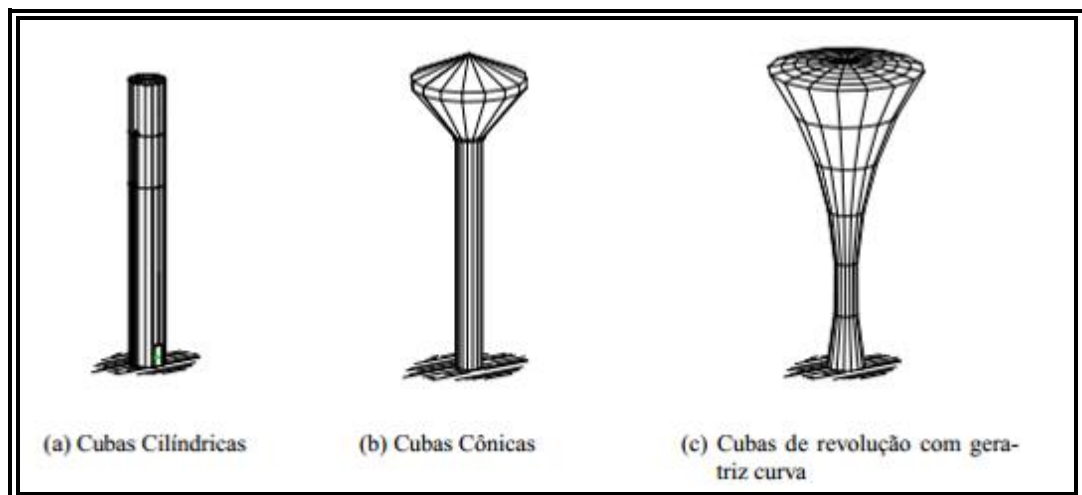
Fundação direta (é a mais econômica) **REGRA:** “Só projetar em fundação direta quando o solo for próprio para este tipo de fundação.”



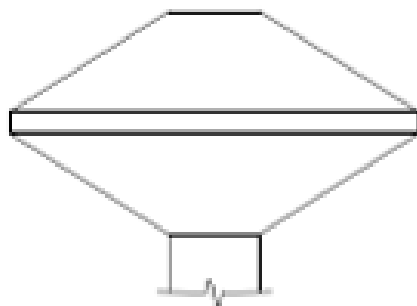
2.) Quanto à forma das superfícies média das cubas:

Esta classificação é importante do ponto de vista estrutural porque separa os reservatórios em três grupos bem diferentes quanto aos aspectos estruturais e construtivos, ou seja, o grupo das CASCAS, que apresenta um grau maior de dificuldade na execução dos projetos e das estruturas, o grupo dos PIRAMIDAIS, com dificuldade apenas de projeto, e o grupo dos PRISMÁTICOS, que em geral não apresentam maiores dificuldades nestes aspectos.

a) *Reservatórios em cascas* (superfícies médias curvas):



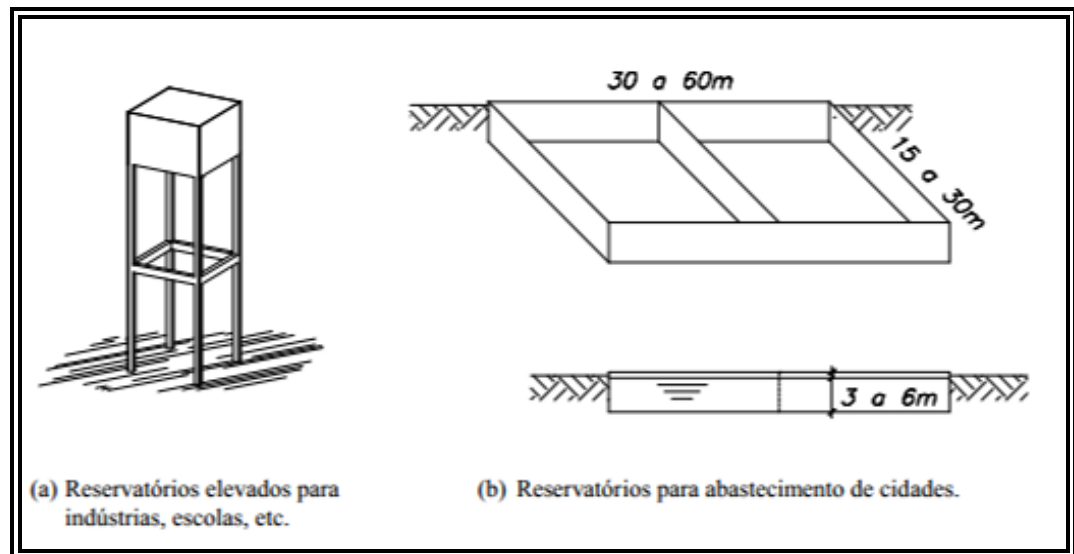
b) *Reservatórios piramidais* (superfícies médias planas, em forma de troncos de pirâmides, eventualmente com pequenos trechos prismáticos):



· Cubas tronco-piramidais

c) *Reservatórios prismáticos ou paralelepípicos* (superfícies médias planas, em forma de prismas retos), são projetados com seção triangular,

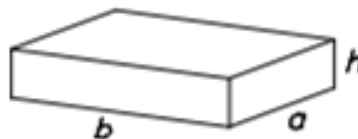
hexagonal, octogonal e, com muito mais frequência, com seção retangular.



Formam a grande maioria dos reservatórios térreos e até dos pequenos reservatórios elevados, dessa forma nesta classificação serão complementados conceitos relevantes para seu dimensionamento.

- Cubas achatadas: são aquelas onde a altura é muito menor do que os outros dois lados, ou seja,

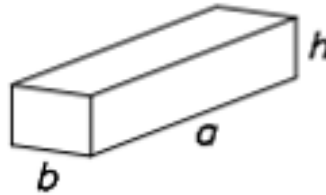
$$h \ll a \text{ e } b$$



Ocorrência: A quase totalidade dos grandes reservatórios térreos e das piscinas, etc.

- Cubas alongadas: são aquelas onde o comprimento é bem maior do que a largura e a altura, ou seja,

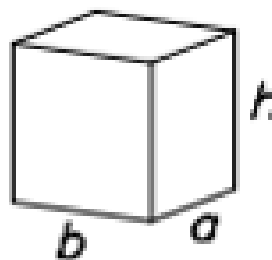
$$a \gg b \text{ e } h$$



Ocorrência: Reservatórios especiais para captação de água, tanque, canais etc.

- Cubas cúbicas: são aquelas onde os dois lados e a altura são da mesma ordem de grandeza, ou seja,

$$a \sim b \sim h$$

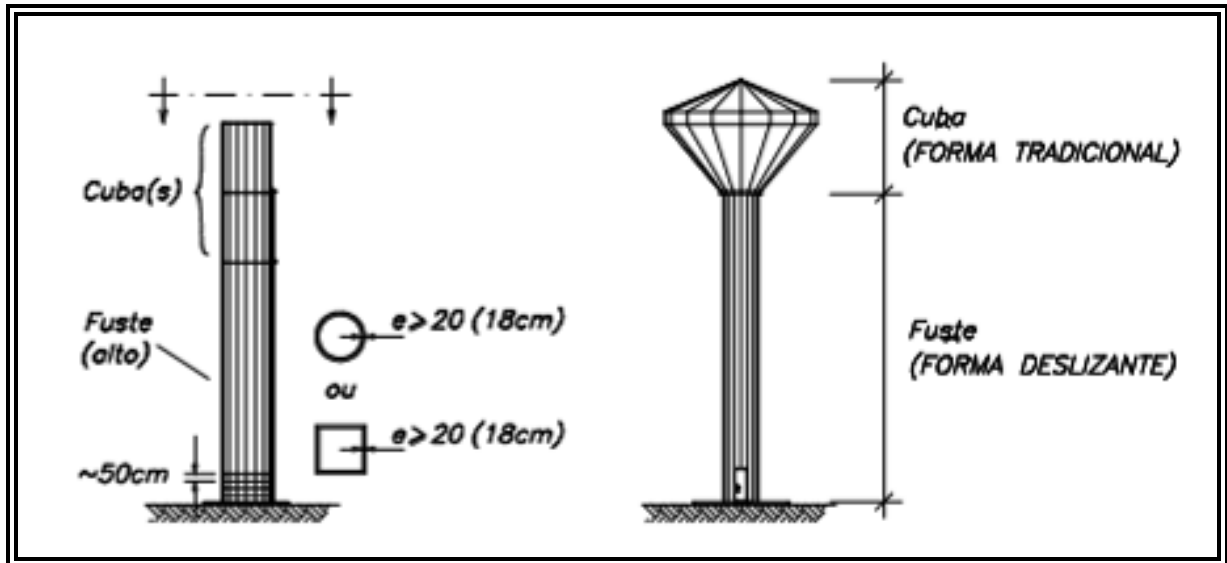


Ocorrência: Reservatórios térreos dos edifícios, pequenos reservatórios elevados de indústrias, escolas, residência, etc.

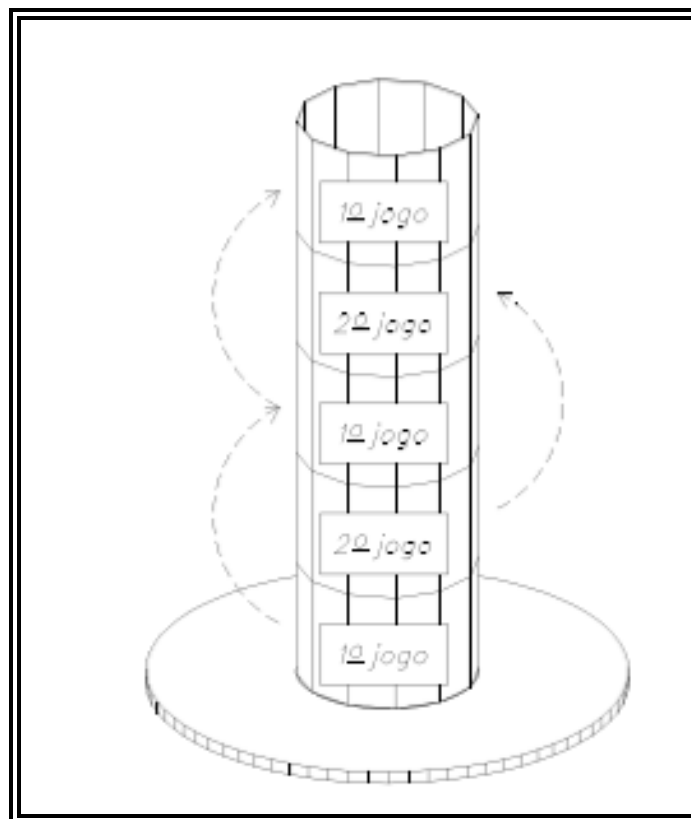
3.) Quanto ao processo construtivo

a) Moldados in loco

- *Com fôrmas tradicionais*
- *Com fôrmas deslizantes*



- Com fôrmas trepantes



São usados dois jogos de fôrmas especiais de até 2 metros de altura (Folha de Laminados Plastificado com reforço metalico nas bordas para fixação com parafusos). Os jogos alternam-se na concretagem: enquanto a segunda concretagem tem sua cura, desforma-se o primeiro trecho concretado, posicionando

esse jogo de fôrmas sobre o segundo trecho concretado, concretando-se em seguida um terceiro trecho do fuste. E assim sucessivamente.

b) Pós-elevados

1º Processo: Com içamento da cuba

Primeiro o fuste é executado com fôrmas deslizantes e depois a cuba é feita em torno do fuste, no chão, pelo processo tradicional. Finalmente a cuba é içada por macacos hidráulicos posicionados no topo do fuste, até a posição prevista no projeto e aí fixada ao fuste por concretagens de trechos com chumbadores comuns a ambas as partes.

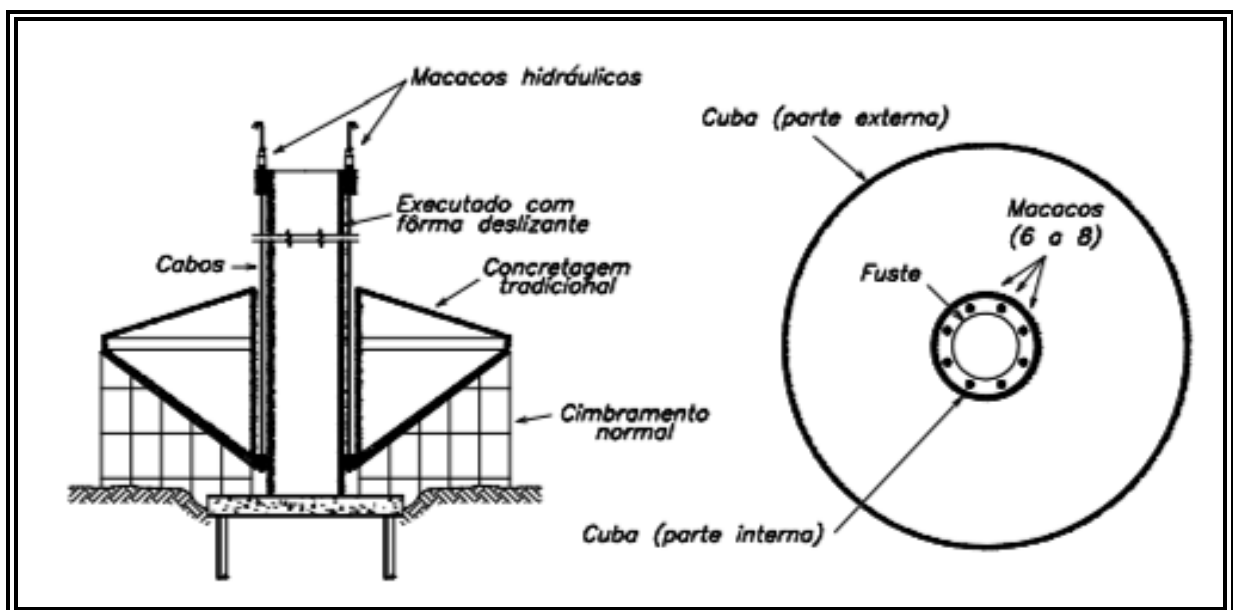
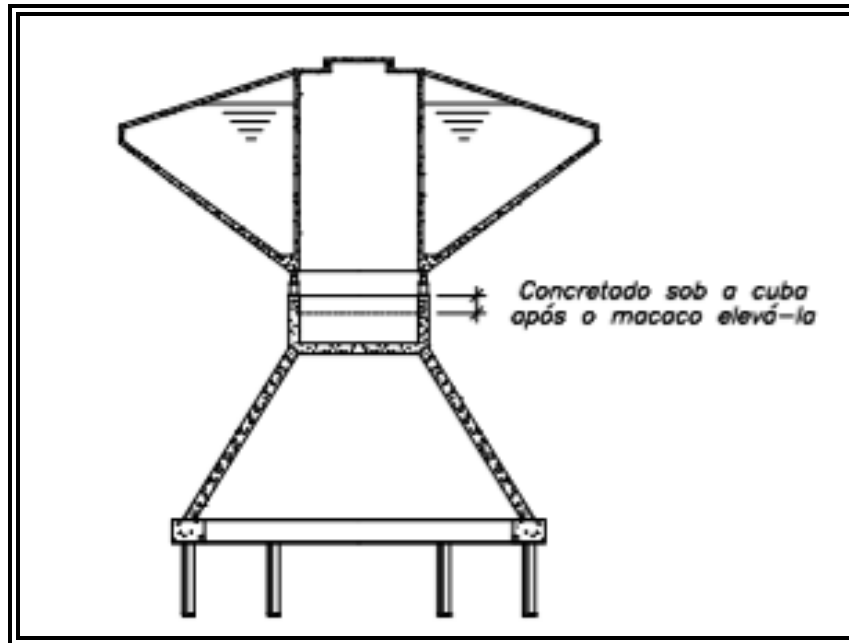


Ilustração do início da suspensão via macacos hidráulicos, posicionados no topo do Fuste, da cuba executada no chão, com uso de fôrmas tradicionais.

2º Processo: Com execução do fuste por trechos, sob a cuba.

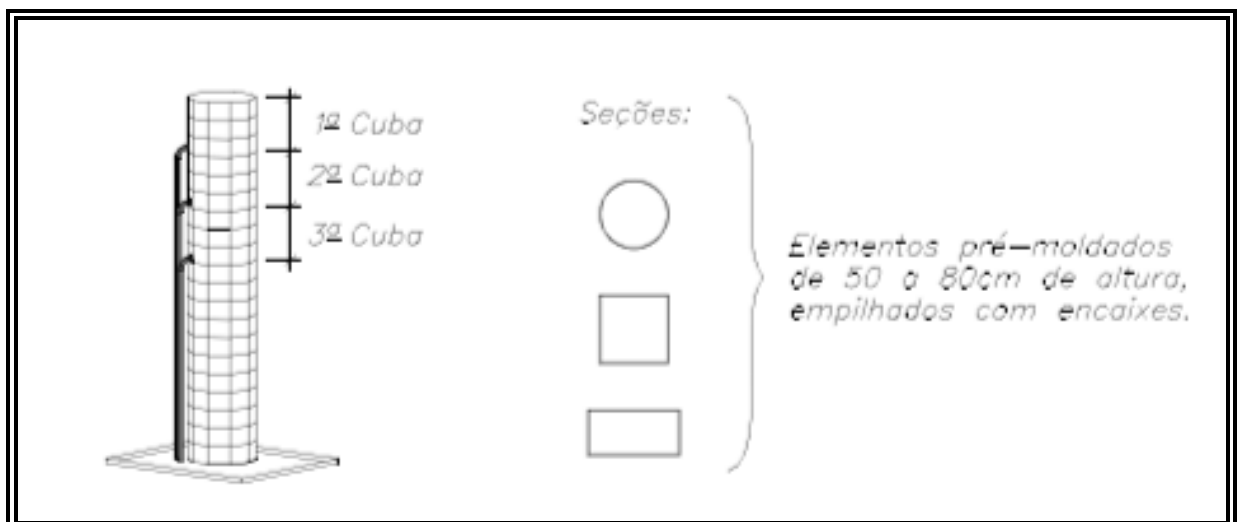
A cuba é feita no chão (concretagem tradicional). O fuste é executado sob a cuba que por sua vez é levantada com macacos apoiados no fuste já endurecido.



d) Pré-moldados

É mais comum a ocorrência desse sistema nos reservatórios elevados, pequenos e médios.

1º Processo: Fuste e cuba com anéis pré-fabricados e superpostos



4.) Quanto ao volume de água armazenada

Esta classificação pode parecer não ter muita importância para os projetos estruturais. Entretanto, são bons indicadores de tipos de reservatórios bem como das dificuldades que se pode ter com os seus respectivos projetos estruturais.

Para os elevados

pequenos..... $V < 50\text{m}^3$

médios..... $50\text{m}^3 \leq V < 500\text{m}^3$

grandes..... $V \geq 500\text{m}^3$

Para os térreos

pequenos..... $V < 500\text{m}^3$

médios..... $500\text{m}^3 \leq V < 5000\text{m}^3$

grandes..... $V \geq 5000\text{m}^3$

3.) **CONSIDERAÇÕES E PREMISSAS RELEVANTES**

Os problemas de projetos dos reservatórios elevados e enterrados são análogos, mas os detalhes dos reservatórios superiores são frequentemente sujeitos a restrições mais exigentes.

Uma vez definido o volume de água a ser reservado no reservatório superior e considerando a folga necessária para instalação de boias e da tubulação de descarga de segurança, determinam-se as dimensões do reservatório, limitando-se usualmente sua altura a cerca de 2 metros a 2,5 metros, conforme figura 4.a:

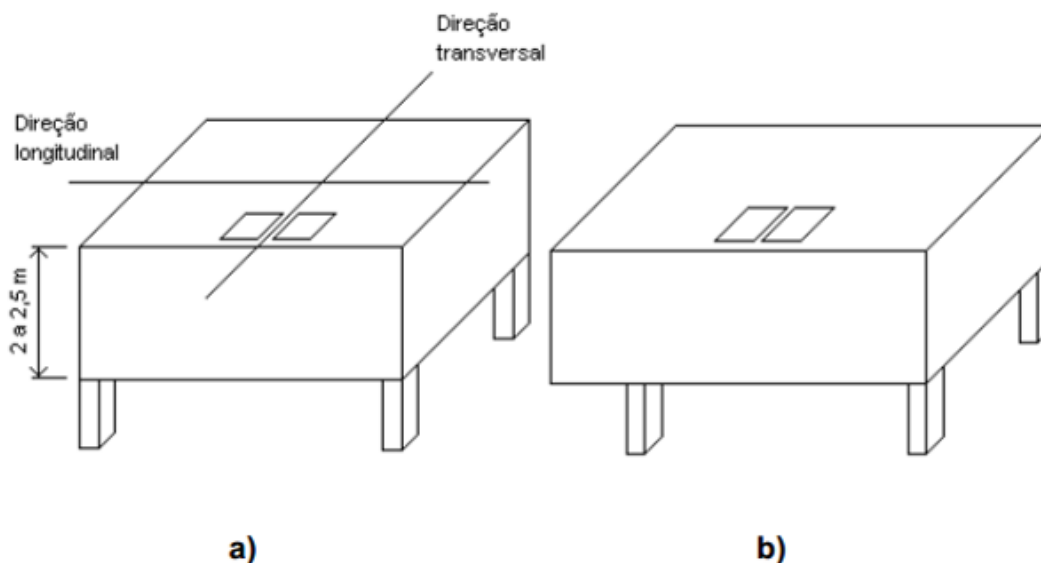


Figura : Arranjo dos reservatórios elevados

Não convém passar muito dessa altura para evitar lajes com esforços exagerados, mesmo que isto obrigue a arranjos em que parte do reservatório fique em balanço em relação aos pilares, como se mostra na figura acima, item.b.

As dimensões usuais das peças dos reservatórios d'água estão mostrados na figura 5. Onde h_1 , h_2 e h_3 são as espessuras das paredes dos reservatórios (figura.a), laje de fundo e laje de tampa (figura .c), respectivamente. As mísulas que estão nas arestas das paredes dos reservatórios são mostradas no corte horizontal (figura.e) e as dimensões estão no detalhamento da parede intermediária do reservatório (figura .f); as mísulas que estão nas arestas das paredes do reservatório com o fundo são mostradas no corte vertical (figura .g) e as dimensões são mostradas no detalhamento da parede intermediária com a laje de fundo do reservatório (figura .h).

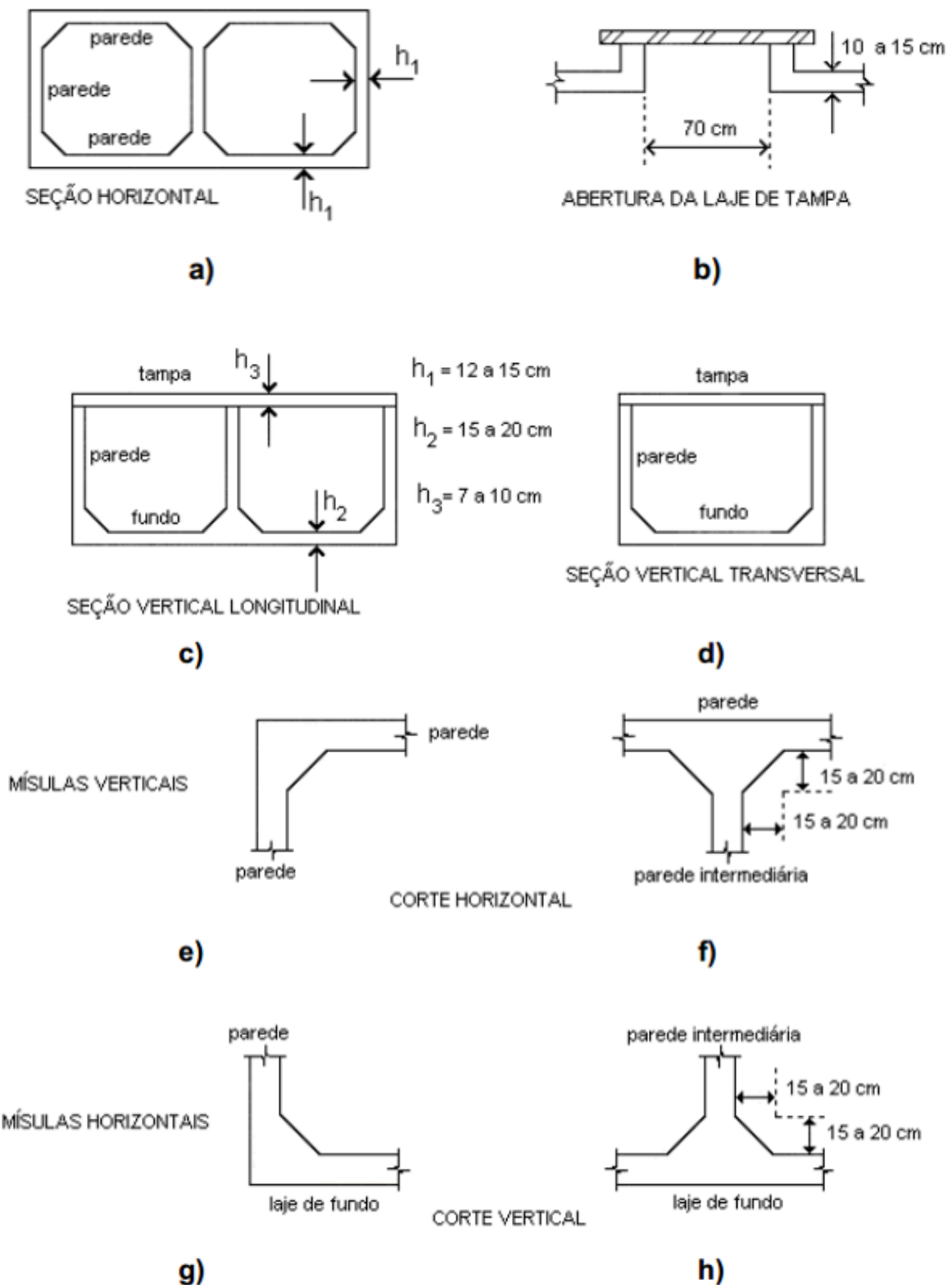


Figura : Dimensões Usuais

Para simplificar a execução, a laje da tampa é concretada em uma segunda etapa, o que permite maior facilidade de construção. Observe-se que na laje da tampa existem as aberturas independentes para o acesso de equipe de manutenção em cada uma das células. Essas aberturas costumam ter dimensões da ordem de 70 cm por 70 cm centímetros cada uma, devendo ser cobertas por placas pré-moldadas apoiadas sobre reforços de borda das aberturas, a fim de impedir a penetração de água da chuva. É comum também instalarem-se placas metálicas com dobradiças fixadas nos reforços da laje.

4.) CONSIDERAÇÕES SOBRE A CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

Uma estrutura ou qualquer parte dela não deve atingir os ESTADOS LIMITES ULTIMO ou de SERVIÇO, ou seja, tem que apresentar ao longo de toda a sua vida útil as seguintes qualidades:

Relativas ao estado limite último:

- Não romper;
- Não perder estabilidade;

Relativas ao estado limite de serviço:

- Não ter deslocamentos prejudiciais à utilização da obra;
- Não ter fissuras prejudiciais ao uso da obra ou à durabilidade da estrutura;

Geralmente na elaboração do projeto estrutural dá-se mais importância às duas propriedades do estado limite último, Ainda, se os limites (ultimo e de serviço) não forem respeitados, certamente haverá problemas com a durabilidade da estrutura e com a principal função dos reservatórios, que é a sua ESTANQUEIDADE.

De nada adianta um reservatório seguro e estável que não armazene água.

Assim, esta qualidade impõe um rigor maior na definição dos arranjos estruturais e de seus esquemas estáticos.

Em geral, os projetos estruturais têm as mesmas etapas, com algumas diferenças conforme o tipo da estrutura. Para as estruturas de reservatórios estas etapas são:

- 1ª Etapa - Escolha do material de que deve ser feito o reservatório, definição da sua forma ideal bem como dos seus elementos estruturais principais;
- 2ª Etapa - Prever todas as ações que atuam no reservatório e definir os carregamentos;
- 3ª Etapa - Para cada carregamento, definir os diferentes trechos estruturais do reservatório com os respectivos esquemas estáticos, calculando para cada um deles os seus principais esforços. Verificar as fundações. Verificar também a estabilidade, quando necessário;
- 4ª Etapa - Dimensionar todos os elementos estruturais dos reservatórios, detalhar as respectivas armaduras e verificar a fissuração nos pontos mais críticos.

5.) Proposta de dimensionamento à flexão

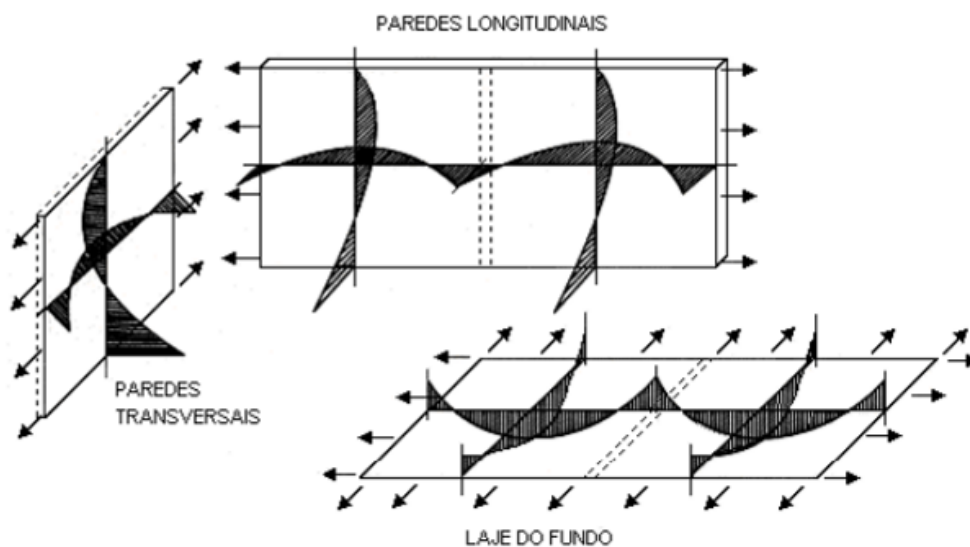
No caso de reservatórios, a situação crítica corresponde ao Estado Limite de Utilização, pois há a necessidade de garantir um bom funcionamento da estrutura o que corresponde a se falar em estanqueidade e durabilidade.

Dessa forma, deve-se então dimensionar a armadura de modo que ela garanta uma abertura de fissura tal que não prejudique o funcionamento do reservatório.

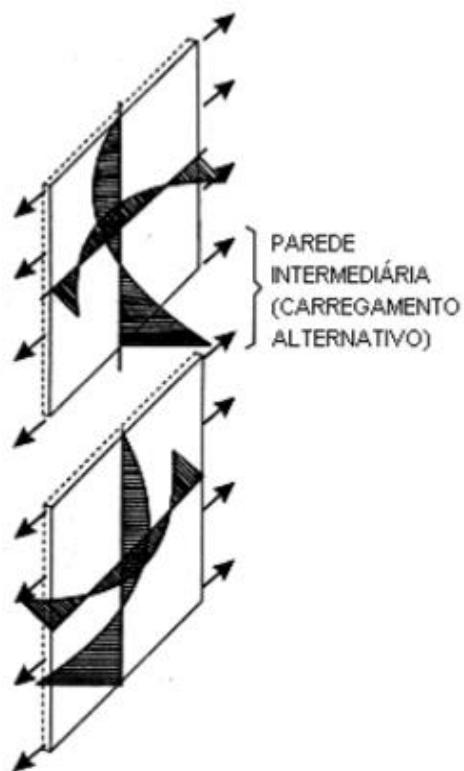
Há várias maneiras de calcular os esforços solicitantes que atuam nas peças estruturais dos reservatórios. O modo mais simples de obter os esforços é considerar cada parede como uma laje engastada em três bordas e simplesmente apoiada na borda superior ligada à laje da tampa submetida ao carregamento hidrostático correspondente à altura interna total do reservatório. A validade da condição de contorno das bordas engastadas é reforçada pelas mísulas que são obrigatoriamente empregadas para garantir a estanqueidade das arestas do reservatório.

Além dos esforços de flexão, também atuam esforços de tração, que podem ser determinados por meio de regras empíricas de distribuição das ações ou por meio de coeficientes tabelados, existentes na literatura a respeito da distribuição das reações de apoio das lajes.

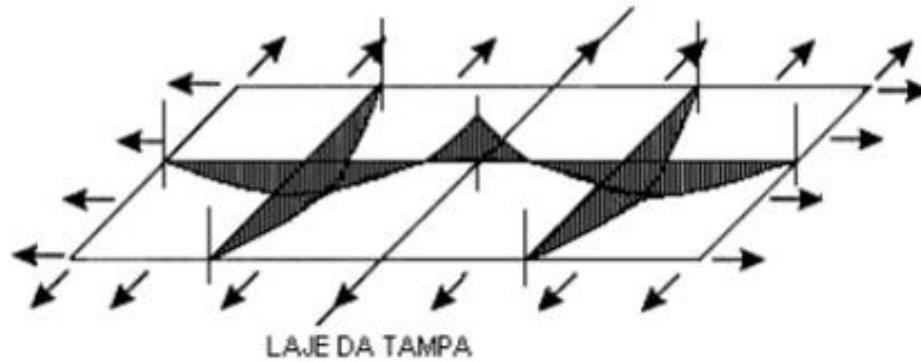
As lajes de fundo são calculadas como placas com as quatro bordas Engastadas), submetidas ao peso próprio mais o peso total da água no interior do reservatório. Os seus esforços de tração são determinados de forma análoga ao que se faz com as paredes. A laje da tampa, sob ação do peso próprio e de uma carga accidental eventual, é calculada como laje contínua simplesmente apoiada sobre as paredes e submetida aos esforços de tração aplicados pelas paredes. As suas armaduras também devem controlar a fissuração devida à retração do concreto e a choques térmicos.



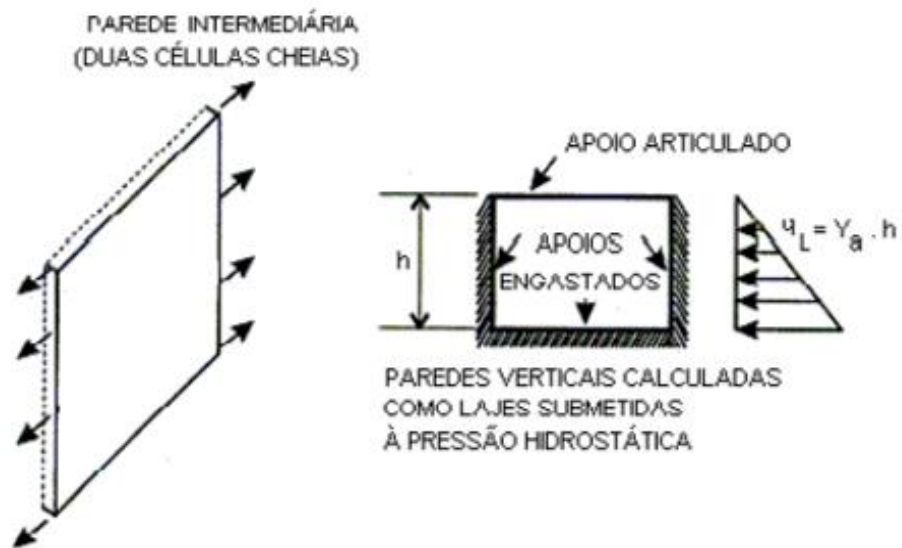
a)



b)



c)



d)

3 - ANÁLISE DO MODELO PARA PROJETO

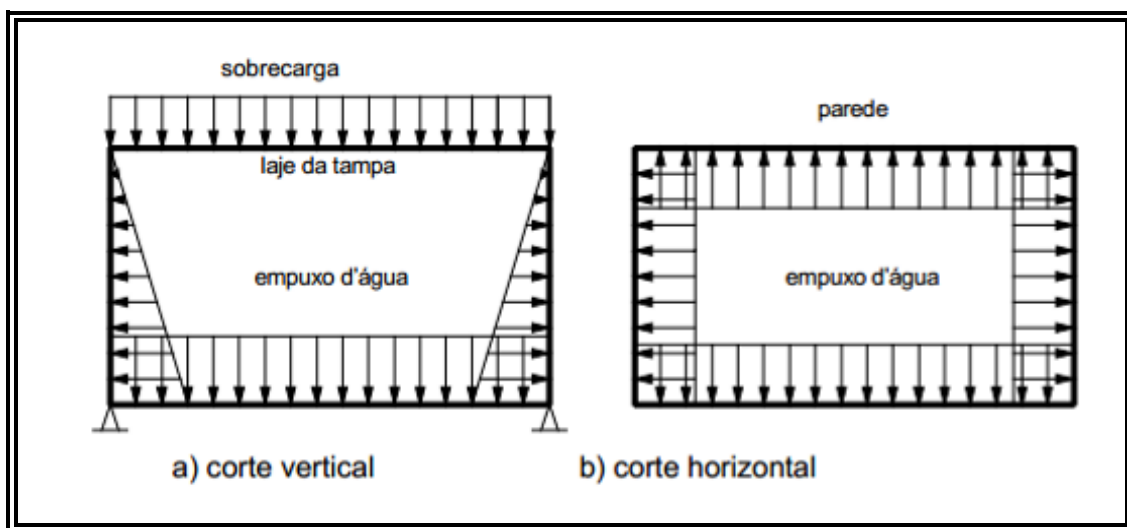
a.) AÇÕES A CONSIDERAR

As ações que atuam nos reservatórios variam de acordo com suas posições em relação ao nível do solo.

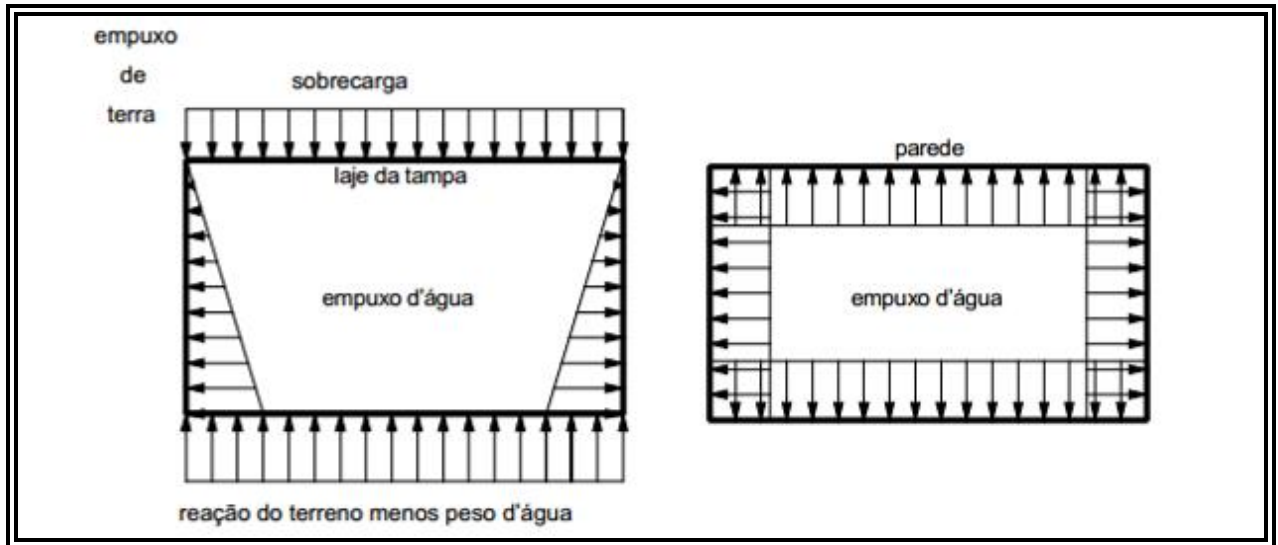
Devido às ações da água e do solo

Nos reservatórios, além do peso próprio e das ações devido à sobrecarga, atuam as ações indicadas a seguir:

- a) Nos reservatórios elevados: empuxo d'água, conforme mostra a figura



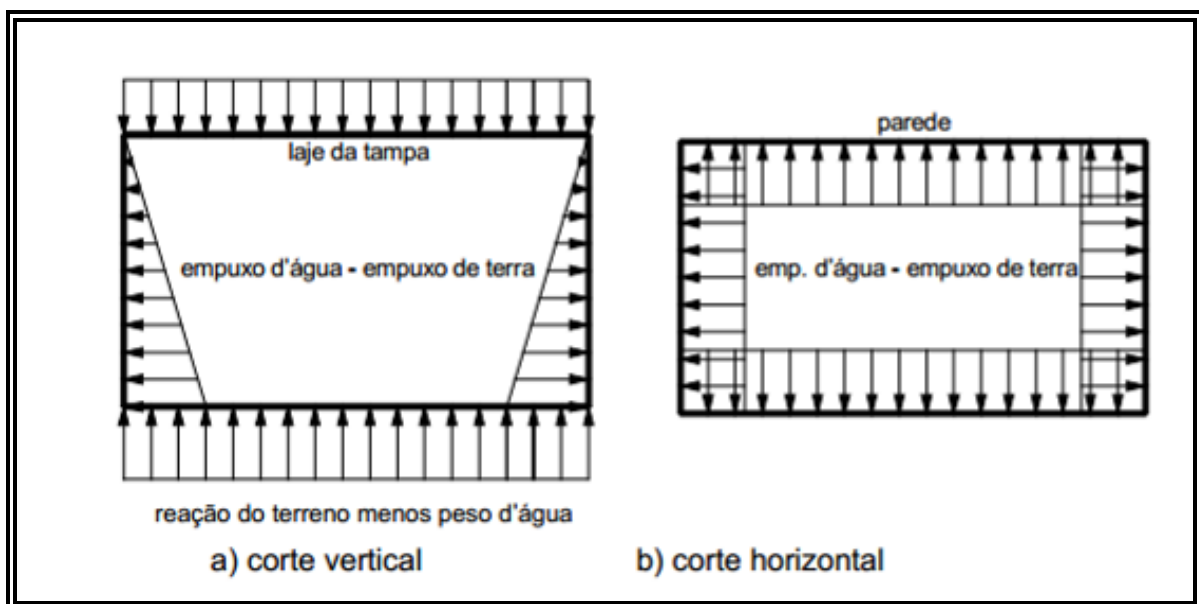
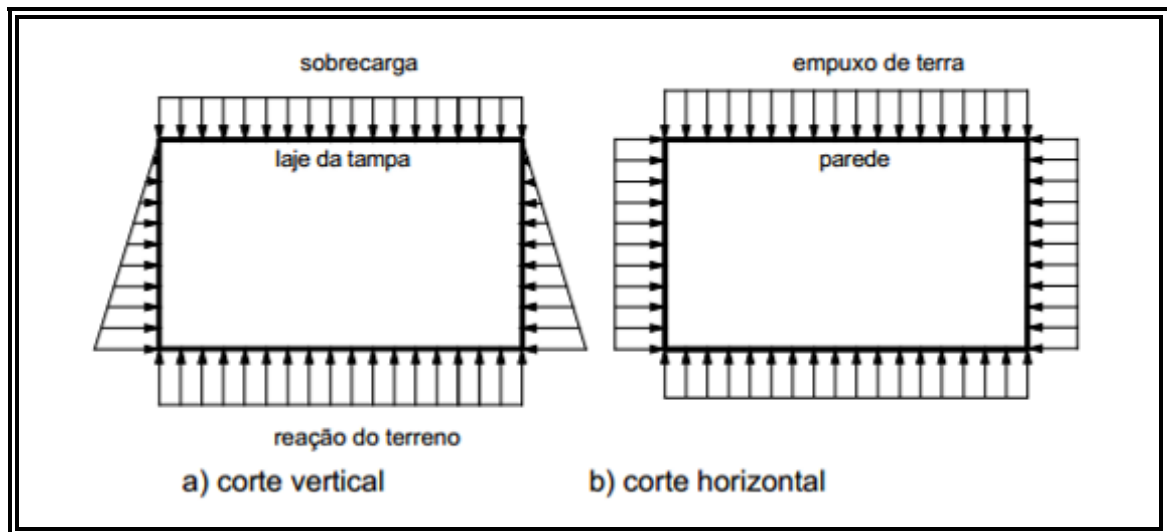
- b) Nos reservatórios apoiados: empuxo d'água e reação do terreno, conforme mostra a figura



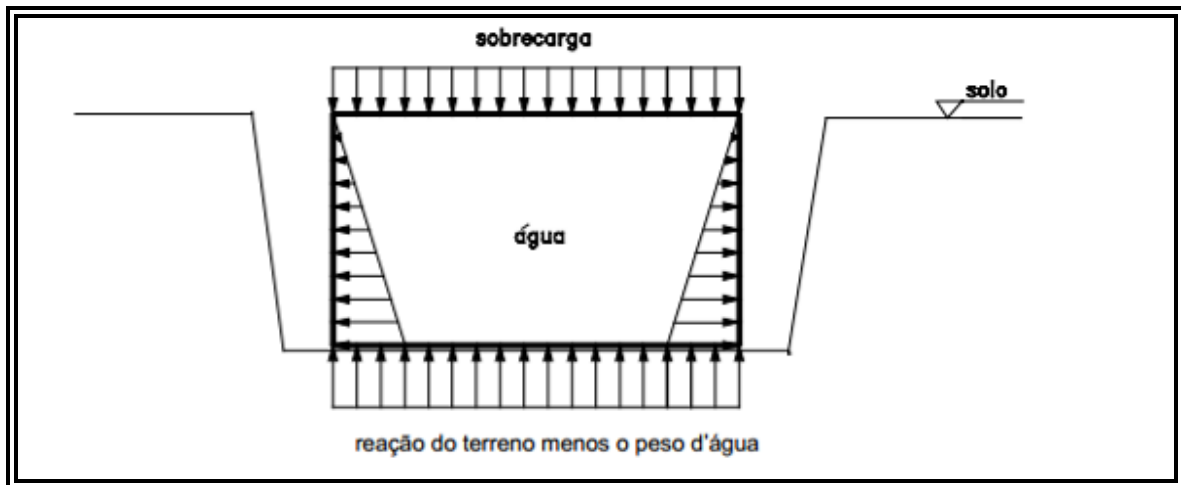
Nota-se que para o reservatório cheio há concomitância da ação devido à massa de água e à reação do terreno, devendo ser considerada, no cálculo, a diferença entre estas duas ações. Como, nos casos mais comuns, a reação do terreno (no fundo) é sempre maior que a ação devido à massa de água, as situações das ações ficam com o aspecto indicado na figura quando se considera o reservatório cheio.

- c) Nos reservatórios enterrados: empuxo d'água, empuxo de terra, subpressão de água, quando houver lençol freático, e reação do terreno.

Nota-se, que para o reservatório cheio há concomitância da ação devido ao empuxo d'água, com a ação devido ao empuxo de terra, devendo ser considerada, no cálculo, a diferença entre estas duas ações. Como, nos casos mais comuns, o empuxo d'água nas paredes é maior que o de terra e, no fundo, a reação do terreno é sempre maior que a massa de água, as situações das ações ficam com os aspectos indicados na figura o reservatório vazio para o reservatório cheio.



Após a época da escavação, quando a estrutura já foi executada e a escavação foi feita inicialmente com um volume maior que o determinado pelas dimensões externas do reservatório, sendo o excesso preenchido com reaterro após a conclusão da obra, antes de se fazer o reaterro, é feito um teste para ver se não há vazamento. Neste período, o reservatório fica cheio de água (figura) e não há concomitância da ação devido ao empuxo de água, com a ação devido ao empuxo de terra, devendo ser considerado, no cálculo, esta situação. Portanto nos reservatórios enterrados, no período antes do reaterro, deve-se levar em consideração a situação de ações do reservatório apoiado no solo, como mostra a figura.



Referências:

FUSCO, P.B. (1974). Fundamentos do projeto estrutural. São Paulo. v.1

FUSCO, P.B. (1995). Técnica de armar as estruturas de concreto. São Paulo, PINI.

LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. (1978). Construções de concreto. Rio de Janeiro, Interciência. v. 1-4.

PINHEIRO, L.M. (1988). Análise elástica e plástica de lajes retangulares de Edifícios. São Carlos. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PINHEIRO, L.M. (1993). Concreto armado: tabelas e ábacos. São Carlos, EESC-USP.

SILVA, P.F.A. (1995). Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana. São Paulo, Pini.

TAVARES, R.M. (2009). Evacuation Processes Versus Evacuation Models: "Quo Vadimus"?, Fire Technology, 12/2009, Volume 45, Issue 4, p.419-430.

TURBAN, E. E ARONSON, J.E. (1998) – Decision Support Systems and Intelligent Systems. Prentice Hall, 5a. ed.

TEIXEIRA, R.L. (1993). Considerações para projeto de reservatórios Paralelepípedicos. São Carlos, EESC-USP.