



## EVOLUÇÃO DOS MÉTODOS DE CÁLCULO E DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO UTILIZADOS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Daniel de Souza Machado e Ana Cláudia Oliveira da Silva\*

**RESUMO:** *Este trabalho apresenta uma síntese da evolução dos métodos de cálculo e dos materiais de construção utilizados nas estruturas de concreto armado. Para isto comparamos duas edificações de grande porte, construídas em Salvador, no Século XX, no final dos anos 1950 e 1990. A metodologia utilizada foi a leitura dos documentos e plantas sobre as edificações e a coleta de dados técnicos obtidos através de entrevistas com profissionais da área sobre os métodos de cálculo e materiais utilizados nas duas construções. Foi verificado com o surgimento do concreto de alta resistência, a construção com formas mais esbeltas e o dimensionamento, utilizando seções menores com redução da taxa de armadura, conseguindo assim estruturas mais econômicas e com maior aproveitamento do espaço útil. Paralelamente, com o desenvolvimento da informática, surgiram os programas de computadores, permitindo calcular estruturas com maior rapidez e precisão, também usar métodos de cálculo inovadores os quais seriam praticamente impossíveis de resolver manualmente. Por fim, com estes dois exemplos, evidenciamos a evolução tecnológica dos materiais de construção e do cálculo estrutural neste período.*

**Palavras-chave:** Evolução do concreto; durabilidade das estruturas; cálculo de estruturas.

### 1. INTRODUÇÃO

Há cerca de 5000 anos a.C, o concreto já participava da história da humanidade. Com o passar do tempo, evoluiu com o desenvolvimento das civilizações e tem sido utilizado em diversos tipos de construções.

A utilização do concreto tornou-se mais freqüente a partir do desenvolvimento do Cimento Portland, permitindo aos engenheiros e arquitetos dar formas às suas idealizações, inovando os métodos construtivos e formas arquitetônicas, melhorando infra-estruturas e dando suporte às construções de edificações, obras de arte entre outras (LEVY, 2002, p.2).

Os avanços da ciência e da tecnologia se evidenciaram, contribuindo para o aperfeiçoamento técnico, desenvolvendo a engenharia mundial no campo da qualidade das estruturas de concreto e buscando sempre atender as necessidades humanas.

Assim, este trabalho tem como propósito apresentar a evolução dos métodos de cálculo e dos materiais de construção utilizados nas estruturas de concreto armado, comparando duas edificações de grande porte construídas em Salvador no final dos anos 1950 e 1990.

### 2. DESENVOLVIMENTO

---

\* Acadêmicos do Curso de Engenharia Civil da Universidade Católica do Salvador – UCSal. E-mails: [danielslash@yahoo.com.br](mailto:danielslash@yahoo.com.br), [anaclaudia\\_21@yahoo.com.br](mailto:anaclaudia_21@yahoo.com.br). Orientadores: Isabela Pedreira Cruz, Doutora em Arquitetura e Urbanismo/UFBA e Alberto Neves Hiltner, Especialista em Engenharia Civil/PUC-RJ, professores da Escola de Engenharia/UCSal.

## 2.1 Revisão da literatura

### 2.1.1 Os métodos de cálculo

Inicialmente, as operações aritméticas eram feitas mediante o uso das tábuas de logaritmos, facilitando as multiplicações, divisões, potenciações e radiciações. Logo, vieram as réguas de cálculo, as quais eram usadas com grande frequência, constituindo um grande passo no cálculo de estruturas “Figura 1”. As réguas tinham a precisão limitada a seu comprimento e dificilmente se atingia uma matriz de  $6 \times 6$  quando se envolviam sistemas lineares. Os métodos gráficos eram muito utilizados para a análise estrutural, pois os resultados eram alcançados com mais rapidez, podemos por exemplo citar o Método dos Pontos Fixos. Com o advento dos computadores, puderam-se resolver problemas complexos rapidamente e obter maior precisão nos resultados (VASCONCELOS, 1992, p.70)

Inicialmente o computador era usado apenas para resolver problemas matemáticos relacionados ao cálculo estrutural. Até alguns anos atrás, os cálculos dos esforços eram feitos analiticamente. Porém, com a crescente utilização dos microcomputadores, “Figura 2”, o cálculo manual cedeu lugar a programas automáticos e, hoje, todos os escritórios de projetos de estruturas dispõem desses programas para efetuar os diversos tipos de análise com as quais o engenheiro estrutural se depara. Isto possibilitou ao profissional de engenharia direcionar sua atenção mais para a análise do problema físico em lugar do matemático.

Atualmente, o Método dos Elementos Finitos (MEF) é o método numérico mais utilizado para solucionar equações diferenciais, consiste na resolução de um sistema estrutural através da divisão deste em um número finito de elementos com propriedades e formas geométricas pré-estabelecidas. Entre as principais características do método, está a utilização de uma função aproximadora aplicada no domínio de cada elemento e que pode ser expressa em função das incógnitas nodais. Seu desenvolvimento inicial foi em aplicações de análise estrutural em aeronaves, utilizando o princípio de equilíbrio de forças e análise matricial. Posteriormente foi aplicado a outros fenômenos, sendo utilizado na solução de muitos problemas, dentre os quais pode-se citar análise de tensões e vibrações.

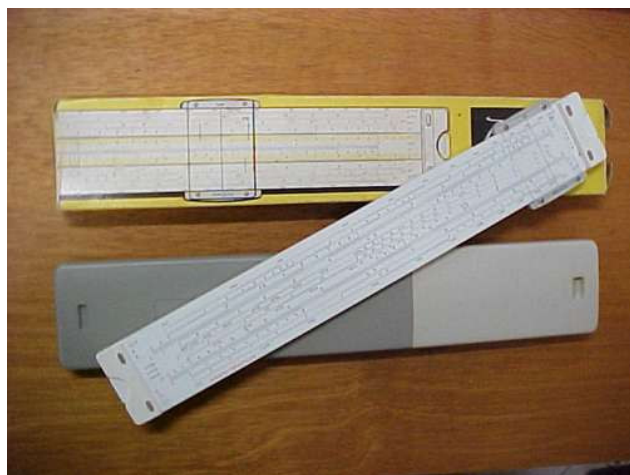


Figura 1 - Régua de cálculo



Figura 2 – Computador

Fonte: <http://www.baboo.com.br/absolutenm/anmviewer.asp>

### 2.1.2 Os materiais de construção

O homem empregava os materiais como eram encontrados na natureza. Não levou muito tempo para que se começasse a aprender e modelá-los para atender às suas necessidades. A partir do momento em que se adquiriu esta habilidade, já se dava a evolução dos materiais. Esta técnica não passava de simples modelamento de um material sem que houvesse qualquer tipo de mistura destes com um aglomerante. Nas construções, empregava-se a pedra, madeira e barro. As exigências humanas demandaram a utilização de materiais mais resistentes e duráveis. O uso da pedra, para vencer vãos, permaneceu por muito tempo, entretanto era necessário confeccionar um material que fosse trabalhável e adquirisse resistência de uma pedra (BAUER, 1994, p.2).

A associação do aço com a pedra aparece pela primeira vez na igreja de Santa Geneveva em Paris. No Brasil, segundo Vasconcelos (1992, p.13), o “cimento armado”, como era chamado o concreto armado até 1920, é fruto da Revolução Industrial. Diversas obras foram construídas utilizando o concreto para resistir à compressão e trilhos velhos no lugar de vergalhões para resistir à tração. O estudo e as pesquisas do concreto e dos aços se intensificaram e logo se procurou aperfeiçoá-los para se obter o melhor desempenho da associação. Em 1952 a Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira iniciou a fabricação do aço de protensão. Esse tipo de aço permitia vencer vãos maiores, pois eram embutidos no concreto e esticados até o endurecimento destes; deveriam existir dispositivos nas extremidades capazes de mantê-los esticados após a retirada dos equipamentos de protensão. Melhores materiais requeriam melhores técnicas que, por sua vez, necessitavam de materiais ainda melhores.

A microssílica e os aditivos superplastificantes ou redutores de água são introduzidos na mistura. A microssílica produz no concreto fresco um efeito de estabilização. As tendências à separação e à exsudação diminuem, ao passo que a viscosidade e a coesão interna aumentam. Este efeito de estabilização ocorre devido à presença das partículas ultrafinas de microssílica que se introduzem entre os grãos de cimento, diminuindo os espaços disponíveis, reduzindo o fluxo interno de líquido na pasta, aumentando a coesão interna com o aumento do número de pontos de contato. Os aditivos redutores de água são componentes essenciais no concreto com microssílica. A adição do superplastificante tem um efeito muito bom junto a microssílica, resultando numa floculação efetiva da pasta e uma dispersão efetiva da microssílica. Esse tipo de atuação fluidifica eficazmente o concreto fresco, ocorrendo uma otimização da capacidade plastificante dos aditivos e aumentando a resistência mecânica do concreto no estado endurecido (VALOIS, 1994). A partir disso, permitiu-se a confecção do concreto de alto desempenho (CAD). Com o avanço constante da tecnologia, o profissional de engenharia precisa estar atualizado tecnicamente, utilizando materiais melhores e de menor custo.

## 2.2 METODOLOGIA

A estratégia da pesquisa foi o estudo comparativo entre duas edificações construídas na cidade de Salvador – Bahia em épocas diferentes, com uma concepção estrutural, com métodos de cálculo distintos e inovações na aplicação dos materiais de construção. Dando continuidade a este estudo, além da análise documental mais as nossas observações, também realizamos entrevistas para a coleta dos dados técnicos sobre as duas edificações em questão. Foram utilizados questionários auto-aplicáveis com 13 questões abertas direcionadas a profissionais da área, conhecedores dos métodos de cálculo e materiais utilizados nas duas estruturas. As pesquisas dos artigos tiveram duração de quatro semanas. Deveriam estes discorrer sobre os



métodos de cálculo para análise estrutural e materiais de construção utilizados para a confecção de obras em concreto armado. Seriam excluídos artigos que não obedecessem aos critérios de seleção. Os materiais analisados foram: aglomerantes, agregados, aço e aditivos. No que se refere à análise estrutural, compararam-se os métodos de cálculo das duas construções. Foram entrevistados:

- Prof. Eng<sup>o</sup> Antônio Carlos Reis Laranjeiras, graduado pela Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, em 1954, atualmente Sócio Gerente da firma ACR LARANJEIRAS & Cia Ltda – Projetos de Estruturas, possui uma coluna no site [www.obracadabra.com.br](http://www.obracadabra.com.br) titulado como “Espaço Laranjeiras” – Especialista em estruturas. Foi membro da Comissão de Estudos da Revisão da NBR-6118/78. Presenciou algumas fases da construção da Escola Politécnica da UFBA;
- Eng<sup>o</sup> Murilo Alves Miranda, graduado pela Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, em 1969, atualmente Sócio Gerente da firma Murilo Miranda Ltda – Especialista em Engenharia Civil de Estruturas pela The University of Texas at Austin, USA. Em parceria com Moacir Ubirajara Fraga Pereira Leite, foram os calculistas de toda a estrutura do edifício Suarez Trade Center;
- Eng<sup>o</sup> Minos Trócoli de Azevedo, graduado pela Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, atualmente Diretor Técnico da CONCRETA – Controle de Concreto e Tecnologia Ltda., Eng<sup>o</sup> Estruturalista – Especialista em recuperação de estruturas. Foi responsável pelo controle tecnológico do concreto usado na construção do Edifício Suarez Trade Center.

### **2.2.1 Escola Politécnica da UFBA**

Construída em 1956, na cidade do Salvador, na Rua Aristides Novís, no bairro da Federação, “Figura 3” tem por finalidade o ensino. O conjunto politécnico foi projetado com quatro blocos principais, com capacidade para uma população escolar de 1600 alunos, sendo que foi construído apenas o bloco I com quatro zonas. As zonas I e III destinadas a fins didáticos e pesquisas, agrupando atualmente todos os departamentos. A zona II destina-se à circulação e na zona IV estão situados a Biblioteca, a Administração e o Diretório Acadêmico. Abrange oito pavimentos com cerca de 21.000,00m<sup>2</sup> de área total (TARQUÍNIO, 1960, p.35).

A elaboração do projeto bem como todos os cálculos estruturais foram executados espontânea e gratuitamente pelos professores da escola: Carlos Simas, Alceu Roberto Hiltner, Hernani Sávio Sobral, Alberto Dantas Sant`Ana, Walter Orlando D`oliveira Porto e Maurício Andrade Aguiar (COSTA, 2003, p.27).

De acordo com Tarquínio (1960, p.33), os alunos da 4<sup>o</sup> e 5<sup>o</sup> ano do curso de Engenharia Civil ficaram incumbidos dos desenhos.





Figura 3 – A Escola Politécnica na fase de construção e, à direita, a fachada da escola.  
Fonte: TARQUÍNIO, 1960.

### 2.2.2 Edifício Suarez Trade Center

Construído em 1994, na cidade do Salvador, situa-se na Avenida Tancredo Neves nº 450, o Suarez Trade Center é um prédio projetado para fins comerciais, com uma área total de 40.000,00m<sup>2</sup> distribuídos em 33 pavimentos “Figura 4”. O projeto estrutural foi elaborado pelos Engenheiros: Murilo Alves Miranda e Moacir Ubirajara Fraga Pereira Leite “Figura 5”.

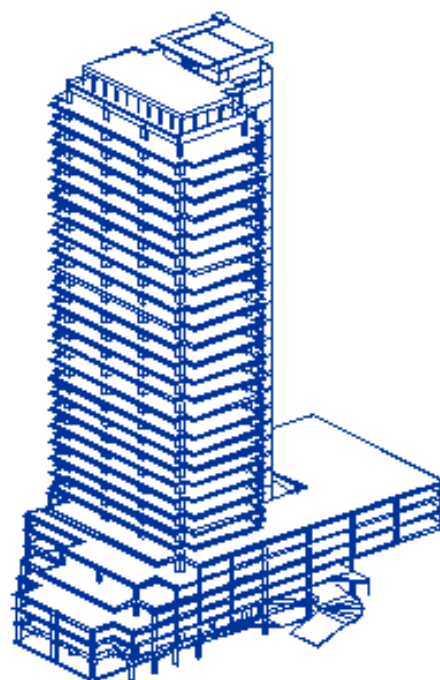


Figura 4 – Ed. Suarez Trade Center em perspectiva    Figura 5 - Estrutura de concreto do edifício  
Fonte: LEITE et al, 1994

## 2.3 RESULTADOS

Com base na pesquisa realizada, foram obtidos resultados referentes aos métodos de cálculo, bem como aos materiais de construção utilizados para a confecção do concreto das duas estruturas comparadas.

### 2.3.1 Sistema estrutural da Escola Politécnica

Com 21.000,00m<sup>2</sup> de área total distribuída em oito pavimentos, a escola teve sua estrutura analisada como pórtico, o qual é responsável por toda a absorção da ação do vento na estrutura. O maior vão chega a 12m na área dos elevadores. Pelo fato de ter sido utilizado em toda a estrutura o concreto com mesma resistência, foi necessário o aumento da seção dos pilares nos primeiros pavimentos “Figura 6”.



Figura 6 – Planta baixa do primeiro pavimento da escola Politécnica da UFBA  
Fonte: Prefeitura do campus universitário da UFBA

### 2.3.2 Sistema estrutural do Suarez Trade Center

Construído com 40.000,00m<sup>2</sup> distribuídos em 33 pavimentos. Andares-tipo com 600m<sup>2</sup> livres, sem pilares intermediários “Figura 7”. Foi construído um núcleo vertical de concreto na parte posterior da construção onde se localiza a escada e os elevadores. Este foi projetado para proporcionar rigidez e suportar ambas as ações verticais e horizontais, devido à gravidade e o vento. As lajes são completamente planas protendidas nervuradas sem vigas nas periferias de acordo com a “Figura 7”, com 15m de vão livre (LEITE, 1994, p.1).

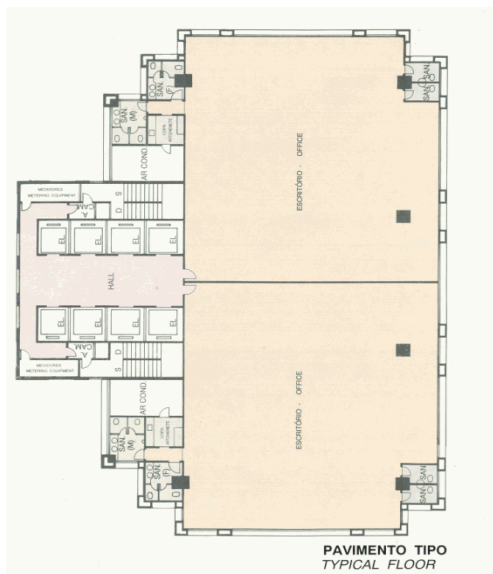


Figura 7 – Pavimento tipo do Suarez Trade Center  
Fonte: LEITE et al, 1994

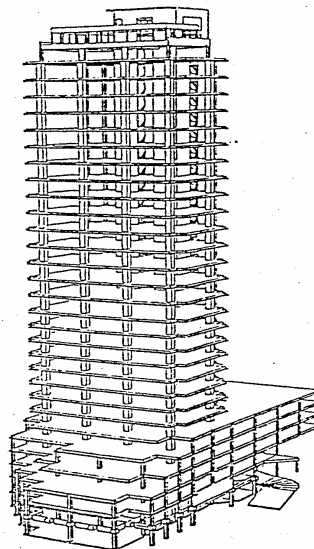


Figura 8 – Estrutura do edifício

### 2.3.3 Comparação dos resultados

Por motivos didáticos, o Edifício da Escola Politécnica da UFBA aparecerá nesta seção como EPU, e o Edifício Suarez Trade Center aparecerá como STC.

Na “Tabela 1” está apresentado o resultado obtido sobre os métodos de cálculo. Na EPU a estrutura foi toda calculada manualmente, utilizando o Método dos Pontos Fixos, método gráfico; enquanto no STC, foi utilizado o Método dos Elementos Finitos, método numérico.

Tabela 1 – Métodos de cálculo utilizados nas duas construções

<b>Método de cálculo</b>	
<b>Escola Politécnica da UFBA</b>	Método dos Pontos Fixos
<b>Edifício Suarez Trade Center</b>	Método dos Elementos Finitos

A “Tabela 2” mostra os valores encontrados da resistência característica do concreto. Na EPU foi utilizado fck de 18 MPa em toda a estrutura de concreto, enquanto, no STC, as colunas da torre tiveram fck de 60 MPa e 30 MPa no restante da estrutura.

Tabela 2 – Resistência característica do concreto utilizados nas estruturas da EPU e do STC

	<b>fck (MPa)</b>
<b>Escola Politécnica da UFBA</b>	18
<b>Edifício Suarez Trade Center</b>	30 / 60

Fonte: Pesquisa de campo

Foi utilizado o Cimento Portland como aglomerante nas duas construções, sendo que não foi possível identificar dados referentes à classe e ao tipo do cimento usado na estrutura da EPU decorrente da falta de documentos que comprovassem tais informações “Tabela 3”. No STC foi usado o CP II 32.

Tabela 3 – Aglomerante utilizado para a confecção do concreto da EPU e do STC

	<b>Aglomerante</b>
<b>Escola Politécnica da UFBA</b>	CP ?
<b>Edifício Suarez Trade Center</b>	CP II 32

Fonte: Pesquisa de campo

Na “Tabela 4”, observamos que os agregados utilizados na confecção do concreto das estruturas das duas construções foram a Brita e a areia.

Tabela 4 – Agregados utilizados na EPU e no STC

	<b>Agregados</b>
<b>Escola Politécnica da UFBA</b>	Brita e Areia
<b>Edifício Suarez Trade Center</b>	Brita e Areia

Fonte: Pesquisa de campo

A “Tabela 5” mostra que foi utilizado o aço CA 50 nas duas construções, entretanto, no STC, foi usado o CP 190 RB.



Tabela 5 – Tipo de aço utilizado no concreto da EPU e do STC

	<b>Aço</b>
<b>Escola Politécnica da UFBA</b>	CA 50
<b>Edifício Suarez Trade Center</b>	CA 50 / CP 190 RB

Fonte: Pesquisa de campo

Conforme vimos na “Tabela 6”, não foi utilizado qualquer tipo de aditivo no concreto da EPU, enquanto no STC, o concreto teve a adição da microssílica e de superplastificante.

Tabela 6 – Aditivos utilizados no concreto da EPU e do STC

	<b>Aditivos</b>
<b>Escola Politécnica da UFBA</b>	-
<b>Edifício Suarez Trade Center</b>	Microssílica e Superplastificante

Fonte: Pesquisa de campo

Dos resultados obtidos, observamos que os métodos de cálculo, no decorrer dos anos, passaram por um grande avanço tecnológico. Com o desenvolvimento da informática, permitiu-se a utilização de programas de computadores inovadores possibilitando o uso de métodos numéricos, por exemplo, o Método dos Elementos Finitos. Tornou-se possível calcular estruturas com maior rapidez e precisão e resolver sistemas matriciais o que seria praticamente impossível resolver manualmente.

O aumento da finura do cimento e as adições possibilitaram a fabricação do concreto de alto desempenho (CAD). A composição dos concretos de alto desempenho é mais ou menos idêntica à dos concretos comuns, recebendo ainda os aditivos superfluidificantes e as adições de sílica ativa que promovem uma melhor trabalhabilidade ao concreto. No caso do concreto de alto desempenho, tendo em vista a pequena quantidade de água na mistura, não há o aparecimento de água na superfície, como no caso do concreto comum, aumentando o risco de aparecimento de microfissuras. O concreto obtido com o aditivo superfluidificante e a adição de sílica ativa apresentam, assim, grande compacidade, baixa porosidade e alta resistência. Além da baixa porosidade, as microfissuras decorrentes da retração do concreto durante a cura também se reduzem com a diminuição da quantidade de água. A primeira vantagem do concreto de alto desempenho está na redução da dimensão dos elementos estruturais, principalmente nos pilares. Isso permite um ganho de área útil, efeito que é maior nos térreos e subsolos, uma vez que estes pavimentos apresentam as cargas mais elevadas. No caso das garagens, o emprego do concreto de alto desempenho pode implicar um aumento significativo do número de vagas.



### 3. CONCLUSÃO

Foi realizada neste trabalho a comparação das estruturas das duas edificações, permitindo verificar, na prática, a evolução dos métodos de cálculo e dos materiais de construção utilizados para a confecção do concreto armado da Escola Politécnica da UFBA e do Suarez Trade Center.

Com o desenvolvimento dos programas de computadores e com o avanço do controle tecnológico, evidenciamos a evolução.

Os resultados do trabalho mostraram a importância da pesquisa científica para o desenvolvimento de novas tecnologias e para a atualização do profissional de engenharia, que deve permanecer sempre atento aos novos conhecimentos e invenções, evidenciando a necessidade do estudo contínuo durante toda sua vida profissional.

Como possibilidade de prosseguimento do trabalho, sugere-se o estudo aprofundado das estruturas de construções mais antigas.

### REFERÊNCIAS

AZEVEDO, M. T. **Estudos e Aplicação de Concreto de Alta Resistência com Microssilica**, Revista IBRACON, 1993, p.32, São Paulo, SP, Brasil

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**, Novos Materiais para construção civil, v.1, Rio de Janeiro, RJ, 1994

COSTA, C. A. **105 Anos da Escola Politécnica da UFBA**, Salvador, BA, 2003

LEITE, M. **The Suarez Trade Building in Salvador, Brazil**, in Our World of Concrete and Structures Conference Proceedings, Japan, India, and Singapore Concrete Institutes, Singapore, 1994

LEITE, M **High Strength Concrete in New Buildings in Salvador, Brazil**, Salvador, BA, 1994

LEVY, S. M. **Evolução Histórica da Utilização do Concreto como Material de Construção**, São Paulo, SP, 2002

TARQUÍNIO, M. **Conjunto Politécnico**: Universidade da Bahia, Salvador, BA, 1960

VASCONCELOS, A. C. **O Concreto no Brasil**: Recordes, Realizações, História, v.1, São Paulo, SP, 1992