

MATÉRIAS PRIMAS BÁSICAS PARA CONCRETO PROJETADO

Antonio Figueiredo

MATERIAIS

- Cimento
- Adições
- Agregados
- Aditivos
- Fibras

- Basicamente os mesmos usados no concreto regular.
- Recentemente: desenvolvimento de materiais específicos como
 - **cimentos,**
 - **aditivos e**
 - **fibras**

CIMENTOS

- Qualquer cimento pode ser utilizado
- Cimentos especiais
 - Serrana TL
 - ARI RS
 - Cimentos de pega rápida
- Compatibilização: $\uparrow f_{c_{inicial}} \Rightarrow \downarrow C_3A$
- Compatibilidade com aditivos

Análise Experimental da Utilização de Cimentos Especiais em Concreto Projetado Via Seca para Túneis

Antonio D. de Figueiredo
José Vanderlei de Abreu
Luiz Otávio Maia Cruz

Introdução

- O Brasil possui tradição na produção de cimentos especiais para concreto projetado destinado ao revestimento de túneis. (Serrana TL, Ciminhas ARI/RS)
- **Nova possibilidade:** uso de um cimento especial de pega e endurecimento rápidos (fundamental para o revestimento primário no método NATM)

Cimento especial para concreto projetado

- Propicia ganho de resistência inicial sem a utilização de equipamentos dosadores.
- Garante-se o fornecimento de uma mistura com o teor de aditivo pré-garantido e pré-homogeneizado (melhor desempenho geral).

Objetivo

- Avaliar a possibilidade de utilização destes cimentos através de um estudo experimental de dosagem do CPVS.

Metodologia

- A metodologia empregada é baseada no proposto por PRUDÊNCIO (1993) e FIGUEIREDO (1999) → necessidade da avaliação dos aceleradores em condições de aplicação.
- Consideração: Não há correlações confiáveis entre os resultados obtidos em pasta e os obtidos em campo (PRUDÊNCIO; ARMELIN e HELENE, 1994).
- Optou-se pela realização de moldagem de duas séries placas (NBR 13070, 1994).

Laboratório de campo



Laboratório de campo



Compressor de ar com capacidade de 10m^3 por minuto (360PCM).

Laboratório de campo



Laboratório de campo



Máquina de projeção com rotor de câmaras (CP 6 – marca Este).

O mangote utilizado possuía diâmetro de 75mm e bico plástico de 50mm com comprimento de 400mm

Laboratório de campo



Alimentação manual da máquina

Moldagem de placas

- Duas séries moldadas sob as mesmas condições e em sequência.
- Critério fundamental: manutenção da consistência constante (NBR 14278).



Determinação da evolução de resistência inicial



Determinação da evolução de resistência inicial



Determinações para maiores idades

- Utilizou-se 3 cps com topos polidos para a determinação da resistência à compressão (NBR 5739) nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias.
- 3 cps foram utilizados para determinação dos valores MAV (NBR 9778).



Variáveis de partida

- Cimentos com dois aditivos não alcalinos.
- Areia média quartzosa lavada.
- Pedrisco de origem granítica ($\Phi_{\text{máx.}} = 9,5\text{mm}$).

Variáveis de partida

Placa	Traço 1:a:b	Consumo de material aglomerante	Aditivo
CA1	1:3,84:2,16	300kg/m³	A
CA2	1:2,88:1,62	400kg/m³	A
CA3	1:1,92:1,08	500kg/m³	A
4	1:2,88:1,62	400kg/m³	A
5	1:2,88:1,62	400kg/m³	B

Resultados obtidos e análise

•Consistência

Placa	Traço 1:a:b	Consistência (MPa)
CA1	1:3,84:2,16	3,14±0,45
CA2	1:2,88:1,62	2,79±0,27
CA3	1:1,92:1,08	3,03±0,39
4	1:2,88:1,62	2,43±0,24
5	1:2,88:1,62	3,26±0,28

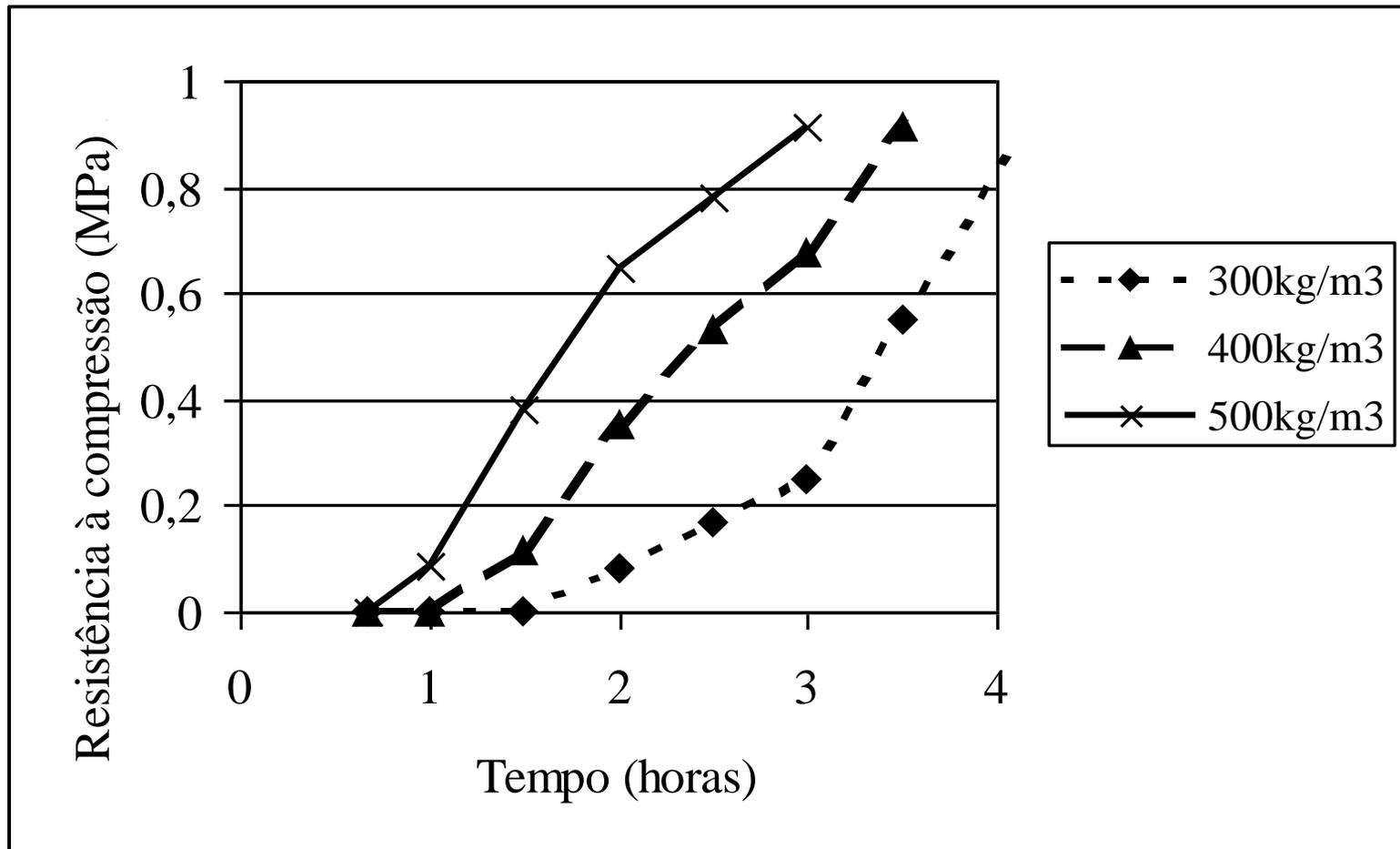
Resultados obtidos e análise

- MAV

Placa	Traço	Absorção por imersão e fervura (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica (kg/litro)
CA1	1:a:b*	7,9	16,8	2,17
CA2	1:3.84:2.16	7,5	16,0	2,22
CA3	1:2.88:1.62	7,6	16,1	2,21
4	1:1.92:1.08	7,9	16,7	2,18
5	1:2.88:1.62	7,9	16,4	2,16

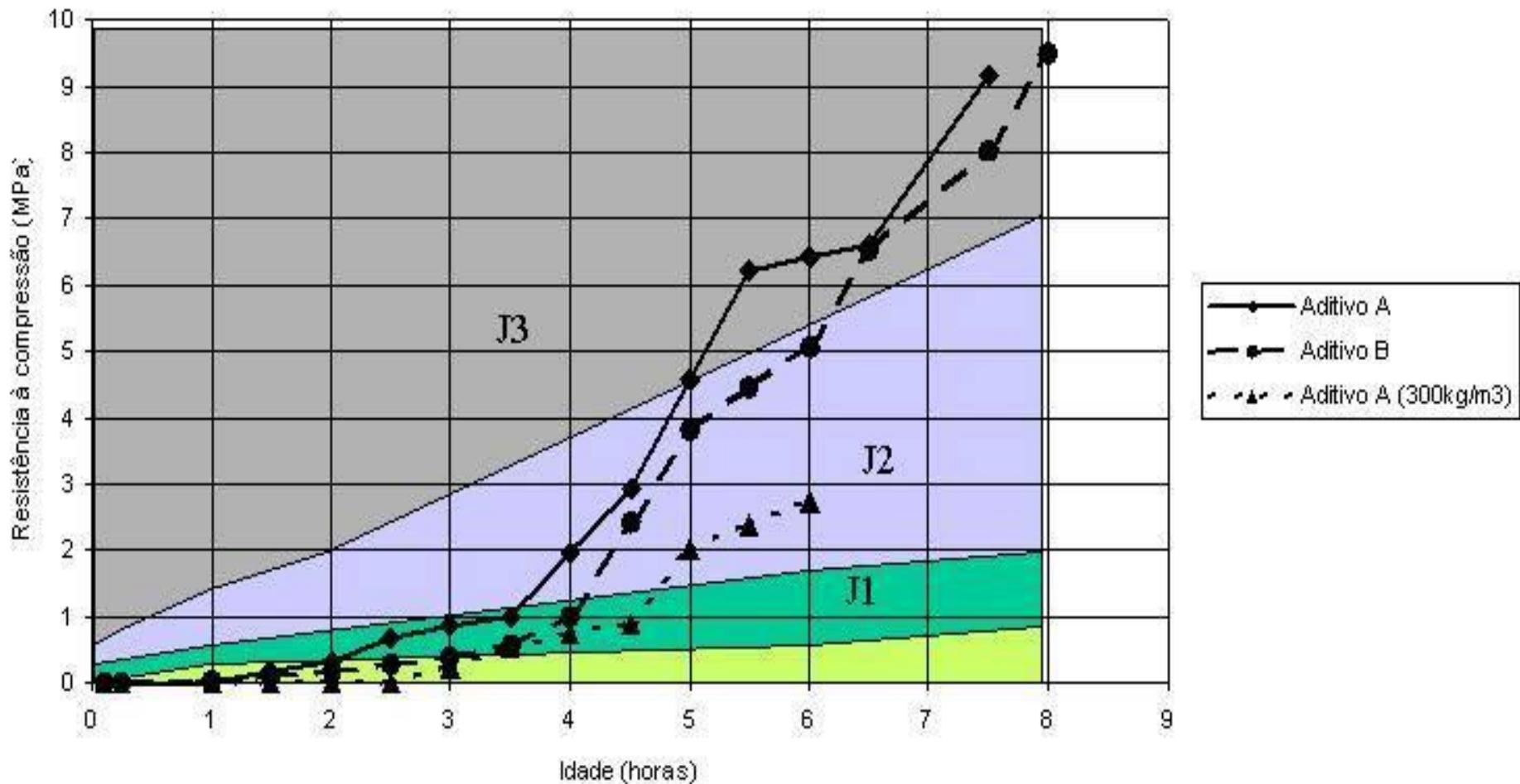
Resultados obtidos e análise

- Resistência inicial



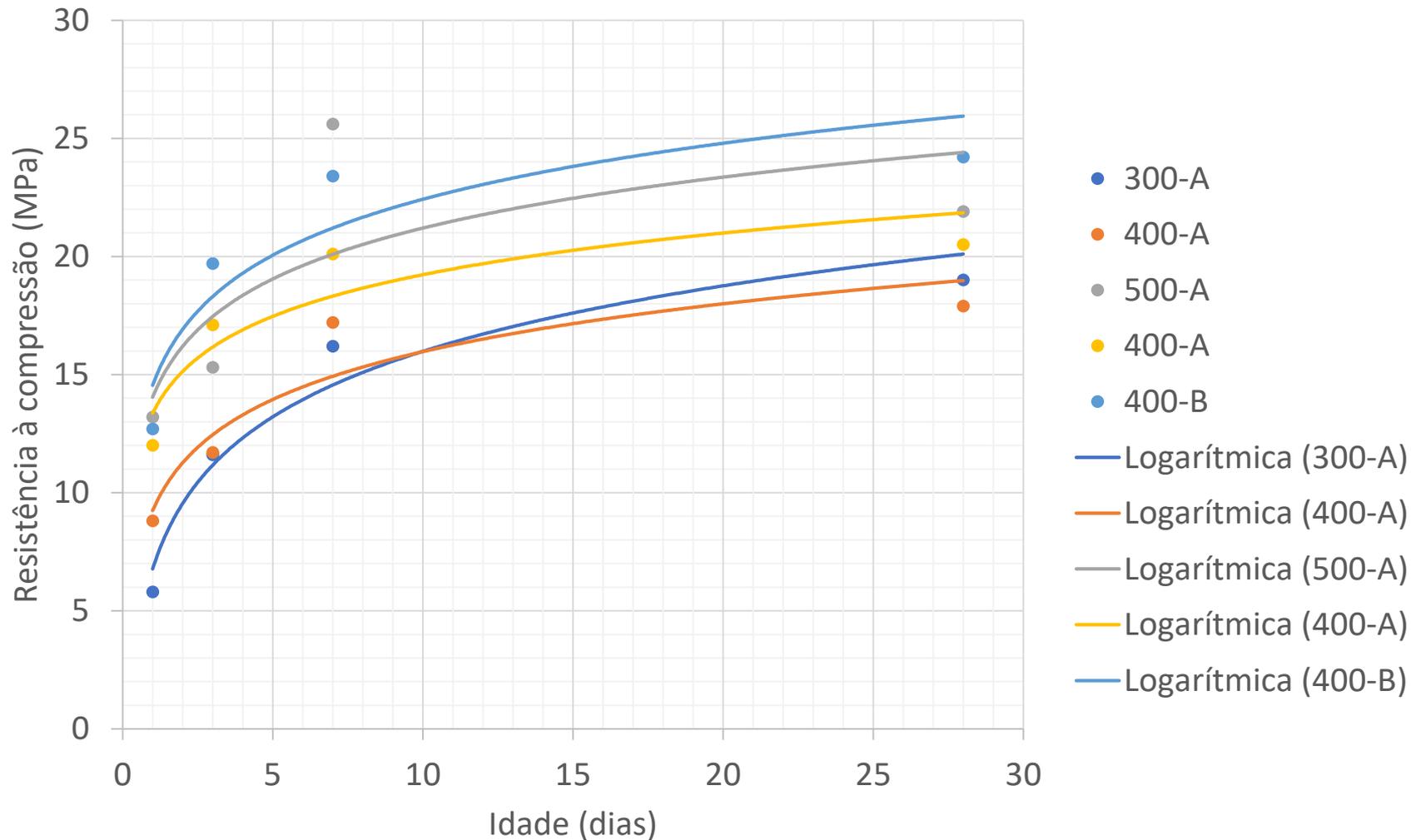
Resultados obtidos e análise

- Resistência inicial



Resultados obtidos e análise

- Resistência a maiores idades



Resultados obtidos e análise

- Resistência a maiores idades
- Baixas resistências podem ser creditadas às dificuldades de projeção (compressor de baixa capacidade) e baixa uniformidade do jateamento.
- Maiores consumos geraram maiores resistências.
- Inversão de comportamento para os aditivos A e B em relação à resistência inicial (efeito “gangorra”).

Comentários finais

- Os cimentos especiais estudados foram capazes de atender às exigências de desempenho com relação às baixas idades, principalmente após cinco ou 6 horas de idade (exigência típica: 5MPa a 8 horas de idade).
- Uso promissor para o atendimento a este requisito facilitando as atividades de projeção por dispensar dispositivos dosadores de aditivos em várias situações.
- O aumento do consumo de cimento proporcionou um ganho de resistência inicial sem prejuízo da resistência final (melhor que aumentar simplesmente o teor de aditivo).

Comentários finais

- Apesar dos problemas encontrados na projeção, foi possível constatar a eficiência destes aditivos nas primeiras idades, sem um prejuízo sensível nas condições de compactação do material.
- O processo acaba influenciando nos resultados e misturas prontas podem não colaborar para o resultado final como o esperado.

Conclusão

- Mais por pesquisar:
 - Efeito do contato com a umidade dos agregados
 - Aspectos ligados à durabilidade
 - Desenvolvimento do comportamento mecânico

ADIÇÕES

- Escória: aglomerante complementar
- Cinza volante: efeito pozolânico
- Sílica ativa: efeito pozolânico e filler
- Metacaulim: efeito pozolânico e filler
- Uso em substituição ao cimento
- Redução da porosidade
- Aumento de f_c { $\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{C-S-H}$ }
- Resistência ao ataque de íons sulfato (redução da fase aluminato)

Concreto projetado por via úmida com metacaulim

Antonio Domingues de Figueiredo

Charles Siervi Lacerda

Guilherme Gallo

Uso de adições pozolânicas no concreto projetado

- Vantagens conhecidas há bom tempo para a **via seca** (SILVA, 1993; MORGAN, 1988)
- Possibilidade de ganho de desempenho na **via úmida**:
 - Redução da reflexão
 - Aumento da resistência e coesão
 - Diminuição da ocorrência do deslocamento

Uso de metacaulim no concreto projetado por via úmida

- Aumento de coesão com possibilidade de redução do teor de aditivos aceleradores de pega para aplicação
 - Quando não há exigência de elevada resistência inicial
- Aumento de resistência esperada com redução da espessura da camada
 - Quando previsto no projeto

Metodologia

- A metodologia de dosagem do CPVU segue a proposta por PRUDÊNCIO (1993).
- Objetivo: atendimento das exigências de resistência inicial e final do concreto, concomitantemente, às relativas à trabalhabilidade (capacidade que o material apresenta de passar pelo equipamento de projeção e ser projetado sem apresentar deslocamentos, formando uma camada de revestimento)

Metodologia

- É obrigatório para o CPVU apresentar um abatimento de tronco de cone mínimo.
- Fixou-se o abatimento às condições exigidas pelo equipamento de projeção utilizado no estudo experimental ($90 \pm 10\text{mm}$).



Metodologia

- Consumo mínimo de finos (PRUDÊNCIO, 1993)
- Fixação do teor de acelerador de pega (para uma série de três placas)
- Variação do teor de metacaulim
- Uma placa extra sem acelerador de pega

Materiais

Material	Tipo	Procedência
Cimento	CP III 40	Votoran Cimentos
Areia	Média	Arevale
Brita	Φmax9,5mm	Engexplo
Metacaulim	Metacaulim HP	Metacaulim do Brasil
Acelerador	Sigunit L22	Sika

Materiais

Placa	Consumo (kg/m ³)					Aditivo
	Cimento	Areia	Pedrisco	Água	Metacaulim	
0-1,5	400	1002	631	235	0 (0%)	6 (1,5%)
5-1,5	380	999	631	238	20 (5%)	6 (1,5%)
10-1,5	360	996	631	245	40 (10%)	6 (1,5%)
15-0	340	993	631	245	60 (15%)	0 (0%)

Moldagem das placas

- Para cada traço foi moldada uma placa seguindo a norma NBR 13070.
- Adotou-se inclinação máxima de 15° e elevadas em relação ao solo para representarem melhor as condições de projeção (FIGUEIREDO, 1997).
 - Verificando a condição de projeção sem deslocamento (abatimento 90 ± 10 mm)

Moldagem das placas



Limitantes

- Em função do sistema de projeção disponível ser o manual, o equipamento foi regulado para a mínima taxa de produção ($3\text{m}^3/\text{hora}$).
- Isto diminui a velocidade de projeção o que dificulta as condições de compactação do material.

Determinações

- Determinação da consistência do concreto recém projetado (NBR 14278)⇒homogeneidade.
- A evolução de resistência inicial determinada através do penetrômetro de profundidade constante (PRUDÊNCIO, 1993).



Determinações

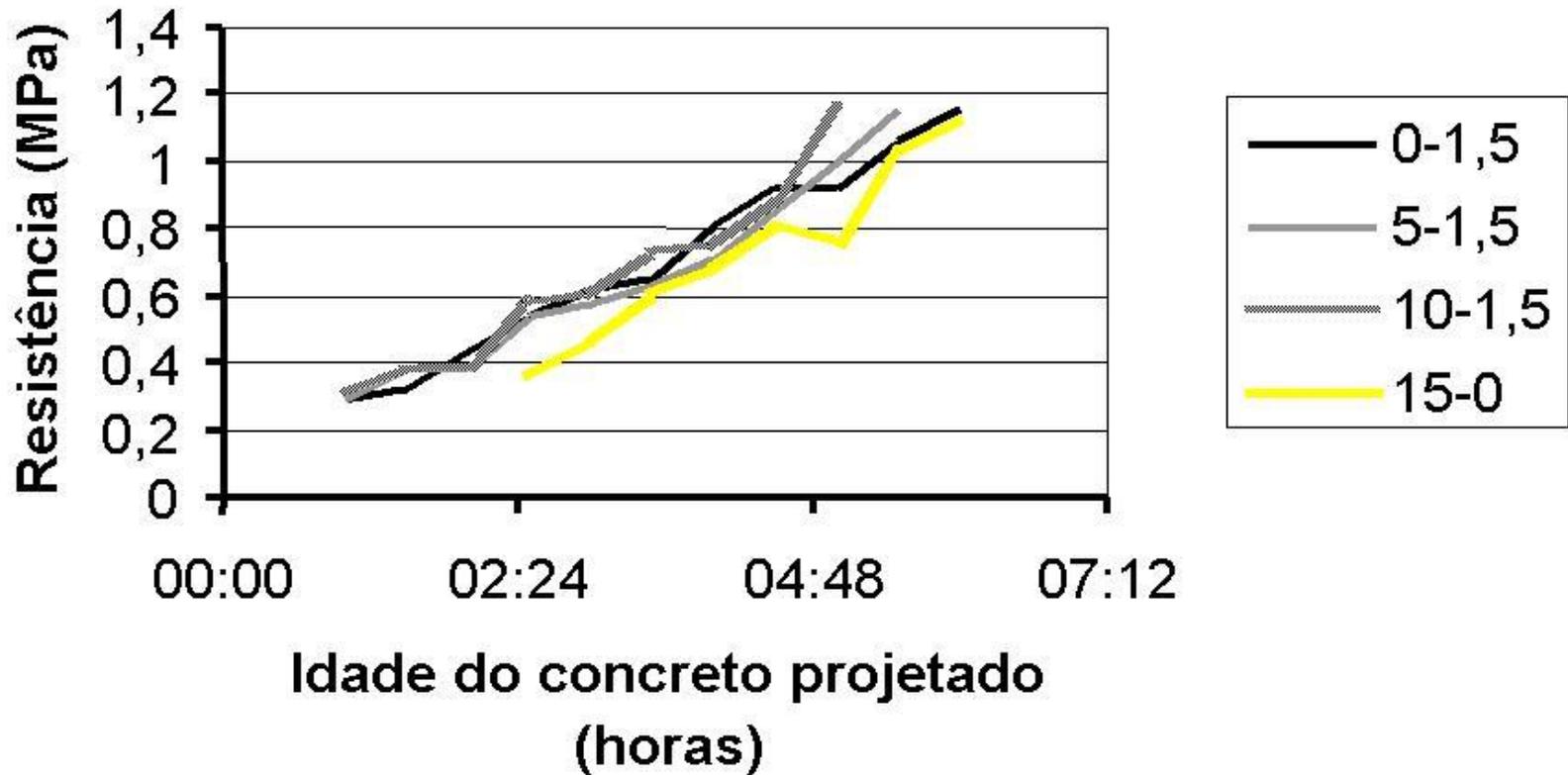
- Extração de testemunhos cilíndricos (NBR 7680) com 1 dia de idade.
- Utilizou-se 3 cps com topos polidos para a determinação da resistência à compressão (NBR 5739) em cada idade.
- 3 cps foram utilizados para determinação dos valores MAV (ASTM C642).

Resultados: consistência e slump

Placa	“Slump” (mm)	Consistência (MPa)	Água (kg/m ³)
0-1,5	90	0,4	235
5-1,5	95	0,9	238
10-1,5	85	0,8	245
15-0	85	0,0	245

- Desplacamento: não ocorreu em nenhuma placa

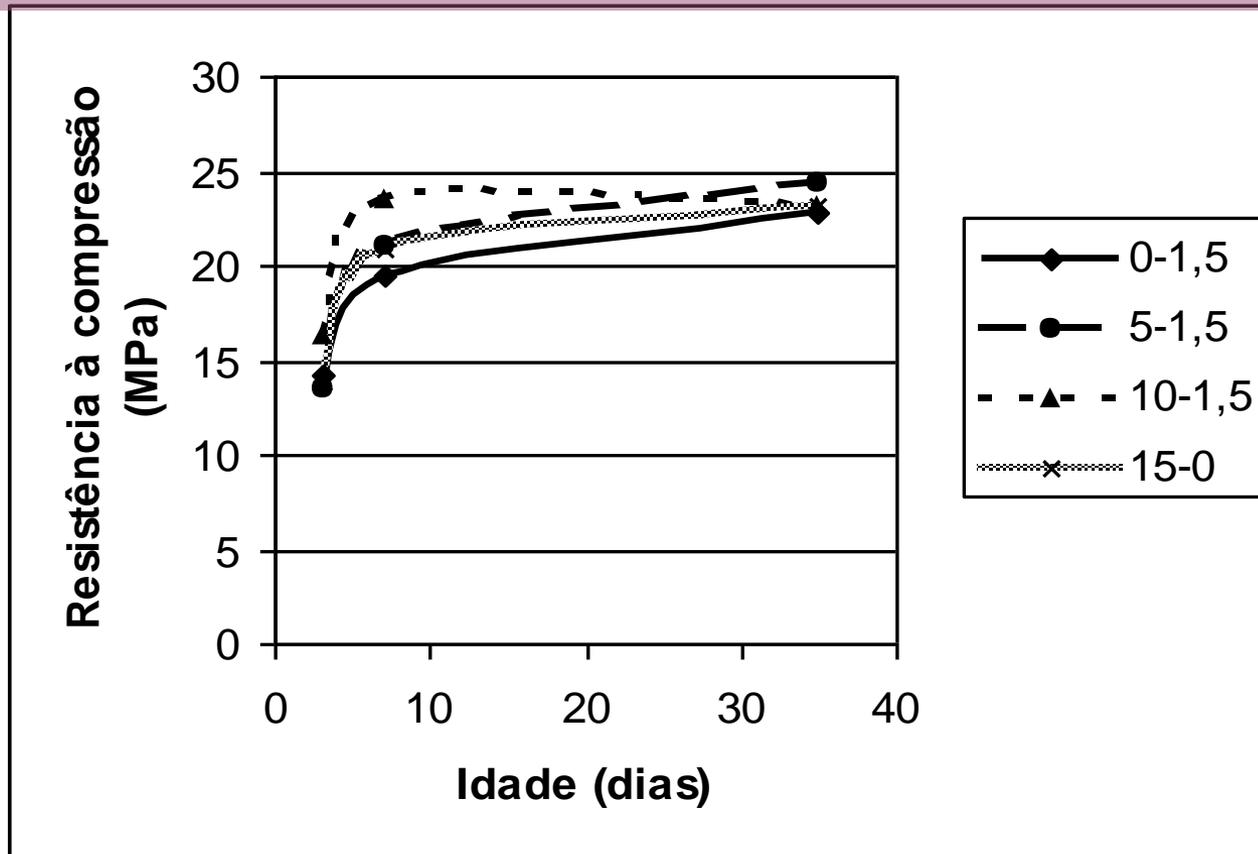
Resultados



Resistência inicial

Incompatibilidade cimentoXaditivo (não houve variação significativa)

Resultados



Resistência a maiores idades

Sem variação significagiva para 35 dias de idade

Resultados: avaliação de porosidade sem variação significativa

Placa	Absorção por imersão e fervura (%)	Massa específica (kg/m ³)	Índice de vazios permeáveis (%)
0-1,5	7,87±0,15	2,29±0,01	16,7±0,27
5-1,5	8,41±0,22	2,29±0,00	17,7±0,41
10-1,5	8,85±0,13	2,27±0,01	18,5±0,20
15-0	8,74±0,10	2,27±0,00	18,3±0,15

Compacidade

Não 'compatível' com a resistência

Comentários finais

- O estudo experimental do CPVU é sempre difícil pela influência do processo (FIGUEIREDO, 1992)
- O metacaulim não apresentou qualquer influência no ganho de resistência inicial do CPVU
- O baixo desempenho encontrado pode ser atribuído à incompatibilidade entre o aditivo e o cimento C-III 40
- O ganho de coesão proporcionado pelo metacaulim possibilitou a aplicação do CPVU sem o uso de aditivos aceleradores

Perguntas

- Como explicar que o Metacaulim não produziu ganho de resistência mecânica?
- Como deveriam ser feitos os testes?

Comentários finais

- Para o CPVU com acelerador, houve um ganho de resistência com o aumento do teor de metacaulim (principalmente para as idades de 3 e 7 dias)
- O fator que contribuiu para a maior porosidade do material foi o maior consumo de água: solução é utilização de superplastificante.
- Necessidade de estudo mais amplo para verificação das outras possibilidades

Comentários finais

- Demonstração clara da preocupação de ajuste do processo de projeção para se obter resultados confiáveis e fidedignos da real influência da adição.

SÍLICA ATIVA

- Subproduto das fábricas de ferro-liga (SiO_2 amorfo)
- Muito mais fino que cinza volante e cimento.
- Adição mais popular para o concreto projetado (farta bibliografia)

Produto	Superfície específica (m^2/g)	Massa específica (g/cm^3)	SiO_2 (%)
Cimento Portland	0,25-0,50	3,12-3,15	17-25
Cinza-volante	0,30-0,50	2,35	40-55
Sílica-ativa	18-22	2,16	88-98

Sílica ativa

- Dosagens: de 4 a 15%
 - 8% (M. Silva, 1993)
- Em peso como substituição ao cimento
- Uso: via seca (??)
via úmida (com plastificante)
- Pré-misturada ao cimento

Vamos fazer continhas...

Produto	Massa específica (g/cm ³)
Cimento Portland	3,12-3,15
Cinza-volante	2,35
Sílica-ativa	2,16

Considerando o traço abaixo em termos de consumo de cimento por m³ de concreto. Estimar a variação dos consumos volumétricos pela substituição do cimento por 10% de S-A

	Cimento	Areia	Pedrisco	Água
Consumo (kg/m ³)	400	1002	631	235
Massa específica (kg/litro)	3,1	2,7	2,7	1

Vantagens do uso da sílica-ativa

- Aumento de f_c
- Redução da permeabilidade e aumento da durabilidade
- Aumento da coesão (\uparrow camada)
 - (\downarrow deslocamento)
 - (\downarrow reflexão)
- Aumento da tensão de escoamento inicial (via úmida)
- Pré-misturada ao cimento?

Desvantagens do uso da sílica-ativa

- Aumento de coesão pode gerar entupimentos
- Difícil homogeneização
- Retração
- Reduz abatimento (via úmida)

Agregados

Natural (peneiramento)



Cascalho
> 4,8 mm

Areia
> 4,8 mm



Artificial (britagem de rochas)



Brita
> 4,8 mm

Areia
< 4,8 mm





PEDREIRAS



Mineração de areia

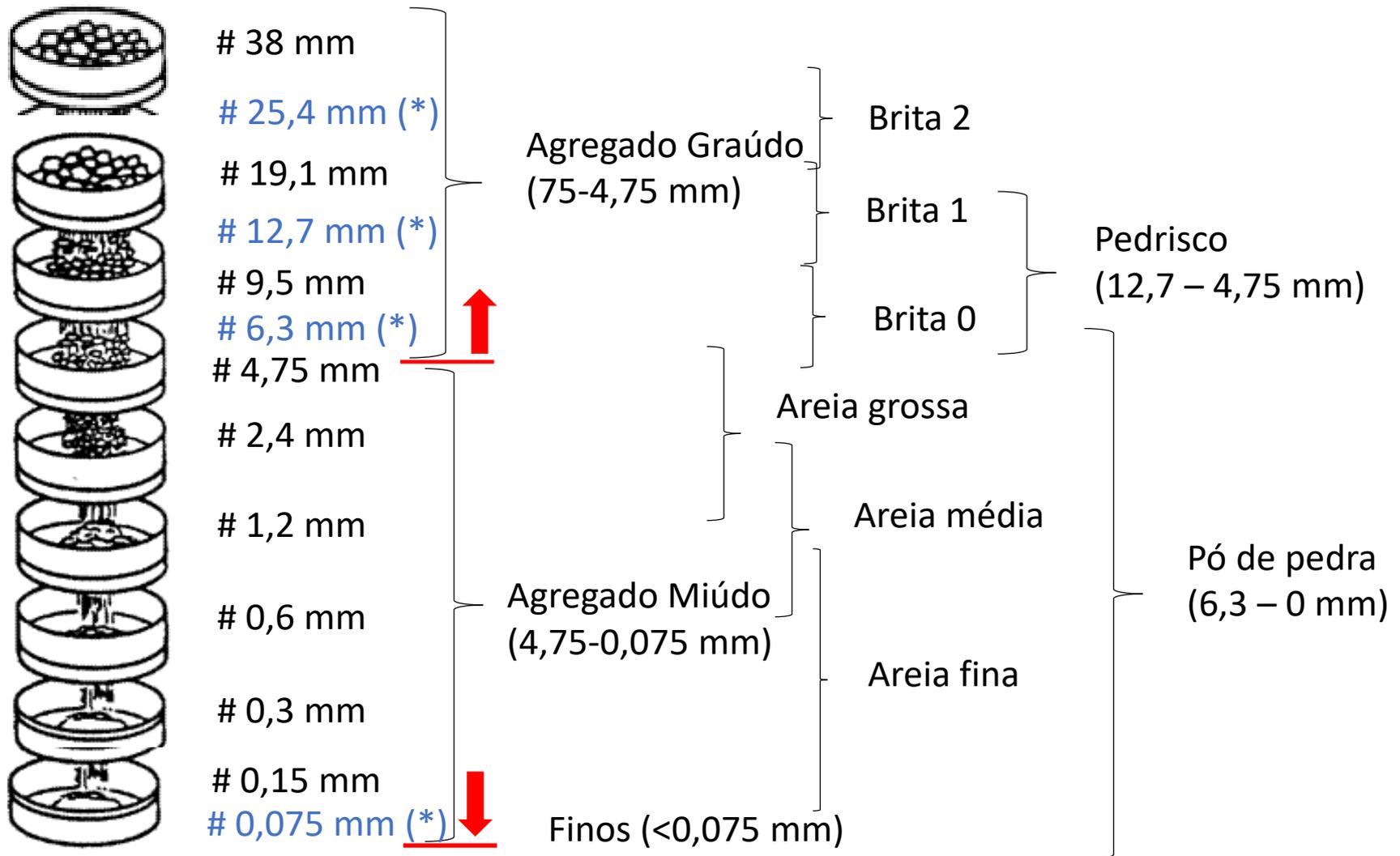


Agregados

- Classificação em diferentes faixas de tamanhos (por peneiramento)



Classificação de tamanho (peneiramento)



Granulometrias recomendadas

ABERTURA DA PENEIRA (mm)	PORCENTAGENS EM MASSA RETIDAS ACUMULADAS NAS PENEIRAS		
	GRADUAÇÃO Nº1	GRADUAÇÃO Nº2	GRADUAÇÃO Nº3
19,0			0
12,5		0	5-20
9,5	0	0-10	10-30
4,8	0-5	15-30	30-50
2,4	0-20	30-50	45-65
1,2	15-50	45-65	60-80
0,6	40-75	65-80	70-90
0,3	70-90	80-92	83-95
0,15	90-98	90-98	90-98

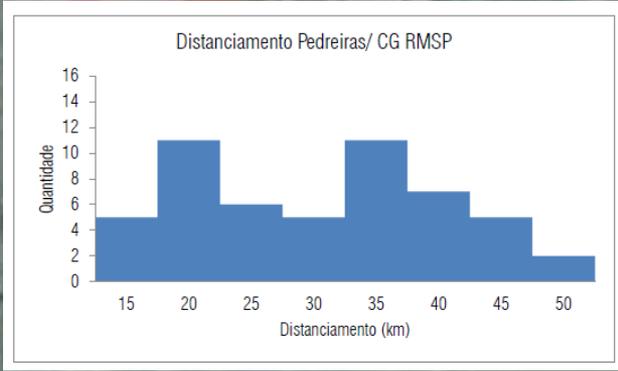
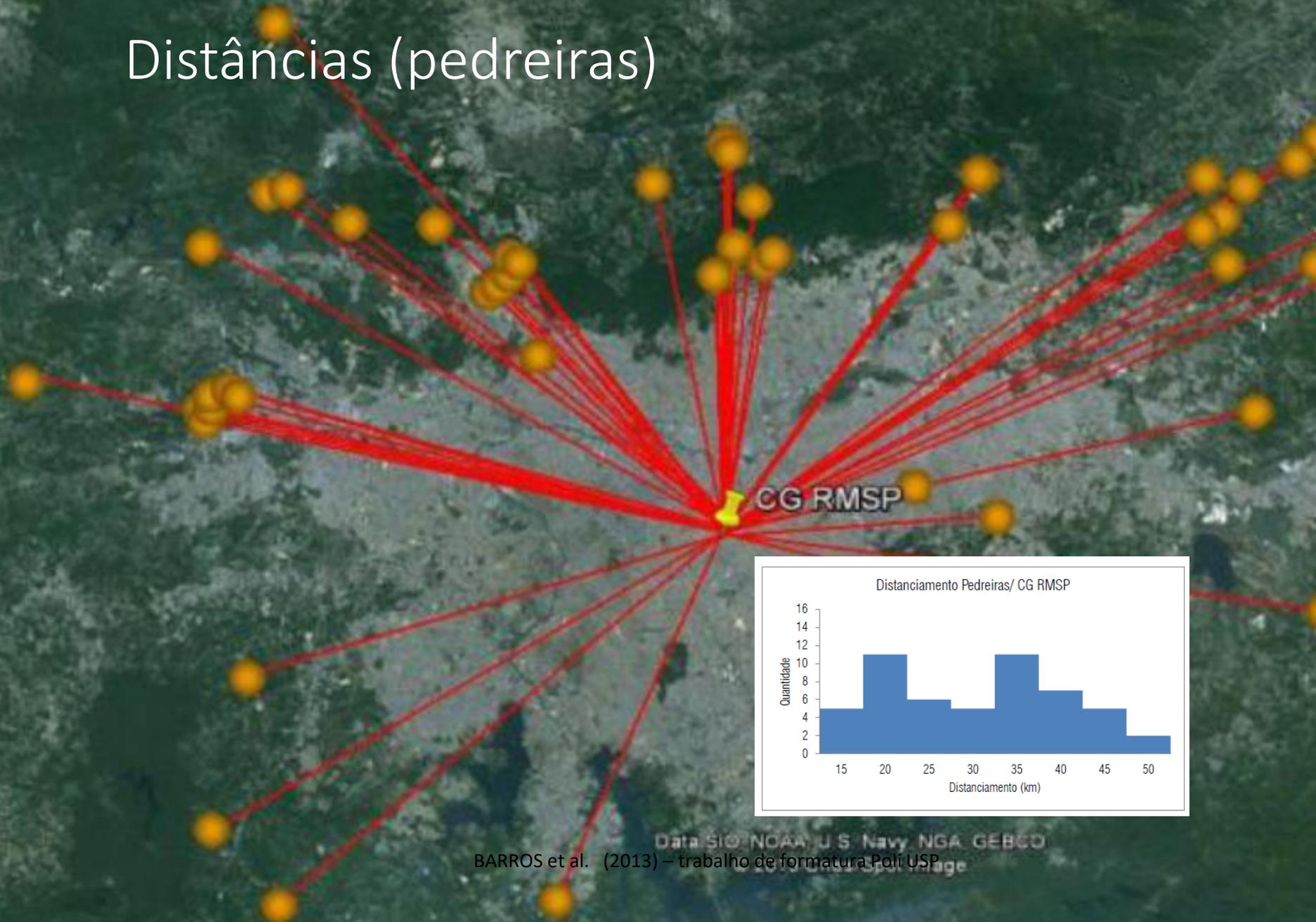
Finos de Pedreiras (resíduos)

**O pó da britagem
representa
10-20% da
produção!!!**

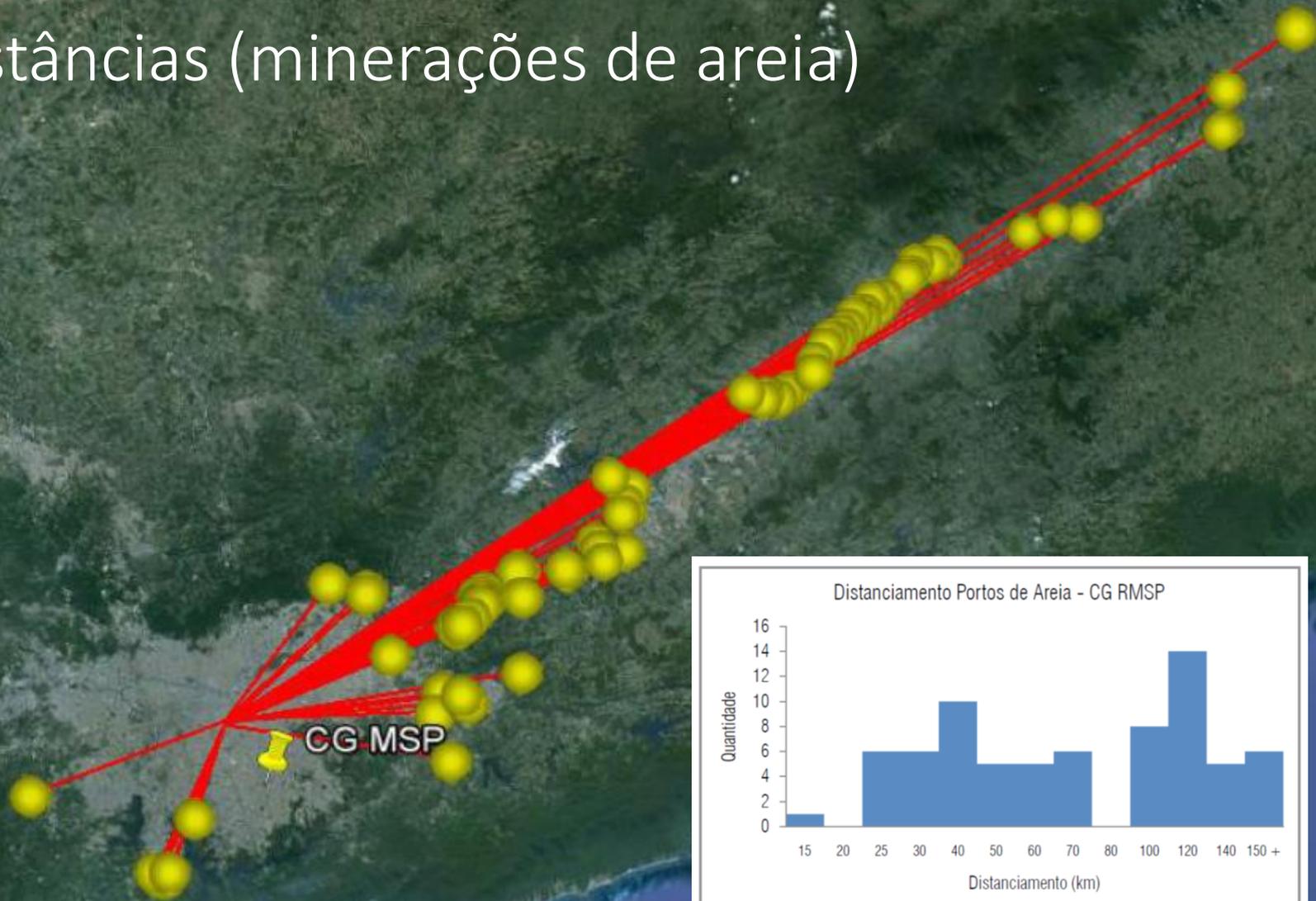


Dissertação mestrado UFBA - J. A. Santana - 2008

Distâncias (pedreiras)



Distâncias (minerações de areia)



Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
© 2013 Cnes/Spot Image

SOUZA (2013) – trabalho de formatura FAU USP

Agregados

- Obtidos por operações simples (britagem, peneiramento) de rochas naturais
- Preço é muito influenciado pelo custo do transporte (logística)
- Na Região Metropolitana de São Paulo
 - Brita – R\$ 50 por tonelada
 - **Areia – R\$ 70 por tonelada**
 - **Afetada pela escassez em grandes centros urbanos.**



Escassez localizada

- Pode haver escassez local de agregados
 - em regiões densamente povoadas (distâncias crescentes)
 - Paris, RMSP
 - em regiões sem maciços rochosos próximos
 - Amazonas, Acre (falta brita)
 - em regiões com poucos terrenos sedimentares
 - Goiânia, São Paulo (falta areia)
- Restrições ambientais, oposição de vizinhança, custos elevados de exploração

Em caso de esgotamento de jazidas, quais são as alternativas?



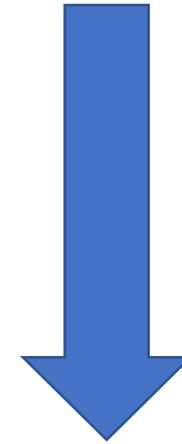
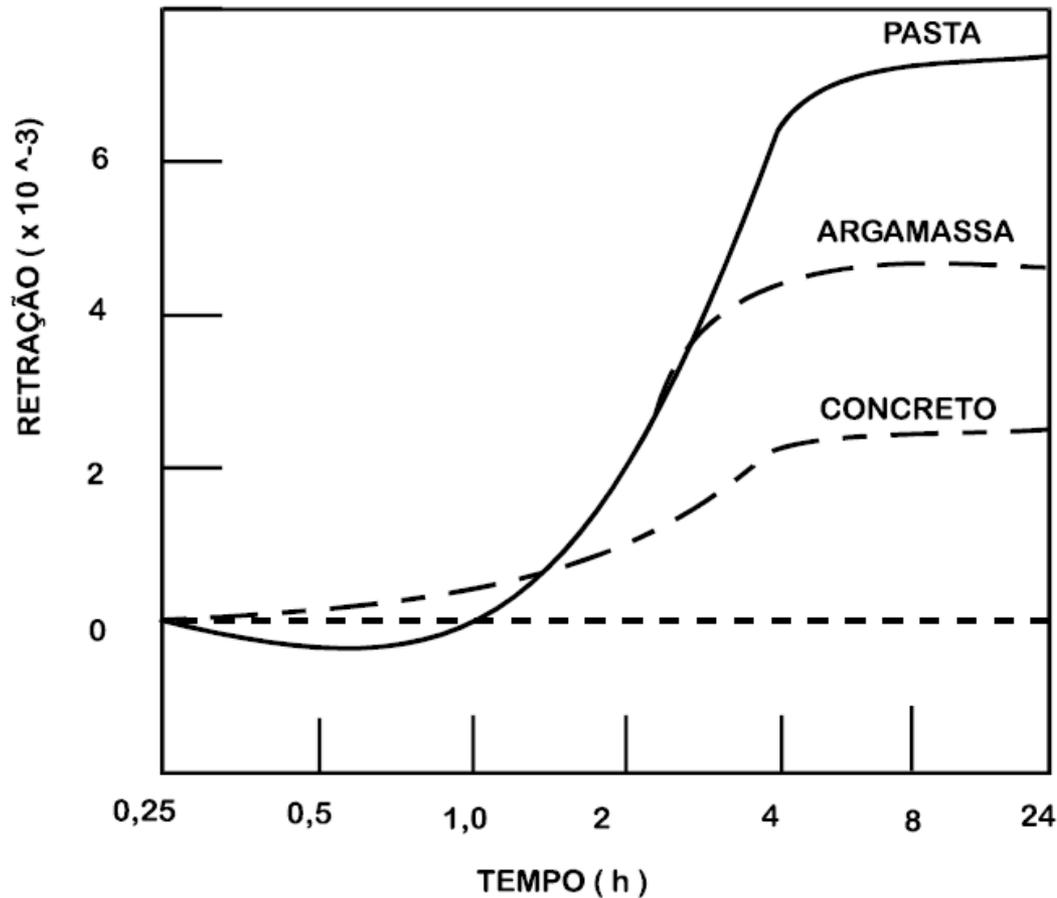
Agregados reciclados



Demolição e britagem de estrutura de concreto
Resíduos de Construção ou Demolição (em geral)

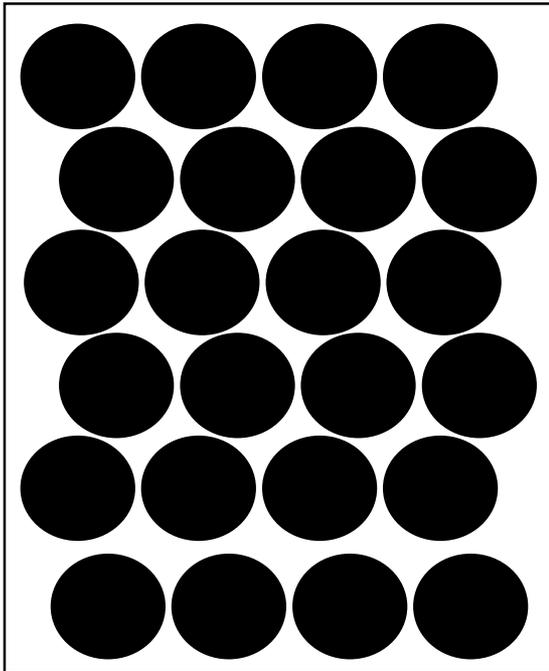
Chan, C. Use of recycled aggregate in shotcrete and concrete. MSc Thesis. University of British Columbia. 1998.

Agregados e retração por secagem

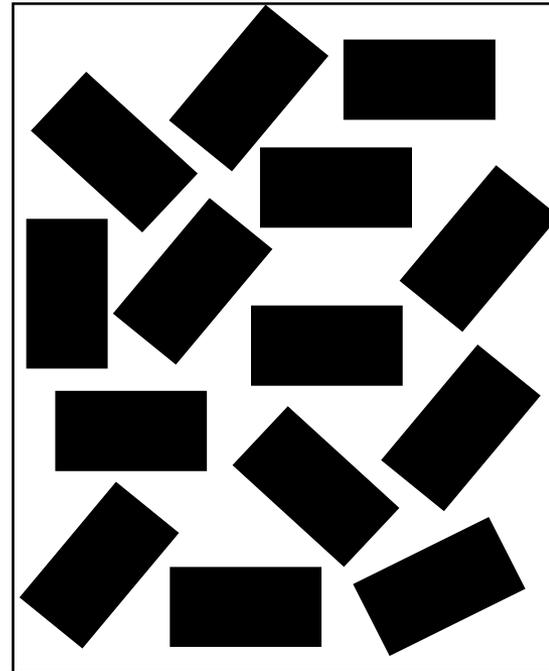


Aumento do vol. de agregados

SELECIONAR A FORMA DOS AGREGADOS

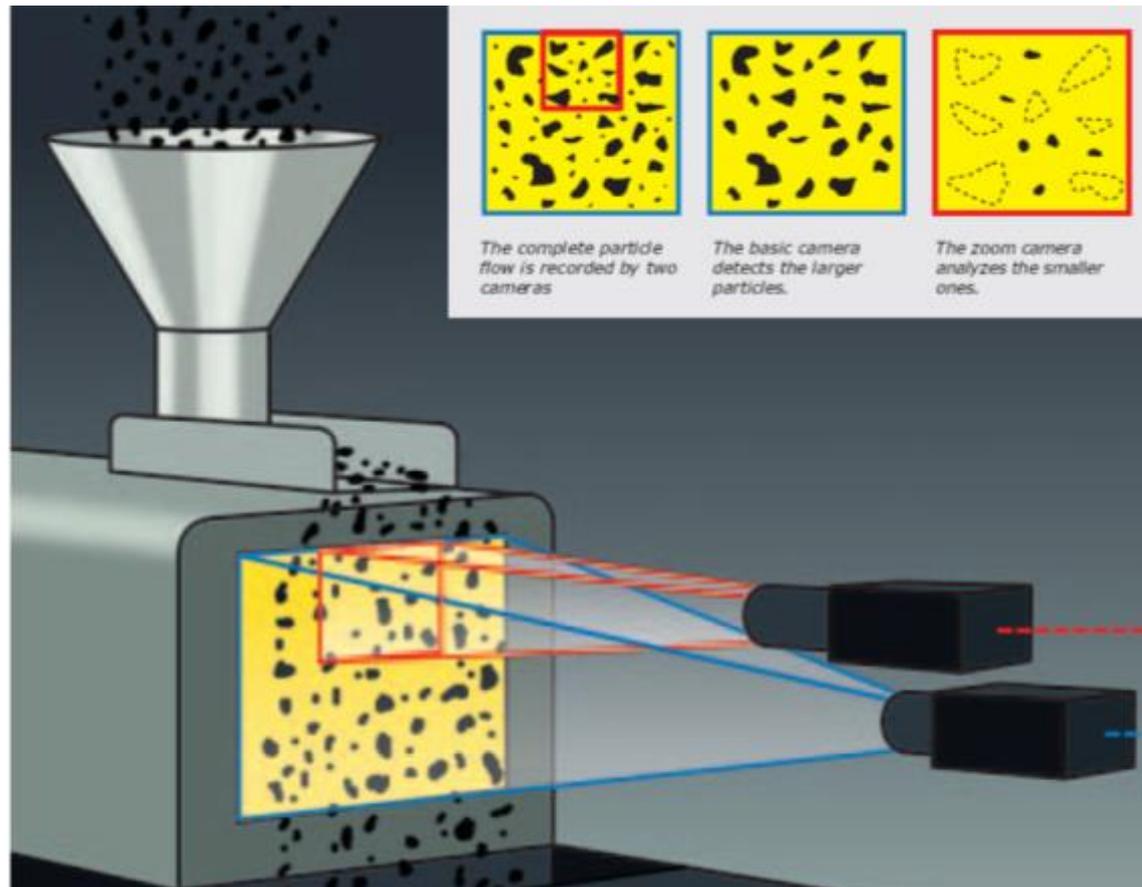


Menor índice de vazios
Movimentação facilitada



Maior índice de vazios
Movimentação dificultada

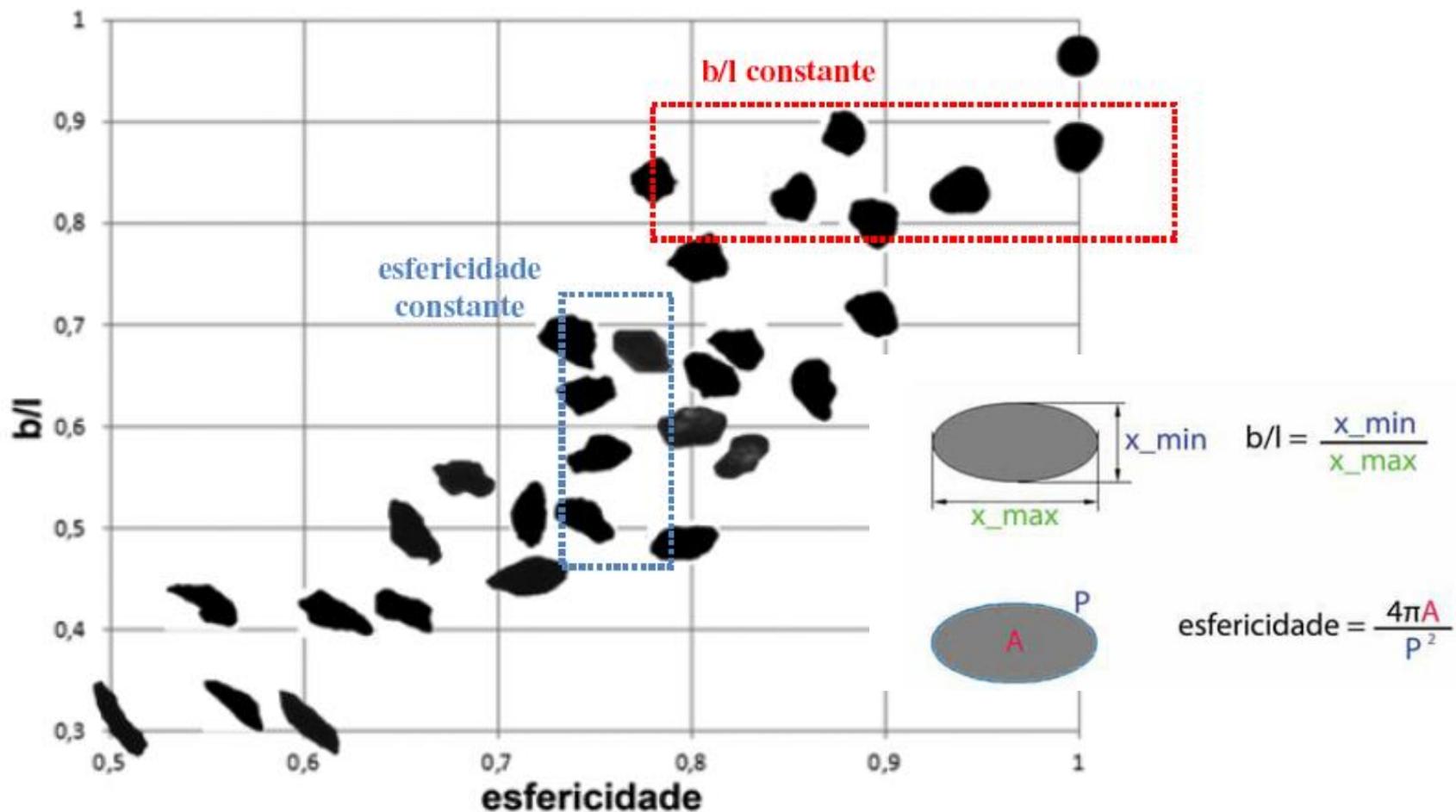
Medição da forma



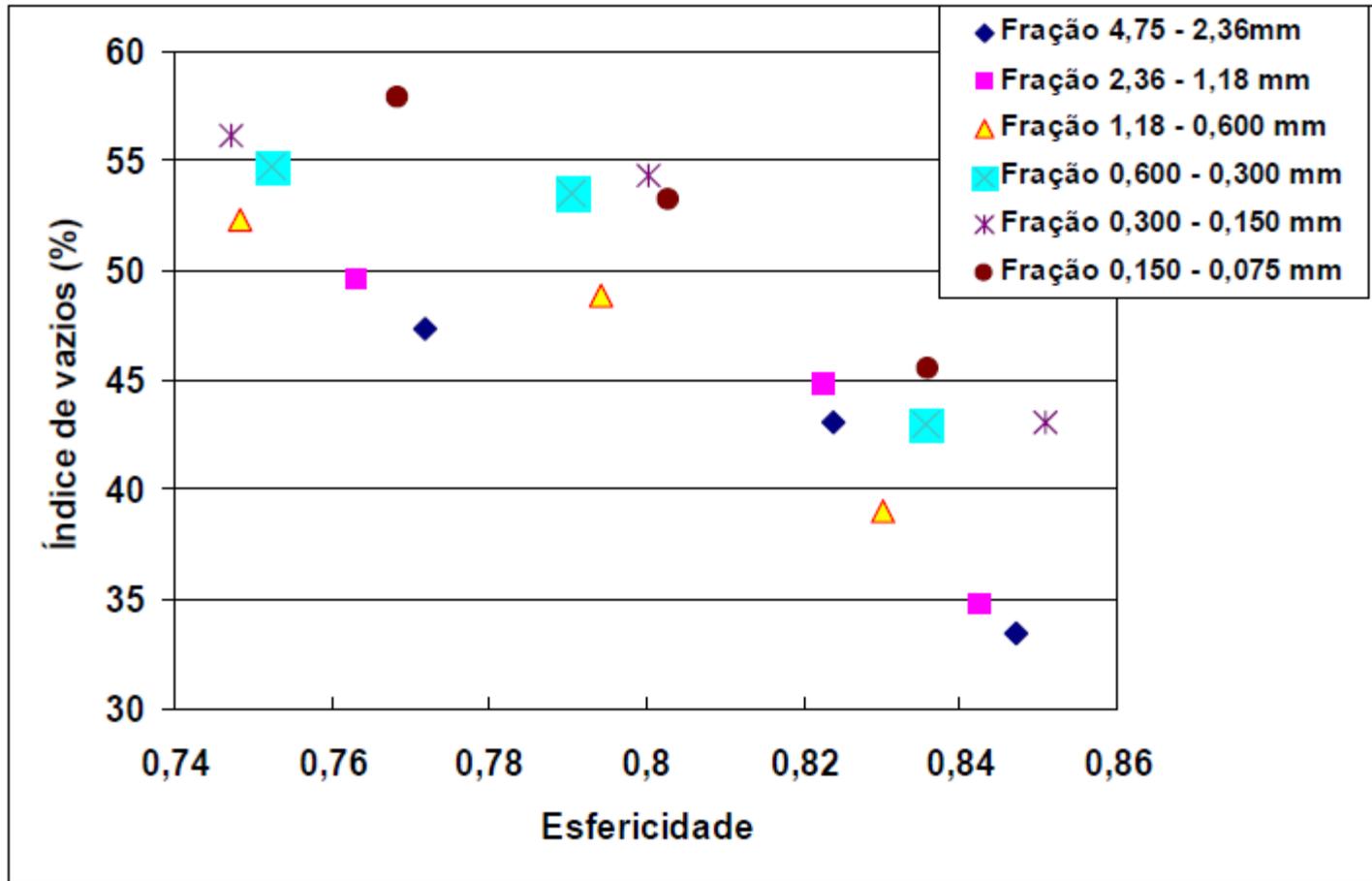
**Análise de imagens por
fluxo dinâmico de
partículas**

**Equipamento Retsch -
Camsizer**

Morfologia das partículas



ESFERICIDADE E VAZIOS



Tristão (2005)

AGREGADOS

- Seixo rolado: baixa coesão
- Irregulares: abrasão e “embuchamento”
- Lamelares: aprisionamento de ar e entupimentos
- Principal característica: **granulometria**
- Reflexão = f(granulometria)
- Proporção areia/pedrisco
- $\Phi_{\text{máx}} = f(\text{espessura}) \sim 9,5\text{mm}$ (pedrisco)

ESTABILIDADE QUÍMICA

Reação álcali-agregado (RAA)

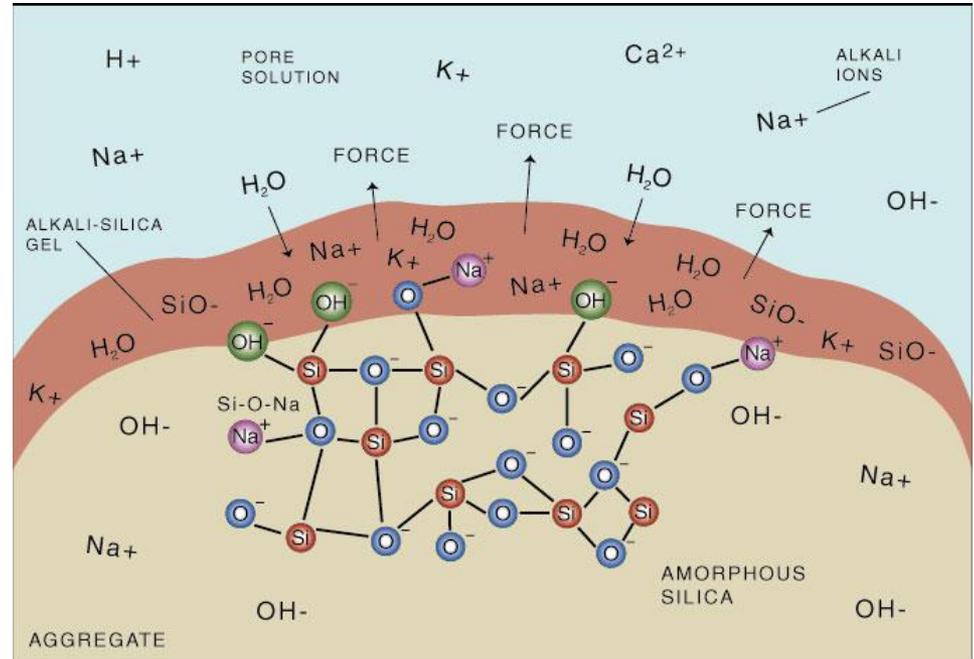
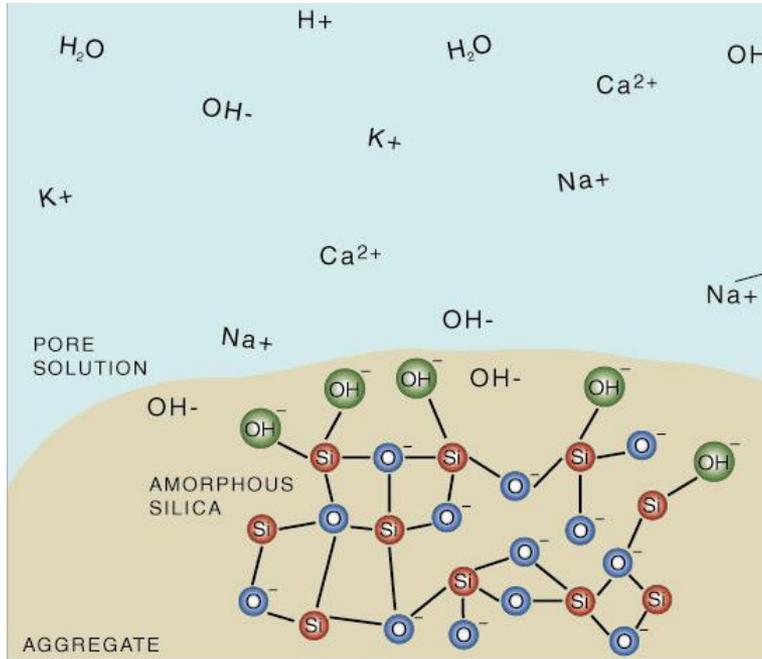


**RAA no edifício residencial em
Boa Viagem
Idade: 09 anos
março de 2004**

Tibério Wanderley C. de O. Andrade, José Jeferson do Rêgo Silva
PROFESSORES DA UFPE

Reação álcali-agregado

- Reação química dos álcalis do cimento com sílica reativa dos agregados, que forma um gel que se expande ao absorver quantidades crescentes de água
- O processo é **muito lento**.



Condições para a reação

■ Agregado reativo

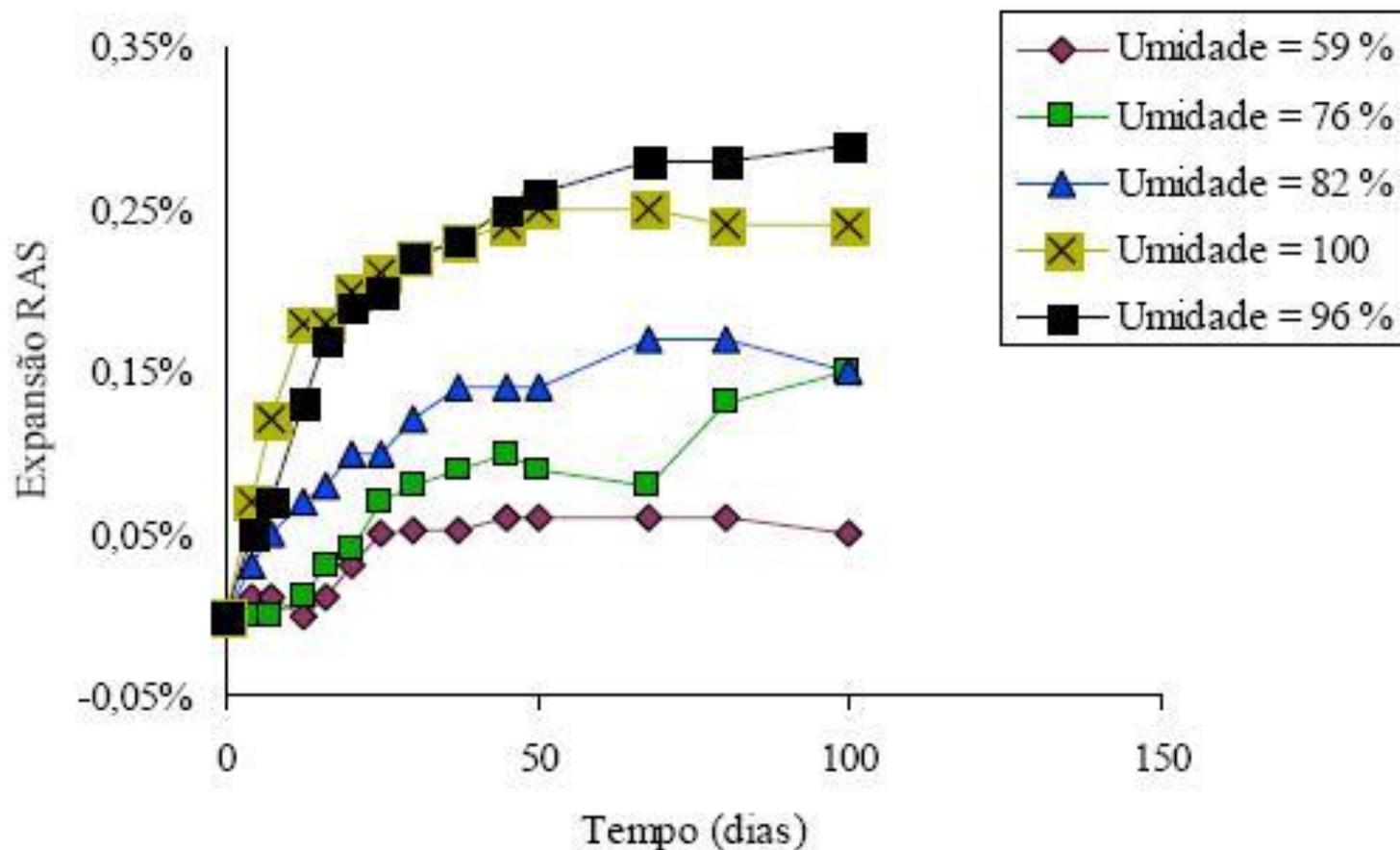
- Fazer análise petrográfica
 - Fases que contenham sílica reativa (biotita, filonita, ...)
- Expansibilidade acelerada a alta temperatura em barras de argamassa

■ Elevado teor de álcalis no cimento

- Priorizar cimentos com escória (CP III) ou pozolanas (CPIV) (menos álcalis)
- Evitar CP V

■ Umidade

Reação álcali-agregado e a umidade



Expansão devida à RAS em amostras de argamassa submetidas a diferentes umidades relativas (FORAY et.al. 2004).

Reação álcali-agregado

- Conjunto de normas ABNT NBR 15577 (não consta da NBR 6122)
- Agregado reativo (avaliação específica)
- Álcalis no cimento (utilização de cimentos CP III ou CP IV e/ou adição de pozolana)
- Umidade

ABNT NBR 15577

ABNT NBR 15577-1 Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto

ABNT NBR 15577-2 Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 2: Coleta, preparação e periodicidade de ensaios de amostras de agregados para concreto

ABNT NBR 15577-3 Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 3: Análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto

ABNT NBR 15577-4 Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado.

ABNT NBR 15577-5 Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 5: Determinação da mitigação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado

ABNT NBR 15577-6 Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 6: Determinação da expansão em prismas de concreto

Comentário final: não se pode ignorar que o concreto projetado é muito susceptível à reação álcali-agregado, mas o grande volume de poros e teor de argamassa podem salvar o tornar este ponto como não crítico para a durabilidade da estrutura.