



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnicas
Laboratório de Estruturas e Materiais Estruturais – LEM
Laboratório de Mecânica Computacional - LMC

**ESTUDO DE PROTÓTIPOS EM ESCALA REDUZIDA
UTILIZANDO RECURSOS DE MONITORAÇÃO,
INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE NUMÉRICA.**

**Projeto de pesquisa apresentado à FAPESP
para solicitação de bolsa de Mestrado**

Candidato:
Alercio Patrick Lima do Rosario

Supervisor:
Túlio Nogueira Bittencourt

São Paulo, 25 de Abril de 2006.

SUMÁRIO

RESUMO	03
1 INTRODUÇÃO	04
2 OBJETIVOS	04
3 JUSTIFICATIVA	05
4 ASPECTOS RELEVANTES DO PROJETO	06
4.1 Monitoração de Estruturas de Concreto	06
4.2 Aquisição, Visualização e Interpretação de Dados de Monitoração	07
4.3 Simulação Numérica	07
5 METODOLOGIA E MATERIAS	09
5.1 Escopo do Trabalho Experimental	09
5.2 Protótipos de Monitoração	09
5.2.1 Pórticos para ensaios dos protótipos	09
5.2.2 Protótipos a serem analisados	10
5.2.3 Instrumentação dos protótipos	11
5.3 Ambiente de Desenvolvimento do Trabalho Laboratorial [...]	12
6 FORMA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS	12
7 CRONOGRAMA DE ATIVIDADES	13
8 BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL	14
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15

RESUMO

O presente projeto consiste em analisar o do comportamento de estruturas de concreto armado, através da criação de modelo existente em escala reduzida, visando analisar os efeitos de retração, fluência e fissuração, por meio de monitoração estrutural através de sistemas ópticos e elétricos.

Para isso o projeto contempla o desenvolvimento de um ambiente integrado, que possibilita avaliar, sob os mais variados aspectos, o desempenho estrutural de cada concepção em estudo, através da utilização de ferramentas, de análise laboratorial e mecanismos computacionais que contemplam: (a) aquisição de dados e controle da evolução do ensaio via computador (programa computacional *LabVIEW*); (b) utilização de mecanismos para análise inversa, por meio programas computacionais específicos, para a determinação de parâmetros relevantes para os modelos de comportamento estrutural instrumentados; (c) utilização de ferramentas computacionais disponíveis em programas comerciais (DIANA) e acadêmicos (QUEBRA2D, FRANCO2D, e outros) tendo em vista a análise numérica dos protótipos, bem como o estudo do comportamento não-linear.

Os Protótipos serão instrumentados com sensores ópticos e elétricos (STRAIN-GAGES), e analisados em condições de utilização e ruptura.

Este projeto de pesquisa está ligado ao projeto temático FAPESP “*Monitoração e Avaliação da Deformabilidade, da Fissuração e da Segurança de Estruturas de Concreto*”, processo 04/03049-1 e ao auxílio à pesquisa FAPESP “*Prototipagem de Estruturas em Escala Reduzida em um Ambiente Integrado, Utilizando Recursos de Monitoração, Interpretação e Análise Numérica*”, processo 05/52210-2.

1 INTRODUÇÃO

A análise estrutural é a fase do projeto estrutural em que é feita a idealização do comportamento da estrutura. Esse comportamento pode ser expresso por diversos parâmetros, tais como pelos campos de tensões, deformações, deslocamentos na estrutura, fissuração, assim como atuação de mecanismos reológicos do concreto, como fenômeno de retração e fluência tem considerável influência no desempenho de estruturas em concreto.

Visando melhor estabelecer esta interface de estudo do comportamento das estruturas e cada vez mais comum à utilização de monitoração de estruturas. Através dessa tecnologia é possível a determinação de modelos físicos e matemáticos que permite a comparação dos dados entre os modelos experimentais e computacionais associados aos dados do comportamento da estrutura real.

Para isso o estudo desenvolvera a criação e simulação de modelos em escala reduzida, juntamente com a interpretação e análise dos dados coletados, conseguirá informações que favorecem um dimensionamento mais seguro de acordo com as normas vigentes, sem deixar de lado o controle de qualidade assim como os aspectos econômicos da estrutura a ser construída.

Este projeto estabelece uma proposta de parceria em pesquisa relacionando FEC-UNICAMP e EPUSP, objetivando domínio das técnicas de monitoração, interpretação de dados e análise de estruturas, a partir das informações obtidas pelas instrumentações realizadas, estabelecendo um ambiente integrado de modelagem numérica e experimental. O trabalho de investigação envolve a construção de modelos estruturais, a serem instalados nos laboratórios de ambas as unidades envolvidas, e instrumentados por meio de sensores ópticos e elétricos.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste projeto de pesquisa é ampliar os conhecimentos ligados à efeitos de retração, fluência e à fissuração das estruturas do concreto.

Como pontos específicos desta pesquisa destacam-se os itens abaixo:

- Desenvolvimento de protótipos em escala reduzida de estruturas reais, viabilizando o prosseguimento de pesquisas em andamento relacionadas a monitoração de estruturas, e

que visam ao acesso a parâmetros relevantes para o estudo do comportamento de estruturas de concreto;

- Simulação de modelos ensaiados (protótipos em escala reduzida) utilizando programas computacionais disponíveis baseados em Elementos Finitos (DIANA, Quebra2D-Femoop, Vector2) para avaliar o comportamento não-linear, a fim de permitir e facilitar o estudo numérico de quaisquer modelos de fluência;
- Comparação e análise dos resultados obtidos a partir dos modelos ensaiados, assim como aqueles provenientes de análise numérica.

3 JUSTIFICATIVA

Com a confecção e instrumentação de modelos em escala reduzida de estruturas reais, esse estudo poderá estimar de forma segura possível danos na estrutura em tempo hábil para intervenções que garantam sua integridade (figura 1, e um exemplo de uma ponte em escala reduzida).



Figura 1 – Protótipo reduzido de uma malha ferroviária, visando a Monitoração do trecho constituído pela ponte.

Para isso os modelos reduzidos serão ensaiados com carregamentos similares ao de construção e utilização, associados aos ensaios para suporte e validação de trabalhos de interpretação de resultados.

Com a monitoração será possível à interpretação e análise dos dados coletados (Figura 2), através dos dados gerados durante o estudo, chegaremos a informações que iram dinamizar a relação custo benefício, favorecendo a segurança e principalmente a construção racionalizada e mais econômica.



Figura 2 – Monitoração e visualização da leitura de aquisição de dados do Protótipo reduzido.

Um ponto relevante sobre os modelos e que os protótipos possuem um custo relativamente baixo podem ser repetidos facilmente.

4 ASPECTOS RELEVANTES DO PROJETO

4.1 Monitoração de Estruturas de Concreto

É hoje manifesto o papel essencial dos sistemas de monitoração na observação das estruturas de concreto. A monitoração destas estruturas possibilita a verificação das hipóteses que serviram de base à construção do modelo teórico considerado no projeto, permite avaliar continuamente o nível da segurança estrutural, detectando, em tempo oportuno, eventuais deficiências de funcionamento; e serve como importante meio de obtenção de informações e experiência referentes à resposta estrutural, decorrentes da utilização de novas técnicas de execução, do uso de novos materiais, da imposição de

um acelerado ritmo de construção, da produção de obras mais otimizadas e da crescente agressividade do meio exterior.

Um sistema de monitoração ideal deve ser capaz de proporcionar continuamente informações sobre a ocorrência de qualquer alteração significativa em variáveis relevantes da estrutura monitorada.

As informações sobre a condição de uma estrutura monitorada podem ser obtidas localmente, por meio da montagem de uma rede local, ou através do envio das mesmas para um local distante, valendo-se de ferramentas computacionais apropriadas, conectadas por um protocolo conveniente.

4.2 Aquisição, Visualização e Interpretação de Dados de Monitoração.

Para o desenvolvimento do sistema computacional para aquisição, visualização e suporte à interpretação das medições efetuadas, será utilizado o *LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)*. *LabVIEW* é um produto da *National Instruments Corporation* (NATIONAL INSTRUMENTS, 2005), que permite a simulação de equipamentos virtuais por meio da geração de um ambiente gráfico para o desenvolvimento de sistemas de aquisição de sinais, análise de medidas, e apresentação de dados, que apresenta a flexibilidade de uma linguagem de programação orientada a objetos, porém sem a complexidade das ferramentas tradicionais de desenvolvimento de códigos computacionais. O fato de o *LabVIEW* proporcionar bibliotecas com ferramentas para ampla variedade de áreas (processamento de sinais, processamento de imagens, *internet*, acesso a bases de dados, etc.) fez com que, progressivamente, viesse a se constituir em um poderoso ambiente de desenvolvimento de aplicações finais e de prototipagem rápida para uma significativa diversidade de profissionais.

4.3 Simulação Numérica

Os modelos ensaiados serão simulados, utilizando o software DIANA que tem como base o Método dos Elementos Finitos (MEF), programa comercial desenvolvido pelo TNO Building and Constructions Research, Department of Computational Mechanics (Holanda) (WITTE, 2004). O programa DIANA dispõe de mais de 150 tipos distintos de elementos finitos, e diversos modelos constitutivos para os materiais. É capaz de simular estruturas de concreto armado com análise não-linear estática ou transiente, além de possuir um amplo conjunto de modelos constitutivos específicos para esse material. Permite modelagem envolvendo fluência, retração e fissuração. A consideração de

fraturas discretas ou distribuídas e também funcionalidades para modelar a armadura em conjunto com o concreto são outros interessantes recursos disponíveis. Uma aplicação do programa DIANA é apresentada na figura 3.

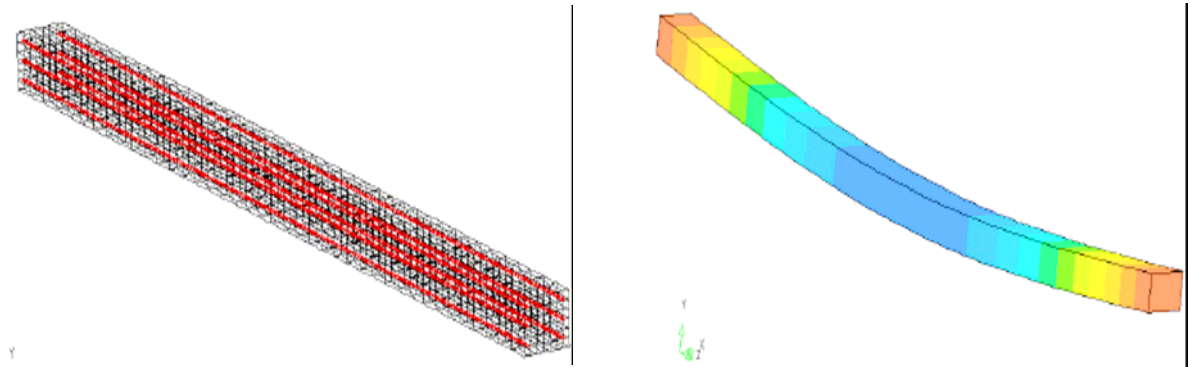


Figura 3 – Modelagem de viga utilizando o software DIANA.

O programa contém módulo específico para a utilização do "lattice model" (VAN MIER, 1997), que simula a evolução do processo de danificação do material em escala mesoscópica, discretizando-o em um reticulado extremamente refinado (Figura 4).

Nesse modelo as propriedades dos elementos são calibradas para reproduzir o comportamento do material (argamassa, agregado, aço ou interfaces entre esses materiais) na região sujeita a danificação e elementos comuns são utilizados no restante do modelo.

Para as fissuras resultantes do esmagamento do concreto podem ser utilizados critérios de plasticidade baseados nos critérios de Mohr-Coulomb, Drucker-Prager, Von Mises, etc. Para a definição das propriedades mecânicas do concreto, tais como resistência à tração, resistência à compressão e Módulo de Elasticidade, é possível utilizar formulações do CEB-FIP Model Code (1990), ACI 209R-92 e JSCE (*Japan Society of Civil Engineers*, 1999).

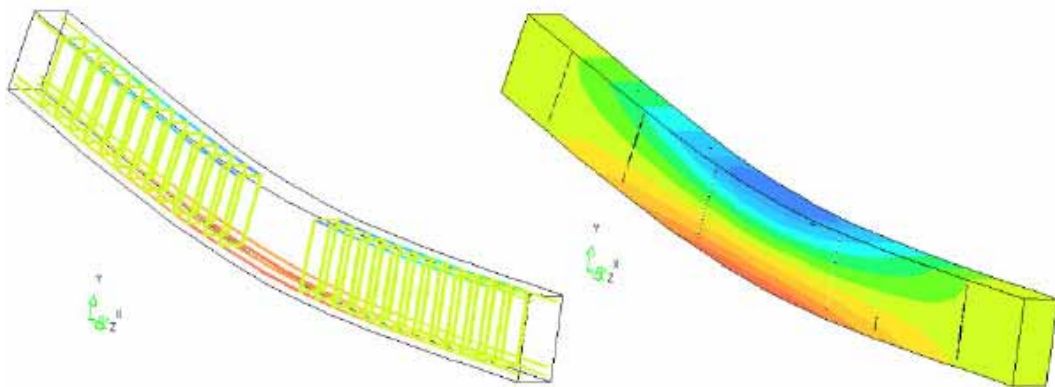


Figura 4 - Modelagem de viga utilizando o software DIANA.

5 METODOLOGIA E MATERIAS

5.1 Escopo do Trabalho Experimental

Serão desenvolvidos modelos reduzidos de diferentes materiais para aprofundar o conhecimento do comportamento de estruturas monitoradas quando comparadas a modelos teóricos.

5.2 Protótipos de Monitoração

Serão construídos protótipos reduzidos em escala de estruturas de micro-concreto e aço, que serão instrumentados em diversas seções com sensores ópticos e elétricos, visando analisar seu comportamento em diversas fases. Os protótipos estarão sujeitos à atuação do peso próprio e de forças concentradas, e à variação de temperatura, sendo considerados os efeitos dos fenômenos de retração e de fluência para o caso do concreto. Serão medidas deformações lineares em diversos pontos a serem definidos em estudo específico com o objetivo de aperfeiçoar a qualidade dessas informações, a partir de modelos matemáticos. Serão analisados três protótipos, sendo dois de concreto e um de aço.

A caracterização dos efeitos de retração e fluência do concreto será efetuada com a utilização de corpos de provas compensadores nos quais serão realizados os ensaios de retração e de fluência. Em princípio, serão estabelecidas curvas de retração e de fluência obtidas pelo ajuste de coeficientes de funções propostos nos modelos disponíveis na literatura. Esses ensaios, em princípio, serão realizados em câmara climatizada no Laboratório de Furnas, em Goiás. Alternativamente poderão vir a ser realizados nos próprios laboratórios envolvidos, dependendo da disponibilidade de equipamentos utilizados regularmente em estudos de argamassa.

5.2.1 Pórticos para ensaios dos protótipos

Serão confeccionados quatro pórticos conforme o esquematizado na Figura 5, devendo permanecer dois pórticos em cada um dos laboratórios participantes, de modo que apenas os equipamentos leves, e que sejam utilizados apenas em pequenos intervalos, sejam transportados entre eles (computador portátil, equipamentos para aquisição de dados de monitoração, etc.).

Os pórticos serão projetados para servir a diversos tipos de ensaios que se façam necessários para testar as várias possibilidades de monitoração.

5.2.2 Protótipos a serem analisados

Neste projeto, três protótipos básicos, duplicados, com geometria similar, serão construídos e analisados:

A.) protótipo de concreto armado para análise da variação de rigidez do protótipo, considerando o estado inicial e após submeter a estrutura a carregamentos crescentes, analisando a fissuração após cada um desses estágios, quando a estrutura é então submetida a alguns carregamentos padronizados, destinados a fornecer parâmetros suficientes para alimentar uma retro-análise e, com isso, permitir comparação da evolução de parâmetros de rigidez ao longo do processo.

B.) protótipo de concreto armado para a análise de fluência, em que medidas de deformações e deslocamentos na estrutura são tomadas ao longo de um período relativamente longo (superior a três meses), e utilizadas para determinar, por retro-análise, parâmetros que permitam a comparação com modelos de cálculo disponíveis na literatura.

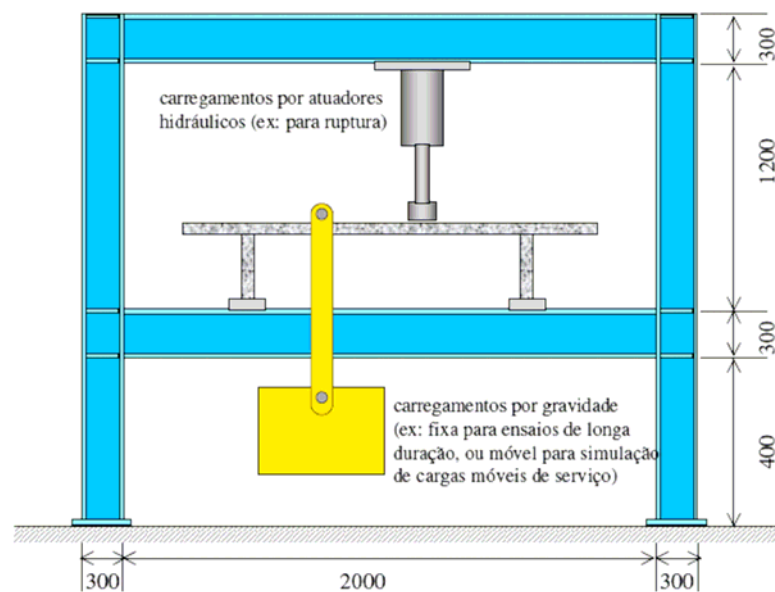


Figura 5 – Esquema dos pórticos para ensaios. As vigas e pilares têm furação adequada de modo a permitir diversas posições para protótipos e atuadores (dimensões em mm).

C.) protótipo de aço, para análise de deslocamentos e deformações, tem por objetivo testar a aplicabilidade das técnicas de retro-análise e verificar a abrangência das técnicas de monitoração de deformações e deslocamentos, uma vez que os fenômenos de retração e fluência são desprezíveis nas condições ambientais dos ensaios. Assim, ele é destinado à validação das técnicas de retro-análise por comparação com resultados previstos pela análise numérica e pela aplicação de normas vigentes.

5.2.3 Instrumentação dos protótipos

Serão instrumentados com sensores ópticos e elétricos (externos e internos), e sensores para medição da temperatura e umidade em cada protótipo, em função das propriedades físicas dos materiais.

Serão selecionadas locais específicos do protótipo para aquisição de imagens digitais, visando acompanhar a evolução da fissuração, por exemplo, em um nó de pórtico ou no meio do vão.

Serão executados corpos de provas destinados à compensação dos efeitos de retração e de fluência, que serão ensaiados em condições ideais, em câmara climatizada, com o objetivo de obter parâmetros do comportamento do material. Além disso, está prevista a execução de ensaios em prismas, com extensômetros ópticos e elétricos (externos e internos), que serão colocados nas proximidades dos protótipos, de modo a estarem sujeitos a idênticas condições ambientais. Nos ensaios de carga, serão instalados LVDT's para medição dos deslocamentos verticais dos pontos mais importantes (Figura 6).

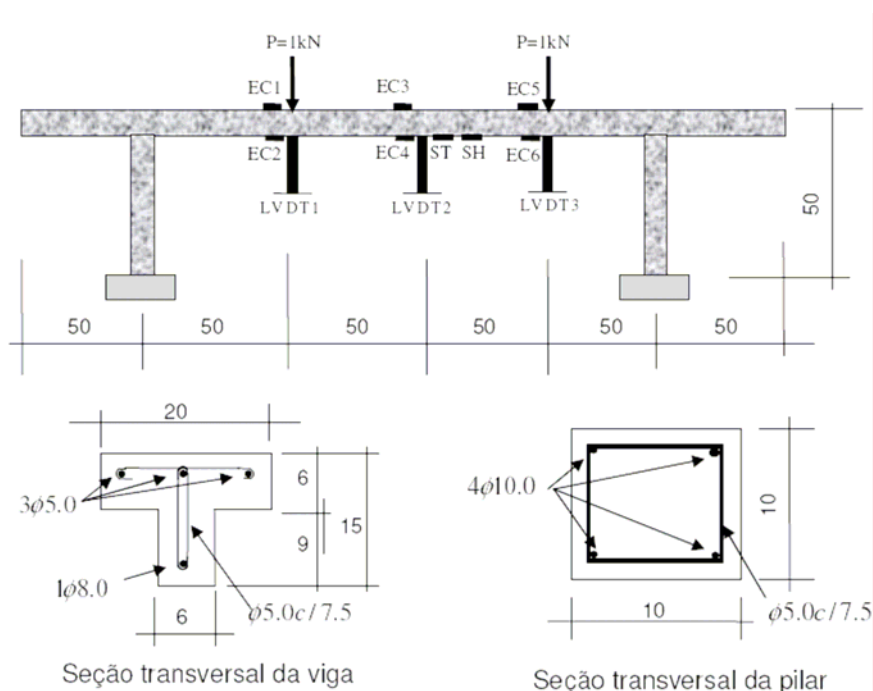


Figura 6 – Protótipo de micro concreto instrumentado para ensaio de carregamento de longa duração para a determinação da fluência e retração

LVDT 1 a 3 – transdutores indutivos de deslocamentos **ST** – sensores elétricos de temperatura ambiente

SH – sensores elétricos de umidade

EC 1 a 6 - extensômetros elétricos externos

EB 1- extensômetros de imersão no concreto

Obs: Durante o tempo previsto de ensaio os sinais dos sensores serão adquiridos e armazenados pelo equipamento DataTaker DT800

Esse equipamento estará ligado a um sistema de aquisição, que proporcionará o registro e armazenamento das leituras efetuadas. Complementarmente, serão preparadas as superfícies laterais dos protótipos para possibilitar a aquisição dos campos de deslocamentos através de fotos digitais em regiões selecionadas.

5.3 Ambiente de Desenvolvimento do Trabalho Laboratorial e Protótipos de Monitoração.

Preferencialmente, realizar-se-ão os ensaios de caracterização dos efeitos de retração e fluência dos protótipos de monitoração e estruturas monitoradas no Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações da Escola Politécnica da USP (Laboratório de Estruturas e Materiais Estruturais–LEM, e Laboratório de Mecânica Computacional–LMC), onde será construída uma câmara climatizada. O laboratório de experimentação físico envolvido (LEM-EPUSP) dispõe de infra-estrutura e equipamentos para ensaios, assim como tem realizado importantes trabalhos visando ao desenvolvimento da área de aplicação de diversos materiais estruturais, destacando-se o estudo de estruturas de concreto, de aço, madeira e mais, recentemente, compósitos poliméricos.

6 FORMA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS

Em relação à análise dos resultados da monitoração dos protótipos, é preciso levar em conta que a análise das leituras, isoladamente, não permite avaliar o comportamento estrutural global da estrutura. Somente quando se associam as causas e os efeitos e se comparam medidas com resultados de cálculo é possível obter e compreender o real desempenho estrutural do sistema.

Para isso, é indispensável que as leituras sejam objeto de uma análise conjunta, incluindo na interpretação os efeitos da retração e fluência.

A modelagem computacional deverá proporcionar a comparação entre os resultados obtidos experimentalmente com aqueles esperados segundo normas vigentes que abordem os estados limites de serviço por deformação excessiva, e ainda os estados limites últimos.

7 CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

O aluno interessado em desenvolver este plano de pesquisa está cursando as disciplinas do programa de Mestrado, visando obter os créditos exigidos.

Em função do exposto anteriormente, pretende-se executar este projeto com início previsto para o início de Setembro de 2006, com o objetivo de atingir seu final, com a conclusão deste e a defesa da dissertação de Mestrado, em período de 24 (vinte e quatros meses) meses, como mostrado na tabela 3 e assim especificado:

TABELA 1 – CRONOGRAMA DE ATIVIDADES								
ATIVIDADES	MESES							
	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24
1. Fundamentação Teórica								
1.1 Disciplinas								
1.2 Revisão Bibliográfica								
2. Montagens e aferição dos equipamentos								
3. Construção e monitoração dos Protótipos								
4. Análise Experimental								
4.1 Ensaios de retração, fluência e resistência do concreto.								
4.2 Ensaios de monitoração dos protótipos								
5. Interpretação e Retro-análise								
6. Análise Numérica								
6.1 Simulação de Modelos Numéricos								
6.2 Análise dos Resultados								
7. Exame de Qualificação								
8. Redação da Dissertação de Mestrado								
9. Defesa da Tese								

8 BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL

- BAZANT, Z. P.; BAWEJA, S. *Concrete creep and shrinkage prediction models for design codes - recent results and future directions*. In: AGUADO, A., GETTU, R. (eds) *Concrete Technology: New Trends, Industrial Applications*. London: E&FN SPON, 1994.
- CAMPILHO, A. *Instrumentação electrónica. Métodos e técnicas de medição*. FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2000.
- CASTRO, A.T., SOUSA, L.R. *Interpretation of the monitored behaviour of a large underground powerhouse using back analysis techniques. International Conference on Engineering Mechanics Today*, Hanoi, 1995.
- CHANG, F. K.(ed). *Structural Health Monitoring*. Third International Workshop, 2001.
- CUSSON, D.; HOOGVEEN, T.; REPETTE, W. L.; QUIAN, S.; BERSZAKIEWICZ B.; WILLOUGHBY, R.; MAILVAGANAM, N. P., *Remote monitoring of concrete repairs on a highway bridge. In: 3RD STRUCTURAL SPECIALTY CONFERENCE*, 2000, London – Ontario, Proceedings of the 3rd Structural Specialty Conference., v. 1, p. 336-343. 2000.
- DOUNGILL, J. W. *Mechanics of concrete systems: current approaches to assessing material behaviour and some possible extensions*. In: BAZANT, Z. P. WITTIMAN, F. H. (eds.). *Creep and Shrinkage in Concrete Structures*, 1982.
- FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE LA PRÉCONTRAÎNTE / COMITÉ EURO-INTERNATIONALE DU BETON. *Evaluation of the time dependent behavior of concrete*. London: Chameleon Press – Bulletin d'Information, 1990.
- FIGUEIRAS, J. A. (Ed.) Encontro Nacional BETÃO ESTRUTURAL 2004 – *Actas do Congresso*, FEUP Edições, 2 Volumes, 2004.
- HARRIS, H.G.; SABNIS, G.M.; *Structural modeling and experimental techniques*, CRC Press, 2nd ed., 1999. ISBN 08493-2469-6.

- HENDRIKS, M. A. N. *Identification of the mechanical behavior of solid materials*. PhD thesis, Technische Universiteit Eindhoven, Netherlands, 1991
- GEYMONAT, G., HILD, F.; PAGANO, S. *Identification of elastic properties by displacement field measurements*. C. R. Mecanique, 330, pp. 403-408, 2002.
- MEASURES, R. M. *Structural monitoring with fiber optic technology*. ACADEMIC PRESS, Toronto, 2001.
- MOORE, J.F.A. *Monitoring building structures*. VAN NOSTRAND REINHOLD, 1992.
- MUFTI, A. *Guidelines for Structural Health Monitoring*. ISIS Canada, 2001.
- MUFTI, A. *Structural health monitoring of innovative Canadian civil engineering structures*. Structural Health Monitoring, v. 2, n° 3. EBSCO. EUA, 2003.
- NATIONAL INSTRUMENTS, *LabVIEW User's Manual*. National Instruments Corporation, 2003.
- RAO, Y.J., *In-fibre Bragg grating sensors*. *Measurement Science and Technology*, v. 8, p. 355 - 375, 1997b.
- WITASSE, R. *Early Age Behaviours of a Purification Wall*. Presentation of DIANA features for Young Hardening Concrete Modelling. TNO DIANA BV, Delft, (2003) 7-9.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE; W. P. *Concretos: massa, estrutural, projetado e compactado com rolo: ensaios e propriedades*. Editora Pini - São Paulo, 1997.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Argamassa Endurecida para Alvenaria Estrutural – Método de Ensaio: NBR 8490*. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Determinação da Fluência – Método de Ensaio: NBR 8224*. Rio de Janeiro, 1983.

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Preparação de Concreto em Laboratório - Procedimento: NBR 12821*. Rio de Janeiro, 1993.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Ensaio de Compressão de Corpos de Prova de Concreto Cilíndricos – Método de Ensaio: NBR 5739*. Rio de Janeiro, 1994.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Argamassas e Concretos – Determinação da Resistência a Tração por Compressão Diametral de Corpos de Prova Cilíndricos – Método de Ensaio: NBR 7222*. Rio de Janeiro, 1994.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Concreto – Determinação do Módulo de Deformação Estático e Diagrama Tensão-Deformação: NBR 8522*. Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Moldagem e Cura de Corpos de Prova de Concreto, Cilíndricos ou Prismáticos – Método de Ensaio: NBR 5738*. Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Projeto de estruturas de concreto - Procedimento: NBR 6118*. Rio de Janeiro, 2003.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. ASTM C 39 In: Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 2000.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Creep of Concrete in Compression*. ASTM C 512 In: Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 2000.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory*. ASTM C 192 In: Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 2000.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard Method for field measurement of soil resistivity using the Wenner four-electrode method*. ASTM G57. In: Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 2000.

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*. ASTM C 469 In: Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 2000.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 209R-92. *Prediction of creep, shrinkage, and temperature effects in concrete structures*. ACI 1992.
- BAZANT, Z. P.; “*Prediction of concrete creep and shrinkage: past, present and future*” Nuclear Engineering and Design 203, 2001.
- COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON. *CEB-FIP Model code 1990*. Lausanne, (Bulletin d'Information, 203). 1991.
- EC2 - EUROCÓDIGO 2. *Projeto de estruturas de betão - parte 1: Regras gerais e regras para edifícios*, 1991.
- JSCE - *Japan Society of Civil Engineers*, 1999.
- MANGINI, S. A.; *Esforços ao longo do tempo em estruturas de concreto*. Revista IBRACON, n. 13, 1996.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto – estrutura, propriedades e materiais*. PINI, São Paulo, 1994.
- NATIONAL INSTRUMENTS, *LabVIEW*, 2005, disponível em <http://www.ni.com/labview/> .
- NEVILLE, A. M. *Creep of concrete: plain, reinforced and prestressed*. North Holland Publishing Co.. Amsterdam, 1970.
- NEVILLE, A. M. *Propriedades do concreto*. São Paulo, PINI, 1997.
- NEVILLE, A. M. *Fluência e retração. Conceitos avançados. Enfoques tecnológico e estrutural*. In: REUNIÃO ANUAL DO IBRACON, 28. Anais. IBRACON, São Paulo, 1986.
- PENTALLA, V.; RAUTANEN, T.; *Microporosity, creep and shrinkage of high-strength concretes*. In: HIGH-STRENGTH CONCRETE – SECOND INTERNATIONAL SYMPOSIUM. *Proceedings*. Detroit, 1990 . (ACI Special Publication, 121).

- RILEM TC 69 *Creep analysis of structures*. Materials and Structures, 1988
- RILEM TC 107 *Guidelines for the formulation of creep and shrinkage prediction models*. Materials and Structures, v. 29, Dec. 1996.
- TAKEUTI, A. R.. *Comportamento resistente imediato e ao longo do tempo de pilares reforçados por meio de encamisamento com concreto de alto desempenho*. EESC – Escola de Engenharia de São Carlos - Tese de doutorado - São Carlos, 2003.
- VAN MIER, J.G.M. *Fracture Processes of Concrete – Assessment of Material Parameters for Fracture Models*, CRC Press, 1997. ISBN 0-8493-9123-7.
- WITTMAN, F.H. *Creep and shrinkage mechanisms*. In: BAZANT, Z.P. WITTMAN, F.H. (eds). Creep and Shrinkage in Concrete Structures, 1982.
- WITTE, F.C, *DIANA User's Manual* – Release 8.1 -- Second ed. -- Teach -- TNO DIANA BV, 2004.
- YOUNG, J.F. *Physical Mechanisms and their Mathematical Descriptions*. In: BAZANT, Z.P. (ed). Mathematical Modeling of Creep and Shrinkage of Concrete, 1988.