

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Vinícius Fiabani**

**EDIFICAÇÕES COM PAREDES DE CONCRETO:  
FATORES QUE INFLUENCIAM NO SURGIMENTO DE  
DEFEITOS NA SUPERFÍCIE DAS PLACAS**

Porto Alegre  
dezembro 2010

**VINÍCIUS FIABANI**

**EDIFICAÇÕES COM PAREDES DE CONCRETO:  
FATORES QUE INFLUENCIAM NO SURGIMENTO DE  
DEFEITOS NA SUPERFÍCIE DAS PLACAS**

Trabalho de Diplomação a ser apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientador: Ruy Alberto Cremonini**

Porto Alegre  
dezembro 2010

**VINÍCIUS FIABANI**

**EDIFICAÇÕES COM PAREDES DE CONCRETO:  
FATORES QUE INFLUENCIAM NO SURGIMENTO DE  
DEFEITOS NA SUPERFÍCIE DAS PLACAS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, dezembro de 2010

Prof. Ruy Alberto Cremonini  
Dr. pela Universidade de São Paulo  
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA**

**Profa. Ana Luiza Raabe Abitante UFRGS**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Enga. Francieli Tiecher Bonsembiante UFRGS**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof. Ruy Alberto Cremonini UFRGS**  
Dr. pela Universidade de São Paulo

Dedico este trabalho a meus pais, Edi e Valdemar, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado e a meus irmãos.

## **AGRADECIMENTOS**

Meus primeiros agradecimentos vão para a minha amiga engenheira Mariana de Moraes Righi, que foi a incentivadora inicial desse assunto, demonstrando visão sobre as evoluções da construção civil, interesse em ajudar e por ter me conseguido os primeiros materiais que me deram fundamentos sobre o assunto.

Ainda em caráter de primeiros agradecimentos, dedico-os ao mestre Oleur Francisco de Souza, da fábrica de pré-moldados da Rossi Residencial, por ter me apresentado o processo e materiais de fabricação de pré-moldados, e por ter dividido comigo seu imenso conhecimento e experiência a respeito do assunto.

Agradeço concomitantemente aos mestres da Rossi, Eugênio Kaiser e Jair Antônio Rodrigues Machado, que me acompanharam na linha de montagem das peças e trocaram ideias comigo, com especial agradecimento ao segundo, que considero ter extrema capacidade de liderança no trabalho, por sempre se demonstrado disposto a ouvir minhas sugestões, apesar de as vezes terem sido radicais.

Agradeço ao técnico Diego Calata Farina, da Rossi, pelas informações preciosas e por sempre poder contar com ele quando não pude estar presente na produção e precisava ter informações confiáveis.

Ao engenheiro Rogério Rocha, meus agradecimentos são pelos materiais emprestados e principalmente por sua amizade e interesse fornecidos.

Agradeço, por fim, aos professores Ruy Alberto Cremonini, por ter sido meu orientador e por sempre estar disposto a ajudar, mesmo quando compliquei com os horários, e Carin Maria Schmitt, por ser excelente pessoa e por conduzir o trabalho de conclusão do curso de forma brilhante, ficando para mim marcada como uma das cadeiras mais importantes e que mais me enriqueceram na graduação.

O que sabemos é uma gota; o que ignoramos é um oceano.

*Isaac Newton*

## RESUMO

FIABANI, V. **Edificações com paredes de concreto:** fatores que influenciam o surgimento de defeitos na superfície das placas. 2010. 86 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

A construção civil passa por um momento de franca expansão. Existem atualmente inúmeras possibilidades de crédito para construtoras e clientes, uma forte demanda por moradias no País e um mercado disposto a adquirir imóveis. Todos esses fatores têm contribuído para o resgate de formas mais produtivas e econômicas de se construir por parte das empresas do ramo. Além do mais, esses consumidores tem se tornado mais informados e exigentes. Todas essas ideias convergem para um único ponto, que é a busca por formas mais industrializadas de se executar imóveis. A construção com paredes de concreto, que teve destaque há algumas décadas, promete atender todas essas demandas. A grande vantagem desse processo é a possibilidade de se construir de forma mais mecanizada, tornando-o mais rápido, com maior qualidade e com menos resíduos gerados. Contudo, ainda há muito o que aprender nesse sistema que está sendo retomado, mas já desponta como uma excelente solução. Uma dessas melhorias é proposta nesse trabalho. Sabe-se que um imóvel executado com essa tecnologia recebe o acabamento final diretamente sobre as placas pré-moldadas, após a montagem no canteiro de obras, e que, como o processo não é perfeito, essas placas são normalmente produzidas apresentando defeitos em sua superfície que criam etapas extras no processo. O que se busca nessa pesquisa é compreender melhor o processo de moldagem das paredes de concreto e os materiais envolvidos no mesmo, para que se identifique o defeito superficial que mais prejudica o acabamento, tentando o relacionar com sua causa raiz. Uma vez identificada essa causa, abre-se a possibilidade de se trabalhar sobre ela, visando maiores ganhos no setor. Os resultados que serão apresentados aqui sugerem uma continuação na investigação do tema, já que fica demonstrado que nenhuma variável de processo tem influência direta sobre o defeito superficial mais crítico, que são as bolhas abertas, e sim, o próprio traço do concreto, que traz intrínseco a esse os gases que geram tal problema. A forma como tal defeito surge, portanto, é devido ao concreto auto-adensável com presença de bolhas, e, através da variação desse ou de seus componentes, poderão ser obtidas peças que não requeiram correções que encarecem o produto.

Palavras chave: paredes de concreto, defeitos superficiais, concreto auto-adensável, bolhas

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: diagrama de etapas da pesquisa.....	17
Figura 2: concretagem de uma bateria de painéis.....	28
Figura 3: ação de um superplastificante normal.....	35
Figura 4: perda de trabalhabilidade de um superplastificante normal.....	35
Figura 5: molécula de um policarboxilato.....	35
Figura 6: ação do policarboxilato sobre as partículas de cimento.....	36
Figura 7: manutenção da trabalhabilidade devido ao efeito das longas cadeias.....	36
Figura 8: exsudação em concretos sem aditivo.....	42
Figura 9: exsudação em concretos com aditivo.....	42
Figura 10: comparação da proporção dos materiais do concreto.....	43
Figura 11: método de dosagem de concreto auto-adensável.....	44
Figura 12: passo-a-passo para dosagem do concreto auto-adensável.....	45
Figura 13: curva de dosagem para o concreto auto-adensável com cinza de casca de arroz.....	46
Figura 14: distribuição heterogênea das camadas do concreto.....	48
Figura 15: drenagem do concreto de uma fôrma absorvente.....	49
Figura 16: demarcação das regiões avaliadas em uma placa para o cálculo do FBS.....	50
Figura 17: determinação da altura e da largura de duas bolhas genéricas.....	51
Figura 18: digitalização das bolhas nas regiões de estudo de uma parede qualquer.....	52
Figura 19: fissura devido ao choque mecânico de uma parede de concreto.....	54
Figura 20: paredes justapostas com diferentes tonalidades de cinza.....	56
Figura 21: uma única parede com diferentes cores e tonalidades.....	56
Figura 22: localização das paredes de concreto no pavimento utilizado como amostra...	59
Figura 23: parede concretada no dia 6 de outubro de 2010, com presença de bolhas superficiais abertas.....	70
Figura 24: volume do caminhão betoneira x FBS.....	74
Figura 25: slump do concreto entregue x FBS.....	74
Figura 26: espalhamento do concreto entregue x FBS.....	75
Figura 27: volume de aditivo superplastificante x FBS.....	76
Figura 28: tempo de entrega do concreto x FBS.....	77
Figura 29: tempo de concretagem x FBS.....	77
Figura 30: $f_{ck}$ aos 3 dias x FBS.....	78
Figura 31: fluxo de material dentro de uma fôrma concretada em duas etapas.....	79

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: valores de algumas variáveis do concreto para construções em concreto aparente.....	21
Quadro 2: desmoldantes para as fôrmas de paredes de concreto.....	26
Quadro 3: sentido de evolução de diversos parâmetros da dosagem em função da trabalhabilidade e da resistência mecânica.....	31
Quadro 4: nomenclatura dos cimentos Portland.....	32
Quadro 5: composição do cimento Portland pozolânico.....	32
Quadro 6: dosagens empregadas no estudo (teor de saturação) x recomendada pelo fabricante.....	37
Quadro 7: tempo de pega para um teor de aditivo de 0,4 L/100kg.....	37
Quadro 8: calor de hidratação para diferentes pastas para um teor de aditivo de 0,4 L/100kg.....	37
Quadro 9: exemplo de traços do final dos anos 1970.....	41
Quadro 10: exemplo de traços do final dos anos 2000.....	41
Quadro 11: tipos de defeitos superficiais existentes nas paredes de concreto observadas	58
Quadro 12: rastreabilidade do concreto das baterias 3 e 4.....	62
Quadro 13: resultado da medição do FBS de oito paredes concretadas no dia 22 de setembro de 2010.....	63
Quadro 14: resultado da medição do FBS de oito paredes concretadas no dia 23 de setembro de 2010.....	64
Quadro 15: resultado da medição do FBS de oito paredes concretadas no dia 24 de setembro de 2010.....	65
Quadro 16: resultado da medição do FBS de oito paredes concretadas no dia 29 de setembro de 2010.....	66
Quadro 17: resultado da medição do FBS de oito paredes concretadas no dia 30 de setembro de 2010.....	67
Quadro 18: resultado da medição do FBS de oito paredes concretadas no dia 1 de outubro de 2010.....	68
Quadro 19: probabilidade de cada quadrante da parede apresentar o maior FBS.....	70
Quadro 20: FBS de uma parede qualquer concretada no dia 6 de outubro de 2010.....	71
Quadro 21: FBS geral de cada caminhão em relação às variáveis avaliadas.....	73
Quadro 22: resultado da medição do FBS de oito paredes concretadas no dia 06 de outubro com concreto auto-adensável pré-vibrado.....	80
Quadro 23: percentual de paredes segundo defeitos superficiais apresentados.....	82

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 MÉTODO DE PESQUISA</b> .....	14
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA.....	14
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	14
<b>2.2.1 Objetivo principal</b> .....	14
<b>2.2.2 Objetivos secundários</b> .....	15
2.3 HIPÓTESES.....	15
2.4 PRESSUPOSTO.....	15
2.5 DELIMITAÇÕES.....	15
2.6 LIMITAÇÕES.....	16
2.7 DELINEAMENTO.....	16
<b>2.7.1 Pesquisa bibliográfica e acompanhamento da execução de paredes de concreto</b> .....	17
<b>2.7.2 Detalhamento do sistema e do processo</b> .....	18
<b>2.7.3 Detalhamento dos materiais empregados</b> .....	18
<b>2.7.4 Avaliação dos defeitos superficiais mais significativos</b> .....	18
<b>2.7.5 Relação entre a intensidade dos defeitos com as variáveis do processo</b> .....	19
<b>2.7.6 Considerações finais</b> .....	19
<b>3 PAREDES DE CONCRETO: EXECUÇÃO E ACABAMENTO</b> .....	20
3.1 CONCRETO APARENTE.....	20
3.2 EVOLUÇÃO DOS PRÉ-MOLDADOS.....	22
3.3 PAREDES PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO.....	23
<b>3.3.1 Armadura</b> .....	24
<b>3.3.2 Fôrmas</b> .....	25
<b>3.3.3 Concreto</b> .....	27
<b>3.3.4 Desforma</b> .....	28
<b>3.3.5 Acabamento</b> .....	29
<b>4 PAREDES DE CONCRETO: MATERIAIS</b> .....	30
4.1 DOSAGEM DE CONCRETO CONVENCIONAL.....	30
<b>4.1.1 Cimento</b> .....	31
<b>4.1.2 Agregados</b> .....	33
<b>4.1.3 Aditivos</b> .....	33
4.2 DOSAGEM DE CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL.....	37

<b>4.2.1 Composição, características e dosagem dos concretos auto-adensáveis.....</b>	<b>39</b>
4.2.1.1 Método de dosagem proposto por Okamura.....	43
4.2.1.2 Método de dosagem proposto por Tutikian.....	44
<b>5 PAREDES DE CONCRETO: DEFEITOS SUPERFICIAIS .....</b>	<b>47</b>
5.1 BOLHAS SUPERFICIAIS ABERTAS.....	47
<b>5.1.1 Avaliação quantitativa das bolhas superficiais.....</b>	<b>50</b>
5.2 FISSURAS.....	53
5.3 MANCHAS.....	54
<b>6 PAREDES DE CONCRETO: AVALIAÇÕES.....</b>	<b>57</b>
6.1 AVALIAÇÃO PRELIMINAR: DEFEITO SUPERFICIAL MAIS CRÍTICO.....	57
6.2 CORRELAÇÃO ENTRE O DEFEITO SUPERFICIAL MAIS CRÍTICO E AS VARIÁVEIS DO PROCESSO.....	60
<b>6.2.1 FBS das paredes avaliadas.....</b>	<b>62</b>
<b>6.2.2 Variáveis de processo que não interferiram no FBS.....</b>	<b>72</b>
<b>6.2.3 Variáveis de processo que interferiram no FBS.....</b>	<b>79</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>82</b>
REFERÊNCIAS.....	84



## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil se desenvolve a milhares de anos, havendo registros, entre outros, da execução de abrigos, aquedutos, barragens. Os materiais empregados foram diversos ao longo desse tempo. São exemplos rochas, argila, vegetação seca, madeira, ferro, até chegar aos modernos compostos de concreto reforçados com fibra de vidro. A evolução dos materiais foi sensível ao longo do tempo, mas a forma artesanal de combinar os mesmos ainda é muito comum. Os projetos foram se tornando cada vez mais arrojados, novos equipamentos foram adotados, mas a construção civil continuou muito dependente da habilidade de seus artesões.

Há mais de duzentos anos ocorreu a Revolução Industrial que elevou os níveis de qualidade e produtividade de diversas áreas. Com quase dois séculos de atraso, a construção civil no Brasil começa a ingressar na era industrial. Segundo a Associação Brasileira da Construção Industrializada (1986, p. 21), seriam possíveis mais avanços logo no início desse processo se houvesse uma política dirigida para as pesquisas e para o aprimoramento das técnicas existentes. Essa instituição afirma ainda que “[...] com a criação do Banco Nacional da Habitação (BNH), em 1966, o governo adotou uma política equivocada de desestímulo à industrialização, na expectativa de incentivar o emprego maciço de mão de obra não qualificada em canteiro [...]” e “[...] isso teria atrasado ainda mais o processo de industrialização [...]”. Hoje, a intenção é tornar a construção civil mais parecida com as demais áreas que passaram por evoluções. Um dos resultados é o uso de pré-moldados, onde estão inseridas as paredes de concreto.

A concepção dos painéis pré-moldados de concreto reduz o número de etapas e elementos que constituem o produto final, fazendo com que os ciclos sejam mais padronizados, elevando a qualidade e produtividade. Além disso, ocorre a redução na geração de resíduos e nos custos das obras civis. Essa tecnologia já é conhecida no País desde a década de 1970, mas não se consolidou devido à escassez de créditos financeiros. Com a contínua demanda por moradias, e aumento da disponibilidade e facilidade para obtenção de crédito, o sistema volta a se destacar nacionalmente, sobretudo devido às inúmeras pesquisas realizadas e experiências de sucesso trazidas do exterior, principalmente do México e da Colômbia,

Atualmente, a construção civil cresce num ritmo frenético, com taxas próximas aos 10% do Produto Interno Bruto. Sua participação nesse índice está em torno dos 5%, atualmente. Com um déficit de cerca de 5,5 milhões de moradias no País e aumentos consecutivos de crédito ao consumidor, viu-se nesse campo uma importante oportunidade de investimentos (RESENDE, 2009, p. 1). O crescimento virtuoso está ocasionando uma forte concorrência por clientes e por mão de obra qualificada. Por um lado, as construtoras disputam clientes aumentando a qualidade e reduzindo os preços. Os consumidores, mais esclarecidos e com melhores condições econômicas, exigem maior qualidade e menores preços. Paralelamente, o mercado sofre com a falta de materiais e profissionais qualificados. A saída para o impasse é a evolução no processo, como já ocorreu em outras áreas, através da industrialização. A construção civil com paredes pré-moldadas de concreto ou painéis portantes é um exemplo de produto dessa evolução.

O processo de aplicação desses painéis começa pela concepção do projeto arquitetônico. A ele seguem o projeto e dimensionamento estrutural das paredes que compõem o imóvel, formulação do material, produção das peças, logística, montagem, acabamento e por fim, entrega ao cliente.

O acabamento é feito com pintura diretamente sobre a superfície, o que significa que essa não deve possuir trincas, falhas ou bolhas superficiais abertas, que gerariam etapas complementares de preparação. A inserção de etapas significa interferir no ciclo, eliminando a padronização, exigindo a utilização de material e mão de obra não previstos, e aumentando, por consequência, o custo de produção e geração de resíduos. O propósito desse trabalho é estudar o processo de fabricação e a composição do concreto empregado na moldagem das paredes para verificar qual a relação entre as características do mesmo com o surgimento de defeitos na superfície das peças.

Para atender o objetivo principal de encontrar o principal defeito superficial das placas e o motivo de seu surgimento, esse estudo foi dividido em sete capítulos. Além da introdução, no capítulo 1, e dos elementos pré-textuais do capítulo 2, onde se apresenta a questão de pesquisa, objetivos, limitações, delimitações e pressupostos, o trabalho ainda contém outros cinco capítulos focados em materiais e processos. O capítulo 3 abordará o processo de execução das paredes de concreto, trazendo um histórico do emprego dos pré-moldados no Brasil e os equipamentos e procedimentos necessários para a execução das paredes de

concreto até a obtenção do imóvel acabado. Os capítulos seguintes vão focando o andamento do estudo. No capítulo 4 serão abordados os materiais necessários, com foco no concreto auto-adensável, quanto as características e forma de dosagem. O capítulo 5 aborda os principais defeitos aparentes a que estão sujeitas as superfícies de peças concretadas, mostrando motivos de sua ocorrência e formas de evitá-los. O capítulo 6 é o dos resultados, mostrando, em caráter preliminar, o defeito superficial mais comum das paredes de concreto, e depois relacionando a quantidade e padrões de surgimento desse defeito com uma série de variáveis de processo. O capítulo 7 é dedicado às considerações finais e demais observações notadas durante as medições e avaliações realizadas.

## **2 MÉTODO DE PESQUISA**

Com o propósito de direcionar o estudo desse trabalho são propostos a seguir a questão de pesquisa, cuja resposta é o resultado do mesmo, os objetivos que se pretende alcançar e demais elementos que auxiliam a atingir essa meta.

### **2.1 QUESTÃO DE PESQUISA**

Esse estudo tem o propósito de responder a seguinte questão de pesquisa: identificado o defeito superficial mais crítico no processo de moldagem de paredes de concreto para obras de edificação, quais as causas de sua ocorrência?

### **2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO**

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundários e são apresentados nos próximos itens.

#### **2.2.1 Objetivo principal**

O objetivo principal desse trabalho é a identificação, dentro do processo construtivo das paredes de concreto, das causas que levam a ocorrência do mais crítico defeito superficial das paredes de concreto, possibilitando a produção de peças que tenham bom acabamento superficial sem a necessidade de etapas intermediárias até chegar ao produto final.

### 2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários deste trabalho são os citados a seguir:

- a) descrição das etapas e materiais envolvidos no processo produtivo de paredes de concreto;
- b) verificação dos defeitos relevantes na superfície das paredes de concreto que imponham a necessidade de etapas intermediárias entre a produção da placa em concreto à vista e a parede do imóvel acabado;
- c) identificação do defeito superficial mais crítico.

## 2.3 HIPÓTESE

A hipótese do estudo é que, sendo o defeito superficial mais crítico na execução de paredes de concreto, que interfere na etapa seguinte de acabamento, o surgimento de bolhas superficiais abertas, este ocorre em função do intervalo de tempo entre o momento em que o aditivo superplastificante é adicionado ao concreto e a concretagem da peça.

## 2.4 PRESSUPOSTO

Todas as seis partes que constituem a norma NBR 15575/2008 são consideradas válidas para verificação do desempenho das paredes de concreto.

## 2.5 DELIMITAÇÕES

Para a realização desse trabalho, será considerada a seguinte delimitação: as paredes avaliadas no estudo serão produzidas na cidade de Canoas, Rio Grande do Sul, por uma construtora reconhecida nacionalmente, em um local de fácil acesso, o que interfere positivamente nos tempos de concretagem considerados nesse estudo.

## 2.6 LIMITAÇÕES

O trabalho será limitado nos seguintes aspectos:

- a) o concreto terá em sua dosagem cimento portland CP II-Z-32 e o traço não será controlado, inclusive quanto à qualidade dos seus constituintes;
- b) a marca do aditivo superplastificante empregado nas dosagens não será controlada;
- c) as paredes de concreto, com ou sem vãos, terão dimensões máximas de 3x5 m, usadas para a execução de prédios de cinco pavimentos.

## 2.7 DELINEAMENTO

As etapas de desenvolvimento desse trabalho são destacadas a seguir:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) acompanhamento da execução de paredes de concreto;
- c) detalhamento do sistema e do processo;
- d) detalhamento dos materiais empregados;
- e) avaliação dos defeitos superficiais mais significativos;
- f) verificação de relação entre ocorrência e intensidade do defeito superficial mais crítico com as variáveis do processo;
- g) considerações finais.

A figura 1 mostra de forma encadeada como essas etapas se relacionam e cada um dos itens que compõe essa ilustração será discriminado nos itens logo a seguir.

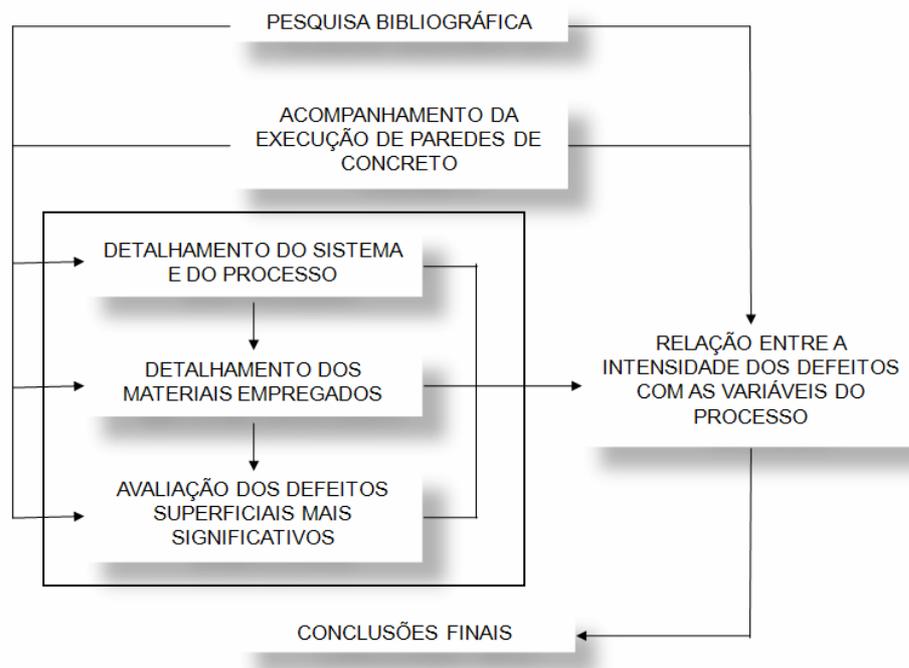


Figura1: diagrama de etapas da pesquisa

### 2.7.1 Pesquisa bibliográfica e acompanhamento da execução de paredes de concreto

Tanto a pesquisa bibliográfica como o acompanhamento da execução de paredes de concreto abrangem todas as etapas do trabalho. A primeira traz o embasamento teórico que possibilita a compreensão do problema através dos conhecimentos publicados por outros pesquisadores. O segundo permite o relacionamento prático do problema com suas possíveis causas, tornando-o mais claro aos sentidos, e, em decorrência disso, permite uma solução mais objetiva e precisa.

Essas etapas devem ser tratadas concomitantemente, pois possuem como característica uma troca cíclica de informações. Os conhecimentos absorvidos da literatura podem ser confrontados, confirmados e testados na prática.

Toma-se como foco o surgimento de defeitos superficiais nas placas moldadas, que causam perdas de diversas formas no processo, buscando compreendê-los, para que os mesmos possam ser relacionados a um ou mais fatores principais do ciclo de produção dessas paredes pré-moldadas.

### **2.7.2 Detalhamento do sistema e do processo**

Por ser uma tecnologia relativamente nova, frente a diversas outras mais tradicionais, o problema em questão pode ser decorrente do processo de produção. Não se pode afirmar que há um procedimento definitivamente ideal de produção. Serão avaliados o sistema e as formas que a empresa estudada tem proposto para obter o produto. Isso será feito pelo estudo individual de armaduras, fôrmas, concretagens, desformas e acabamento, e do modo como se relacionam.

### **2.7.3 Detalhamento dos materiais empregados**

Da mesma forma que o processo, os materiais não seguem uma formulação considerada ideal. Buscou-se as formulações de traços de concreto e a avaliação dos aditivos superplastificantes avaliando as interferências que os mesmos provocam na qualidade final do produto. A dosagem dos concretos convencional e auto-adensável serão tratadas separadamente, e o estudo do aditivo superplastificante fará com que se entenda de que forma o primeiro adquire características para se tornar auto-adensável, e os efeitos dessa mudança.

### **2.7.4 Avaliação dos defeitos superficiais mais significativos**

Dentre os defeitos superficiais a que estão sujeitas as paredes pré-moldadas de concreto, existirá um ou mais que causará maiores perdas nos processos subsequentes de acabamento das paredes dos imóveis. Essas perdas estarão associadas ao tipo e a quantidade desses defeitos. Serão avaliados, em um primeiro momento, os tipos de defeitos que podem ser esperados nas peças em estudo e os possíveis motivos de sua ocorrência. O passo seguinte será identificar o defeito mais crítico para que se possa focar nesse. Essa etapa será feita pela avaliação quantitativa dos defeitos superficiais.

### **2.7.5 Relação entre a intensidade dos defeitos com as variáveis do processo**

Os defeitos na superfície das placas estão relacionados ao processo, ao material, ou aos dois simultaneamente. Cada um dos três itens anteriores será tratado de forma individual, mas se buscará uma relação quantitativa entre o aspecto do produto com as variáveis desses itens. Identificado o defeito superficial mais crítico, o mesmo será medido em diferentes ciclos de produção e as variáveis de processo serão relacionadas a esses valores, na busca de uma relação direta.

### **2.7.6 Considerações finais**

Através dos itens anteriores, obter-se-á uma relação entre os tipos de defeitos superficiais das placas pré-moldadas de concreto e os fatores que os afetam, e demais observações que se façam importantes.

### 3 PAREDES DE CONCRETO: EXECUÇÃO E ACABAMENTO

Os pré-moldados possuem uma história dentro da construção civil, onde muito já foi aprendido e desenvolvido. Os itens seguintes buscam essas raízes históricas e descrevem as etapas de execução e acabamento dessas peças, especialmente as paredes de concreto que são o maior interesse nesse estudo.

#### 3.1 CONCRETO APARENTE

A Associação Brasileira de Cimento Portland (2002, p. 1, grifo do autor) considera que “**Cimento Portland** é a denominação convencionada mundialmente para o material usualmente conhecido na construção civil como *cimento*.”. É um material em pó fino que possui propriedades aglomerantes, aglutinantes e ligantes que endurece sob ação da água. Segundo Giammusso (1992, p. 20), o cimento entra na constituição do concreto, juntamente com água e agregados inertes, em partículas de diversos tamanhos, e “A água e o cimento, quando recém-misturados, formam uma pasta que com o tempo endurece adquirindo resistência mecânica e aderindo às partículas de agregado.”. Misturando-se esses materiais de diferentes granulometrias, obtém-se o concreto, que, como salienta Geyer (1995, p. 1), é um consagrado material de construção, sendo um dos produtos mais utilizados pelo homem e possuindo inúmeros estudos que comprovam suas excelentes propriedades.

Segundo Bächer e Heinle (1967, p. 6), o concreto não tem forma definida no estado fresco, adquirindo a configuração da fôrma em que é vertido, depois de solidificado. Afirmam ainda que sua forma definitiva é consequência direta de seus componentes. Esses autores descrevem uma série de obras em que se empregou unicamente concreto como elemento de estrutura e também de acabamento. Algumas dessas obras serão citadas a seguir como forma de balizar o emprego de concreto aparente, revelando semelhanças e diferenças em construções de distintos locais e épocas. A composição do concreto dessas obras está apresentada no quadro 1, cuja letra de identificação de cada coluna está relacionada com as obras descritas nas alíneas seguintes:

- a) igreja evangélica em Blumenau/Alemanha – 1960-61;
- b) hotel em Godesberg/Alemanha – 1961;
- c) vivienda Friis em Braband/Dinamarca – 1958;
- d) City Hall em Hiraoka/Japão – 1963-64;
- e) casa multifamiliar em Munich/Alemanha – 1963.

Característica	Valores				
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
$f_{ck}$ (MPa)	22,5	22,5	N/I	N/I	30
Espessura (m)	0,3	N/I	0,1	N/I	N/I
Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	300	200	240	306	300
Areia (kg/m <sup>3</sup> )	N/I	N/I	1:2:3*	761	N/I
Brita (kg/m <sup>3</sup> )	N/I	N/I	*	1081	N/I
Relação água/cimento	N/I	N/I	0,65	0,58	N/I
Plastificante (%)	-	-	-	-	0,4

\* para o item (c) não foram informadas separadamente as quantidades dos agregados

onde, N/I = não informado

Quadro 1: valores de algumas variáveis do concreto para construções em concreto aparente ( BÄCHER; HEINLE, 1967, p. 13-111)

Bächer e Heinle (1967, p. 153) e Silva (1993, p. 1) entendem por concreto aparente, aquele concreto que ficará com a superfície exposta, sem nenhum recobrimento. Consideram os ajustes após a conclusão da obra trabalhosos e visíveis, e por isso veem a necessidade de um bom planejamento na execução de obras com essa característica.

Do quadro 1 é possível se inferir que não há uma composição ótima para se moldar peças de concreto aparente. E essa é uma característica atemporal, como pode ser comparado nas tabelas 10 e 11, que são mais recentes e podem servir para o mesmo propósito. No entanto, Bächer e Heinle (1967, p. 154-155) colocam a quantidade de finos como fator importante e a relação água/cimento entre 0,4 e 0,5 para um bom acabamento, pois reduzem as chances de

ocorrer retração. Uma maior quantidade de água melhora a trabalhabilidade do concreto, mas essa função pode ser cumprida pelos aditivos plastificantes.

O grande desenvolvimento do concreto aparente ocorreu após a II Guerra Mundial, devido à necessidade de muitos países se reerguerem dos danos a um baixo custo (SILVA, 1993, p. 1). Essa justificativa econômica, porém em outro contexto, também justifica a retomada da importância desse tipo de construção nos dias de hoje.

### 3.2 EVOLUÇÃO DOS PRÉ-MOLDADOS

A afirmação de Silva (1993, p. 1) converge com a da Associação Brasileira da Construção Industrializada (1986, p. 15), quando informa que o marco inicial para o grande desenvolvimento da produção de pré-moldados se deu no período Pós-Guerra, visto que as peças pré-moldadas são produzidas com acabamento em concreto aparente. A Associação Brasileira da Construção Industrializada (1986, p. 15-16) esclarece ainda que houve incentivos na Europa, por parte das autoridades, que fizeram crescer o interesse nessa área. Havendo escassez de mão de obra, a saída considerada foi a industrialização do processo.

Viero (2008, p. 9) observa que:

[...] a construção funciona de forma dissociada, com suas fases interagindo sem coordenação entre si. Entre essas fases existem incompreensões, falta de informações, mal-entendidos, tudo colaborando para que ocorra perda de tempo, erros e repetições. Esta situação é incompatível com qualquer processo de industrialização.

A essência da industrialização é produzir um objeto sem mão de obra artesanal, com máquinas utilizadas por operários especializados, diminuindo assim o tempo despendido em cada etapa construtiva, de tal forma a reduzir os custos aumentando a produtividade e a qualidade do produto final.

Viero (2008, p. 16) afirma, ainda, que há diferença de significado quando se fala em elemento pré-moldado e pré-fabricado. Esse segundo é executado sob condições mais rigorosas de controle do que o outro. Esse autor ainda faz uma classificação dos tipos mais comuns de sistemas estruturais de concreto pré-moldado:

- a) estruturas aporticadas;

- b) estruturas em esqueleto;
- c) estruturas em painéis estruturais;
- d) estrutura para pisos;
- e) sistemas para fachadas;
- f) sistemas celulares;
- g) sistemas aperticados e em esqueletos.

As vantagens agregadas pela execução de peças pré-moldadas na construção são também citadas e avaliadas por Viero (2008, p. 51-52) sendo as seguintes:

- a) aumento da produtividade;
- b) melhoria das características dos materiais empregados;
- c) evolução dos projetos;
- d) maior planejamento da produção;
- e) otimização da forma das peças moldadas;
- f) redução ou eliminação do cimbramento;
- g) rapidez de montagem;
- h) canteiro de obras reduzido.

Tais vantagens e características ajudam a compreender a importância da evolução desse processo.

### 3.3 PAREDES PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO

O sistema de paredes de concreto viabiliza um sistema construtivo racionalizado, tornando-o mais produtivo e com maior qualidade e economia (MISURELLI; MASSUDA, 2009, p. 74; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2008, p. 10). Essas características, juntamente com o grande déficit habitacional que existe no Brasil e o crescimento de incentivos para reverter esse quadro, justificam o emprego do sistema, pois

favorece uma produção em escala e com menores desperdícios, tornando os produtos mais acessíveis, indo ao encontro com a primeira ideia de atender as classes sociais de menor poder aquisitivo (MISURELLI; MASSUDA, 2009, p. 74-75).

A Associação Brasileira de Cimento Portland (2008, p. 11) considera prédios de até 5 pavimentos, com alta repetitividade, ideais para esse processo, pois atendem a demanda e possuem menores dificuldades técnicas para projeto e execução. No entanto, é possível fazer construções de maiores proporções e de diferentes padrões, como afirmam Weiler (1980, p. 1) e a própria Associação Brasileira de Cimento Portland (2008, p. 12).

Os itens seguintes tratam dos componentes que formam as paredes de concreto, trabalhando isoladamente cada um deles, possibilitando que se conheça mais a fundo as etapas de execução das mesmas.

### **3.3.1 Armadura**

A armação usada no sistema é a tela eletrosoldada com aço CA60 (MISURELLI; MASSUDA, 2009, p. 77). Segundo esses autores, a tela pode ser única posicionada no eixo da parede, ou dupla, dependendo da espessura da mesma. Além dessa armação, é necessário um reforço com barras de aço na cinta superior, nas vergas e contravergas.

A NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008) não limita a espessura das paredes, no entanto propõe uma série de ensaios de impacto e conforto para aceitação da estrutura. Dessa forma, a espessura e, conseqüentemente, o tipo de armadura ficam a critério do projeto estrutural (WEILER, 1980, p. 38, 43), podendo ser usadas paredes de 140 mm de espessura para paredes de até 8 m de altura, desde que atendam as diretrizes da NBR 15575. A Associação Brasileira de Cimento Portland (2008, p. 83) ressalta que a armadura tem as funções de resistir aos esforços de flexo-torção das paredes, controlar a retração do concreto e estruturar as instalações hidráulicas e elétricas.

### 3.3.2 Fôrmas

Tanto Misurelli e Massuda (2009, p. 76), quanto a Associação Brasileira de Cimento Portland (2008, p. 13), recomendam três tipos de fôrmas:

- a) metálicas, com quadros e chapas de aço ou alumínio;
- b) metálicas, com elementos de madeira, ou seja, quadros metálicos e chapas de compensado;
- c) plásticas, com quadros e chapas plásticos, contraventados com estrutura metálica.

Para ambos os autores, devem ser levados em conta as seguintes características na opção por um desses materiais:

- a) produtividade da mão de obra na operação do conjunto;
- b) peso/m<sup>2</sup> dos painéis;
- c) durabilidade da chapa e possibilidade de reutilização;
- d) durabilidade da estrutura;
- e) modulação dos painéis;
- f) flexibilidade;
- g) adequação à fixação;
- h) análise econômica e facilidade de acesso ao sistema;
- i) suporte técnico do fornecedor.

A Associação Brasileira de Cimento Portland (2008, p. 77) escreve que:

As fôrmas são estruturas provisórias cujo objetivo é moldar o concreto fresco, compondo-se assim as paredes estruturais. A resistência a pressões do lançamento de concreto, até a sua solidificação, é fator decisivo. Para isso, as fôrmas devem ser estanques e favorecer rigorosamente a geometria das peças que estão sendo moldadas.

Assim, por ser a moldagem a sua função principal, é preciso se ter em mente que a superfície da fôrma será a impressão da superfície da parede moldada. Irregularidades e sujeira devem ser minimizadas ou, se possível, evitadas.

De acordo com Misurelli e Massuda (2009, p. 77) e Associação Brasileira de Cimento Portland (2008, p. 84), a armadura em tela soldada deve ser inicialmente montada conforme projeto estrutural. Depois, devem ser colocados os reforços e as instalações hidráulicas e elétricas. Com as fôrmas revestidas com desmoldante, aplica-se a estrutura montada com espaçadores para garantir que o revestimento de concreto sobre a armadura seja suficiente. Os vãos de portas e janelas já estão dispostos nas fôrmas, como *inserts*. Com a estrutura posicionada corretamente, fecha-se a fôrma que está pronta para a concretagem.

Para a extração das peças moldadas, o uso de produtos que auxiliam nessa etapa é indispensável, ocasionando o aumento da vida útil dessas estruturas. O quadro 2 resume alguns tipos de desmoldantes de diversos fornecedores, segundo o tipo da superfície da fôrma.

FABRICANTE	FORMA	AGENTE	CONSUMO (m <sup>2</sup> /L)	OBSERVAÇÕES
BASF	Madeira	Reofinish FR 350	90 a 100	-
	Plástica			
	Metálica			
MC-BAUCHEMIE	Madeira	Ortolan 710	50	Varia em função da temperatura, não do tipo de superfície
	Plástica	Ortolan 711		
	Metálica	Ortolan 712		
OTTO BAUMGART	Madeira	Desmol CD ou Desmol	100 a 200 ou 100	-
	Plástica	Desmol CD	100 a 200	-
	Metálica	Desmol betoneira	35	-
RHEOTEC	Madeira	Desmoldante 5000	20	-
	Plástica	-	-	-
	Metálica	Desmoldante 5000	40	-
SIKA	Madeira	Separol Top	150	-
	Plástica	Separol metal	50 a 100	-
	Metálica	Separol metal	50 a 100	-

Quadro 2: desmoldantes para as fôrmas de paredes de concreto  
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2008, p. 140)

### 3.3.3 Concreto

Conforme cita a Associação Brasileira de Cimento Portland (2008, p. 13), existem quatro tipos de concretos possíveis de serem usados na execução de paredes de concreto, a saber:

- a) celular (tipo L1);
- b) de elevado teor de ar incorporado, até 9% (tipo M);
- c) com agregados leves ou com baixa massa específica (tipo L2);
- d) convencional ou concreto auto-adensável (tipo N).

A etapa de concretagem é de fundamental importância para Misurelli e Massuda (2009, p. 78), sendo recomendado o uso de concretos dosados em centrais, que permitem melhores controles de qualidade. Eles recomendam que o fim do adensamento não ocorra após o início da pega, para que não ocorram juntas frias (regiões que limitam dois ou mais materiais semelhantes, mas produzidos em ciclos diferentes, que surgem devido a não homogeneização dos mesmos nesse local, formando uma espécie de linha saliente, que as demarcam). Para isso, o tempo decorrido entre o início da mistura na central e o fim da descarga do caminhão deve ser inferior a 150 minutos. No caso de uso de hiperfluidificantes na mistura, esse deve ser dosado na obra, e após isso, deve ser lançado em, no máximo, 40 minutos, para manter suas propriedades.

Caso necessite-se fazer correções da trabalhabilidade do concreto recebido, deve-se tomar os seguintes cuidados, citados na NBR 7212 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984):

- a) verificar se o valor de abatimento obtido é igual ou superior a 10 mm;
- b) não aumentar o abatimento em mais de 25 mm;
- c) não exceder o limite máximo especificado para o abatimento;
- d) não permitir que o tempo transcorrido entre a primeira adição de água aos materiais e o início da descarga seja inferior a 15 min.

São montadas várias fôrmas para uma mesma concretagem, uma justaposta à outra verticalmente, formando uma bateria, conforme ilustra a figura 2, sendo o material lançado

por cima. Misurelli e Massuda (2009, p. 79, 80) afirmam que o concreto deve ser aplicado nas fôrmas começando por uma das pontas, depois preencher a outra e por fim completar a concretagem. Descartam, ainda, a necessidade de vibração do material, no caso de se usar concreto auto-adensável.

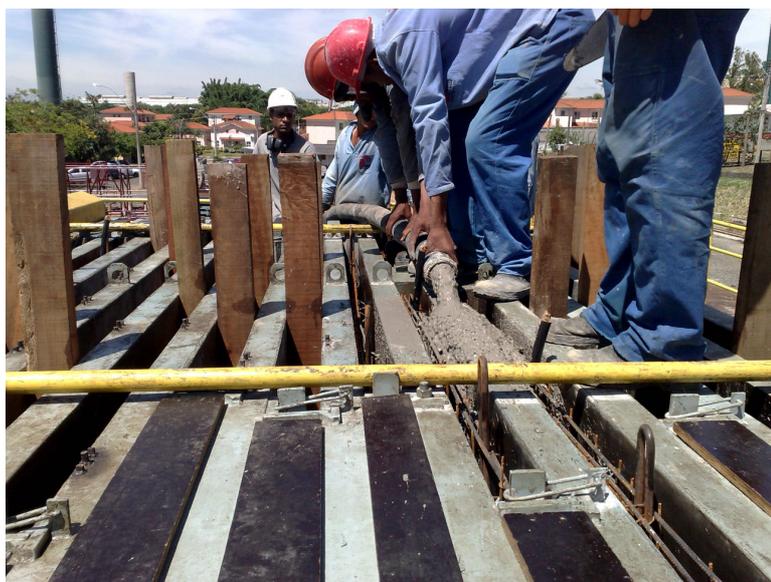


Figura 2: concretagem de uma bateria de painéis (trabalho não publicado<sup>1</sup>)

A cura, segundo esses autores, deve ser realizada tomando cuidado para evitar mudanças bruscas de temperatura, secagem, vento, chuva forte, agentes químicos, choques e vibrações de grande intensidade para evitar o surgimento de fissuras e trincas.

### 3.3.4 Desforma

Misurelli e Massuda (2009, p. 80) indicam que a desforma deve ser feita após o concreto atingir a resistência mínima de projeto, evitando choques que possam gerar fissuras. A Associação Brasileira de Cimento Portland (2008, p. 82) sugere que seja feita a limpeza das fôrmas, logo após a desforma, para que sejam removidas mais facilmente as incrustações de

---

<sup>1</sup> Figura extraída do informe técnico de uma empresa construtora, chamado de “Fabricação de painel pré-moldado” que descreve os documentos, ferramentas, equipamentos e procedimentos necessários para a execução de painéis pré-moldados de concreto.

material do ciclo anterior. Essa instituição sugere que essa etapa seja feita com jato pressurizado d'água ou com raspagem com espátula plástica ou escova.

### 3.3.5 Acabamento

Conforme a Associação Brasileira de Cimento Portland (2008, p. 93, grifo do autor):

Uma das características importantes deste sistema construtivo é a grande redução da espessura das camadas de revestimento. Não existem restrições quanto ao uso de qualquer tipo de revestimento, sendo exigidos apenas o cumprimento das especificações do fornecedor do material e, normalmente, são aplicados diretamente sobre a PAREDE DE CONCRETO. É recomendável apenas que o acabamento seja iniciado após uma cura úmida da parede.

As eventuais falhas decorrentes de infiltração de ar (não destruídas durante a mistura no interior da betoneira) e as falhas provocadas pela heterogeneidade da granulometria da areia e impurezas podem ser corrigidas com a operação de feltragem.

A feltragem tem como objetivo a retirada dos sinais superficiais da fôrma, a redução da porosidade superficial, o tamponamento de pequenos poros e bolhas de ar superficiais e a melhoria da qualidade estética das paredes.

O material empregado na feltragem deve ter o traço rico em cimento e ainda ser aditivado com algum produto químico que promova melhor aderência entre essa mistura e a parede solidificada. Com a consistência pouco viscosa, sua aplicação é feita espalhando-se sobre a superfície a ser corrigida, com emprego de uma desempenadeira de borracha e uma espuma para regularizar a superfície. Uma dificuldade nesse processo, é que as bolhas de maior dimensão estão sujeitas a sofrer rechupe, ficando esse acabamento com uma concavidade perceptível.

Para Helene et al. (2008, p. 60), a qualidade superficial das peças se torna muito superior quando se emprega concreto auto-adensável, minimizando o aparecimento de bolhas superficiais abertas e demais macrodefeitos resultantes da concretagem, reduzindo os reparos sugeridos para o melhor acabamento da superfície.

## 4 PAREDES DE CONCRETO: MATERIAIS

Os materiais que compõem as paredes de concreto são os mesmos conhecidos e utilizados em outras tecnologias construtivas. Porém, é necessário conhecê-los e adaptá-los para diferentes empregos, visando melhores resultados. Os itens seguintes conceituam e descrevem esses materiais, com ênfase na produção dos pré-moldados.

### 4.1 DOSAGEM DE CONCRETO CONVENCIONAL

Com o conceito sobre concreto definido, “A dosagem [...] pode então ser entendida como sendo o proporcionamento adequado dos materiais constituintes – cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, água e eventualmente aditivos [...]” (HELENE, 1992, p. 75-76) e que ela tem influência direta sobre as características do concreto fresco e endurecido, como mostrado no quadro 3.

Para Isaia (1988, p. 36), “O objetivo principal da dosagem é proporcionar os materiais expressos por um traço que confira a trabalhabilidade requerida pela obra, a resistência mecânica e a durabilidade necessária à estrutura [...]”. O quadro 3 mostra que duas propriedades distintas do concreto são afetadas de maneiras opostas. Cada um dos materiais que compõem o concreto serão descritos individualmente nos itens seguintes.

Parâmetros de dosagem do concreto	CONCRETO FRESCO	CONCRETO ENDURECIDO
	Para uma boa trabalhabilidade	Para uma boa resistência
Granulometria do agregado miúdo	de preferência fina	de preferência grossa
Relação grão/miúdo	a diminuir	a aumentar
Consumo de água	a aumentar até certo ponto	a diminuir
Granulometria total	de preferência contínua	de preferência descontínua
Dimensão máxima característica do agregado	de preferência média	de preferência pequena
Geometria do grão de agregado grão	de preferência esférica (pedregulhos)	de preferência irregular (brita)

Quadro 3: sentido de evolução de diversos parâmetros da dosagem em função da trabalhabilidade e da resistência mecânica (adaptado de HELENE, 1992, p. 75)

### 4.1.1 Cimento

Helene (1992, p. 226) caracteriza o cimento pela finura, que influencia na velocidade de hidratação. Cita que o aumento da finura melhora a resistência, diminui a exsudação e outros tipos de segregação, melhora a trabalhabilidade e coesão dos concretos e aumenta a impermeabilidade. Por outro lado, aumenta a retração, pelo aumento da liberação de calor e aumento do consumo de água. Os principais tipos de cimentos disponíveis no mercado estão resumidos no quadro 4.

NOME TÉCNICO	SIGLA	CLASSE	IDENTIFICAÇÃO DO TIPO DE CLASSE
Cimento Portland composto com pozolana	CP II-Z	25	CP II-Z-25
		32	CP II-Z-32
		40	CP II-Z-40
Cimento Portland composto com filer	CP II-F	25	CP II-F-25
		32	CP II-F-32
		40	CP II-F-40
Cimento Portland pozolânico (NBR 5736)	CP IV	25	CP IV-25
		32	CP IV-32
Cimento Portland de alta resistência inicial (NBR 5733)	CP V-ARI	-	CP V-ARI

Quadro 4: nomenclatura dos cimentos Portland (adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002, p. 18)

O cimento de maior interesse nesse trabalho é o CP II-Z-32, que será empregado na produção das paredes estudadas, normatizado pela norma NBR 11578, cuja composição está apresentada no quadro 5.

Composição (%) em massa			
Clínquer+gesso	Escória granulada de alto forno	Material pozolânico	Material carbonático
94-76	6-34	6-14	0-10

Quadro 5: composição do cimento Portland pozolânico (adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002, p. 10)

Nessa composição, o clínquer tem propriedades aglomerantes, enquanto o gesso retarda o tempo de pega desse quando hidratado. O material pozolânico reage com o hidróxido de cálcio que é gerado na hidratação do clínquer, formando um material aglomerante, segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2002). Esse material tem a propriedade de gerar menos calor de hidratação, e como substitui o clínquer, tende a sofrer menos retração. O

material carbonático funciona como um lubrificante, por possuir partículas mais finas que os demais, tornando o cimento mais trabalhável.

#### **4.1.2 Agregados**

Conforme Isaia (1988, p. 24), os agregados tem as funções de transmitir as tensões aplicadas ao concreto, reduzir o efeito das variações volumétricas devido à retração (porque forma um esqueleto no concreto, sendo a retração inversamente proporcional a esse material) e reduzir o custo do concreto. Os agregados menores têm a característica de ocupar os espaços entre os maiores, tornando o concreto mais compacto.

Helene (1992, p. 226-229) cita e explica as características que influenciam a dosagem do concreto. Para os agregados miúdos são a granulometria, módulo de finura, massa unitária, massa específica, inchamento, coeficiente de inchamento e umidade crítica, apreciação petrográfica e as curvas normalizadas. Para os agregados graúdos são a granulometria, dimensão máxima característica, massa específica, apreciação petrográfica e mistura de agregados graúdos.

#### **4.1.3 Aditivos**

Conforme define Isaia (1988, p. 29), “Os aditivos são produtos adicionados ao concreto em proporções menores do que 5% em relação à massa de cimento, com a finalidade de modificar de modo permanente algumas propriedades do concreto, ou conferir a ele qualidade de melhor comportamento.”. Segundo Giammusso (1992, p. 51), o resultado esperado para um aditivo depende da escolha adequada, do uso do concreto adequado, do teor correto e do modo de usar correto. Ele cita que “O aditivo não serve para corrigir defeitos ou deficiências do concreto. Adicionando-se um aditivo a um mau concreto se obtém apenas... um mau concreto com aditivo...”, semelhante com o que pensa Isaia (1988, p. 29).

Dentre os diversos tipos de aditivos citados na NBR 11768 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 2), o de maior interesse aqui são os superplastificantes, que, segundo essa norma, tornam o concreto menos consistente para uma mesma proporção

de água, ou reduzem a proporção dessa em um concreto de mesma consistência. Com o devido detalhamento, Hartmann (2002, p. 2-3) cita os quatro tipos de plastificantes possíveis: lignossulfonatos, naftaleno sulfonato e melamina sulfonato e policarboxilatos. Dentre esse último grupo se encontram os mais modernos e eficientes que a indústria chama de “Aditivo superplastificante de nova geração desenvolvido para a indústria de concreto em geral [...] com base em uma cadeia de éter carboxílico modificado.”. Segundo uma empresa de referência, uma das aplicações principais desse aditivo é a indústria de pré-moldados<sup>2</sup>. Ele cita ainda, complementado por Hartmann (2002, p. 2), os seguintes benefícios para um concreto fresco que for aditivado com esse produto:

- a) alta taxa de redução de água (até 45%);
- b) melhora a aderência e textura da superfície do concreto;
- c) produção de concretos coesivos, porém trabalháveis;
- d) redução da exsudação;
- e) possibilidade de se trabalhar com relações água/cimento em torno de 0,30;
- f) grande manutenção da plasticidade.

A forma de atuação desse aditivo é consistida de três fases<sup>3</sup>:

- a) adsorção superficial;
- b) carga eletrostática sobre a partícula de cimento;
- c) dispersão.

Assim, esse aditivo atua afastando as partículas de cimento, carregando-as com cargas de mesmo sinal ao mesmo tempo em que suas longas cadeias laterais promovem um afastamento físico entre elas. As figuras 3 a 7 ilustram a comparação entre superplastificantes de diferentes gerações. A novidade trazida por esse aditivo, dito de nova geração, é justamente a presença dessas longas cadeias que promovem um maior afastamento entre os constituintes do concreto reduzindo o atrito entre os mesmos e, por isso, facilitando o escoamento.

---

<sup>2</sup> Informações retiradas do manual técnico de um aditivo superplastificante de grande aceitação pelo mercado que não foi revelado por questões éticas.

<sup>3</sup> Idem.

A figura 3 mostra o comportamento das partículas de cimento com a aditivação de um superplastificante normal e a figura 4, a perda dos efeitos do aditivo. A figura 5 apresenta em detalhe uma das cadeias de um éter carboxílico, enquanto as figuras 6 e 7, o afastamento entre as partículas de cimento, que se mantém mesmo após a hidratação do cimento.

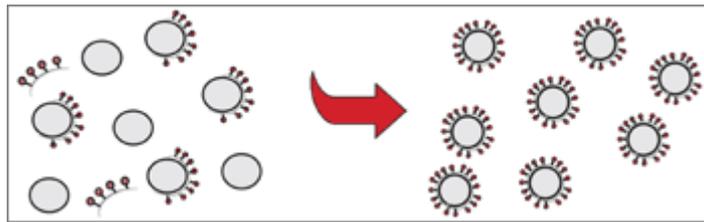


Figura 3: ação de um superplastificante normal<sup>4</sup>

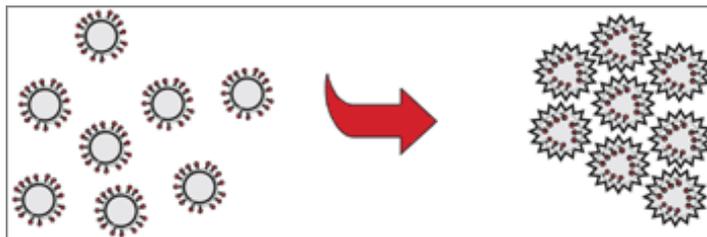


Figura 4: perda de trabalhabilidade de um superplastificante normal<sup>5</sup>

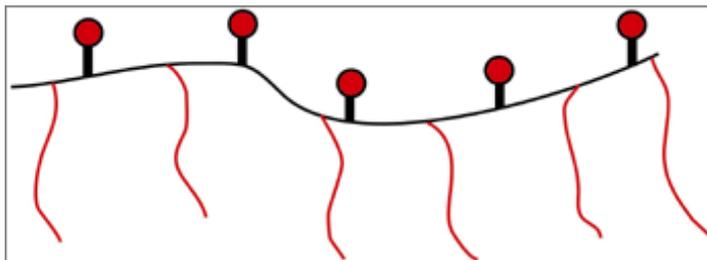


Figura 5: segmento da molécula de um policarboxilato<sup>6</sup>

<sup>4</sup> Informações retiradas do manual técnico de um aditivo superplastificante de grande aceitação pelo mercado que não foi revelado por questões éticas.

<sup>5</sup> Idem.

<sup>6</sup> Idem.

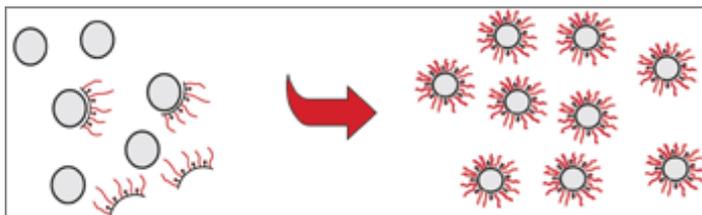


Figura 6: ação do policarboxilato sobre as partículas de cimento<sup>7</sup>

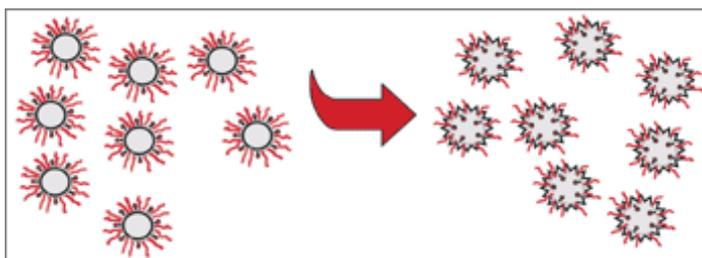


Figura 7: manutenção da trabalhabilidade devido ao efeito das longas cadeias<sup>8</sup>

Por recomendações da ficha técnica desse superplastificante de referência, que possui grande aceitação no mercado, é indicado se aplicar entre 0,5 e 1,0 litro do aditivo para cada 100 kg de material cimentício<sup>9</sup>. Porém, destaca que testes laboratoriais e/ou de campo são imprescindíveis para uma dosagem ótima. Por fim, frisa ainda que ele deve ser adicionado ao concreto pronto, com todos os materiais homogeneizados.

Num estudo comparativo, desenvolvido por Hartmann (2002, p. 7-8), foi observado um teor de saturação antes que a concentração fosse a máxima recomendada. O quadro 6 apresenta essa comparação e os quadros 8 e 9, outras informações importantes para dois aditivos a base de policarboxilato, cujas marcas não foram informadas.

O quadro 8 ilustra o teor de saturação dos aditivos testados em relação ao indicado pelos fabricantes. O quadro 7 revela que o tempo de pega é retardado para concretos com a adição desses aditivos, enquanto o quadro 8 mostra uma redução do calor de hidratação para esses mesmos materiais em relação ao material de referência. Duas desvantagens mostradas por Hartmann (2002, p. 11-12) são a maior taxa de perda de abatimento e um aumento da quantidade de ar aprisionado no material.

<sup>7</sup> Informações retiradas do manual técnico de um aditivo superplastificante de grande aceitação pelo mercado que não foi revelado por questões éticas.

<sup>8</sup> Idem.

<sup>9</sup> Idem.

CARACTERÍSTICA	Policarboxilato 1		Policarboxilato 2	
	Mínima	Máxima	Mistura	Máxima
Teor recomendado pelo fabricante (L/100 kg de cimento)	0,5	0,9	0,2	1,0
Teor de saturação (L/100 kg de cimento)	0,4	0,5	0,4	0,5

Quadro 6: dosagens empregadas no estudo (teor de saturação) x recomendada pelo fabricante (adaptado de HARTMANN, 2002, p. 7)

CARACTERÍSTICA	Referência		Policarboxilato 1		Policarboxilato 2	
	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim
Tempo de pega (h:min)	5:30	8:40	6:05	9:05	7:35	14:50

Quadro 7: Tempo de pega para um teor de aditivo de 0,4 L/100kg (adaptado de HARTMANN, 2002, p. 7)

CARACTERÍSTICA	Referência		Policarboxilato 1		Policarboxilato 2	
	Taxa máxima	Total após 72h	Taxa máxima	Total após 72h	Taxa máxima	Total após 72h
Liberação de calor (W/kg)	2,14	202,28	1,63	162,46	2,02	211,11

Quadro 8: calor de hidratação para diferentes pastas para um teor de aditivo de 0,4 L/100kg (adaptado de HARTMANN, 2002, p. 8)

## 4.2 DOSAGEM DE CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL

O concreto auto-adensável foi desenvolvido pela primeira vez em 1988, no Japão, sendo inicialmente chamado de concreto de alto desempenho, com o propósito de resolver o problema de baixa disponibilidade de mão de obra qualificada nos canteiros de obras japoneses, que ocasionava prejuízo na durabilidade das edificações (OKAMURA; OUCHI, 2003, p. 5). Por definição, “O termo concreto auto-adensável (CAA) identifica uma categoria de material cimentício que pode ser moldado nas fôrmas e preencher cada espaço exclusivamente através de seu peso-próprio, sem a necessidade de qualquer forma de compactação ou vibração externa.” (TUTIKIAN, 2007, p. 25). Trata-se, portanto, de um material ideal para sistemas industrializados, nos quais o objetivo principal é a redução do número de etapas no processo que necessitam de manuseio humano. Para se conseguir isso, esse autor informa que o concreto deve possuir alta fluidez, coesão entre os constituintes e resistência à segregação, podendo, assim, ser considerado auto-adensável.

Como já foi mencionado, o sistema de paredes de concreto é versátil quanto aos tipos de concreto empregados no processo. Mas, segundo Walraven<sup>10</sup> (2007 apud HELENE et al 2008, p. 60) e Okamura e Ouchi (2003, p. 13), no ramo de pré-fabricados tem se tornado quase indispensável o uso de concretos auto-adensáveis, devido às inúmeras melhorias que agrega ao sistema. Conforme cita Tutikian (2004, p. 33), esse material apresenta as seguintes vantagens:

- a) acelera a construção;
- b) reduz a mão de obra no canteiro;
- c) melhora o acabamento final da superfície;
- d) pode aumentar a durabilidade por ser mais fácil de adensar;
- e) permite grande liberdade de formas e dimensões;
- f) permite concretagens em peças de seções reduzidas;
- g) elimina o barulho de vibração;
- h) torna o local de trabalho mais seguro, em função da diminuição do número de trabalhadores;
- i) pode obter um ganho ecológico;
- j) pode reduzir o custo final do concreto e/ou da estrutura.

Uma consideração interessante feita por Tutikian<sup>11</sup> et al. (2005 apud TUTIKIAN, 2007, p. 31), está no custo de acabamentos e reparos de peças pré-fabricadas, comparando o concreto auto-adensável com o convencional. O custo com esses ajustes era de 7,03 R\$/m<sup>3</sup> para o concreto convencional, contra 1,41 R\$/m<sup>3</sup> do concreto auto-adensável e, na época do estudo, com reparos, de 14,55 R\$/m<sup>3</sup> do concreto convencional contra 0,00 R\$/m<sup>3</sup> (sem ajustes) do auto-adensável. Como não foi especificado o tipo de pré-fabricado da comparação, é de se esperar que essa diferença não seja tão grande assim para as paredes de concreto, pois, como

---

<sup>10</sup>WALRAVEN, J. New concretes for special requirements. In: INTERNATIONAL CONCRETE CONFERENCE & EXHIBITION, 7., 2007, Cape Town, África do Sul. **Proceedings...** [S. l.: s. n.], 2007. p. 6-11.

<sup>11</sup> TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C.; CREMONINI, R. A.; LAMARCA, R. L. M.; VIECILI, F. A. A comparison of production coast using conventional concrete and self-compacting concrete in Brazilian precast. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON SELF-COMPACTING CONCRETE, 4., 2005, Chicago, EUA. **Proceedings...** [S. l.: s. n.], 2005.

mencionado, o acabamento do imóvel se dá diretamente sobre a peça. A presença de defeitos acarreta custos com material, mão de obra não prevista e cria um gargalo no processo.

Mehta (1999, p. 74-75) faz uma comparação sob outro ponto de vista, classificando o concreto auto-adensável em relação a outras tecnologias existentes, como moderado, ou seja, apresenta comportamento intermediário quanto a complexidade da tecnologia, custo inicial dos materiais de construção, comportamento individual dos produtos e futuro impacto na indústria do concreto. Ele considera que esse material tem seu nicho garantido na indústria do concreto e que devido à viscosidade e alta retração autógena, esses concretos exigem cuidados especiais em acabamento e cura e, portanto, se espera que tenha apenas um impacto moderado nesse último critério.

Existem indefinidas combinações para se obter um concreto. Os itens seguintes descrevem as propriedades e meios de se obter esse material com características desejáveis para cada situação, controlando-se uma ou mais variáveis.

#### **4.2.1 Composição, características e dosagem dos concretos auto-adensáveis**

Tal como no concreto convencional, o concreto auto-adensável é composto por cimento, água, agregados graúdos e miúdos. A diferença é que ele recebe uma maior fração de materiais finos que substituem os graúdos, além de necessitar de aditivos superplastificantes, que resultam na característica de alta fluidez. Conforme cita Tutikian (2007, p. 39):

Cada vez mais tem se utilizado altos teores de materiais pozolânicos no concreto auto-adensável, já que esse tipo de concreto necessita um maior teor de finos para dar estabilidade, o que também aumenta o consumo de água e, conseqüentemente, a retração por secagem. Ao se utilizar um material pozolânico como componente fino, aumenta-se a resistência a segregação da mistura ao mesmo tempo em que se contribui para a formação de compostos resistentes ao material endurecido.

Existem alguns princípios básicos a se considerar acerca dos concretos auto-adensáveis, para se obter uma fluidez adequada, podendo-se citar os seguintes (REPETTE, 2008, p. 56-57):

- a) a pasta de concreto precisa lubrificar e afastar suficientemente os agregados, evitando que o atrito interno interfira no escoamento;

- b) a viscosidade deve ser suficientemente elevada para que os agregados se mantenham em suspensão, o que garante uma boa resistência a segregação, além de uma boa distribuição granulométrica que tem o mesmo efeito;
- c) a dimensão e a forma dos agregados graúdos devem ser limitadas pela capacidade dos mesmos passarem por obstruções.

Esse mesmo autor sugere que os tipos de cimento e teores de materiais do concreto auto-adensável são ilimitados, desde que se respeite os requisitos do concreto nos estados fresco e endurecido. Ele cita ainda algumas peculiaridades:

- a) o superplastificante a base de ácido policarboxilato é o mais empregado;
- b) o teor de finos (partículas com diâmetros menores que 0,075 mm) normalmente fica entre 400 e 600 kg/m<sup>3</sup> e a relação de água/finos totais fica entre 0,80 e 1,10, em volume;
- c) o uso de aditivo para elevar a viscosidade é dispensável quando as partículas finas estão presentes em quantidades suficientes;
- d) o uso de agregados graúdos apresenta melhor qualidade quando seu diâmetro se limita a 10 mm;
- e) o volume de agregados miúdos fica entre 35 e 50%, enquanto os graúdos entre 25 e 35%.

Todas essas recomendações delimitam a composição do concreto, mas ainda a deixam muito vaga. Repette (2008, p. 57) recomenda que sejam utilizados métodos de dosagem próprios para concreto auto-adensáveis, pois a simples correção de um concreto convencional com materiais finos e aditivos poderia gerar um concreto de baixa qualidade.

Collepari (2001, p. 440) cita duas dosagens típicas usadas no final dos anos 1970, conforme quadro 9. Essas dosagens eram usadas para concretagens submersas, onde é impossível o uso de vibradores. Tutikian (2004, p. 29) faz um destaque sobre o quanto é alto o abatimento de tronco de cone medido, e, principalmente, na mistura A, do quadro 9, (260 mm), onde comenta a dificuldade de se obter esse valor, já que o ensaio não tem tal precisão.

Para efeito de comparação com o quadro 9, o quadro 10 representa três dosagens de concreto auto-adensável propostos por Almeida et al. (2008, p. 46) usados para avaliar a variabilidade desse material nos dias atuais.

Componente	Mistura A	Mistura B
Cimento Portland Comum [kg/m <sup>3</sup> ]	400	300
Cinza Volante [kg/m <sup>3</sup> ]	-	90
Areia Fina (0,075 - 0,60 mm) [kg/m <sup>3</sup> ]	180	-
Areia Média (0 – 5 mm) [kg/m <sup>3</sup> ]	990	670
Pedregulho (5 – 15 mm) [kg/m <sup>3</sup> ]	630	305
Pedregulho (10 – 20 mm) [kg/m <sup>3</sup> ]	-	710
Água [kg/m <sup>3</sup> ]	190	187
Superplastificante [kg/m <sup>3</sup> ]	7	4
Relação água/cimento	0,47	0,62
Relação água/aglomerante	0,47	0,48
Abatimento ( <i>Slump</i> ) {mm}	260	220

Quadro 9: exemplo de traços do final dos anos 1970  
(adaptado de COLLEPARDI, 2001, p. 441)

Componente	Mistura A	Mistura B	Mistura C
Cimento Portland CP II [kg/m <sup>3</sup> ]	362,5	329,0	333,8
Filler [kg/m <sup>3</sup> ]	108,7	98,7	100,1
Areia 1 [kg/m <sup>3</sup> ]	710,9	607,1	602,5
Areia 2 [kg/m <sup>3</sup> ]	397,8	339,7	337,1
Brita 1 [kg/m <sup>3</sup> ]	525,9	450,7	447,3
Brita 2 [kg/m <sup>3</sup> ]	-	330,0	328,5
Água	181,3	164,8	166,9
Superplastificante Glenium C303 [kg/m <sup>3</sup> ]	6,2	5,6	5,7
Relação água/cimento	0,5	0,5	0,5
Relação água/aglomerante	0,38	0,39	0,38
Espalhamento {mm}	740	570	740

Quadro 10: exemplo de traços do final dos anos 2000  
(adaptado de ALMEIDA et al, 2008, p. 46)

Nos quadros 9 e 10, percebe-se que a relação água/aglomerante não supera 0,6 para diferentes épocas, o que torna difícil de se entender os motivos que levaram Repette (2008, p. 57) a colocar a faixa desse parâmetro entre 0,80 e 1,10, citado anteriormente.

Nesse ponto, pode-se afirmar que a retração do concreto está associada com dois fatores: a relação água/cimento e a quantidade de finos. Collepardi (2001, p. 431) menciona o problema de exsudação que ocorria na década de 70, que ocasiona esse problema, conforme figuras 8 e 9. Dessas figuras pode se concluir que a exsudação aumenta quando se reduz a quantidade de finos e também com a adição de água (que tem por objetivo elevar o valor obtido no abatimento de cone).

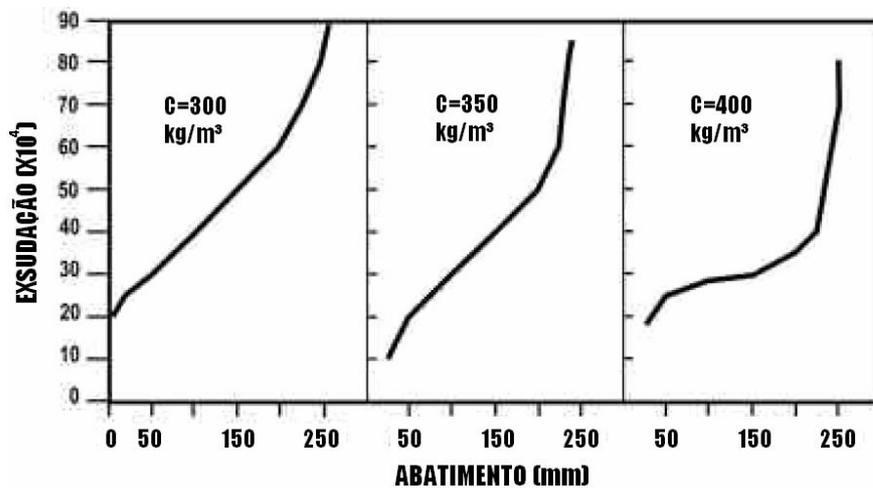


Figura 8: exsudação em concretos sem aditivo (COLLEPARDI, 2001, p. 441)

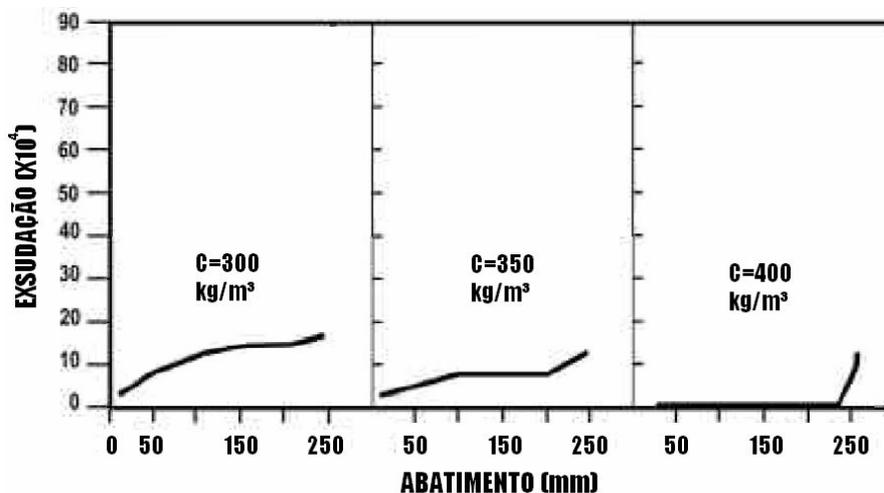


Figura 9: exsudação em concretos com aditivo (COLLEPARDI, 2001, p. 441)

A figura 8 mostra como a exsudação cresce exponencialmente com o valor do abatimento de cone. Esse aumento é ainda mais significativo para concretos com menores quantidades de finos como no primeiro caso. Com o advento dos superplastificantes, contudo, esse problema pode ser evitado, mesmo para concretos com elevados valores de abatimento de tronco, como mostrado na figura 9.

Colleparidi (2001, p. 432) coloca que o princípio mais importante para concretos fluidos e resistentes à segregação, incluindo o concreto auto-adensável, é o uso de aditivos superplastificantes combinados com alto teor de materiais finos, sejam eles cimento Portland, adições minerais, *filler* de rochas (calcáreo, basáltico, granítico) e/ou areia fina. Essa ideia é complementada por Repette (2008, p. 57) ao afirmar que os aditivos modificadores de viscosidade são importantes apenas para substituir a quantidade de finos, mas não são fundamentais. Essa informação pode ser observada na figura 10.

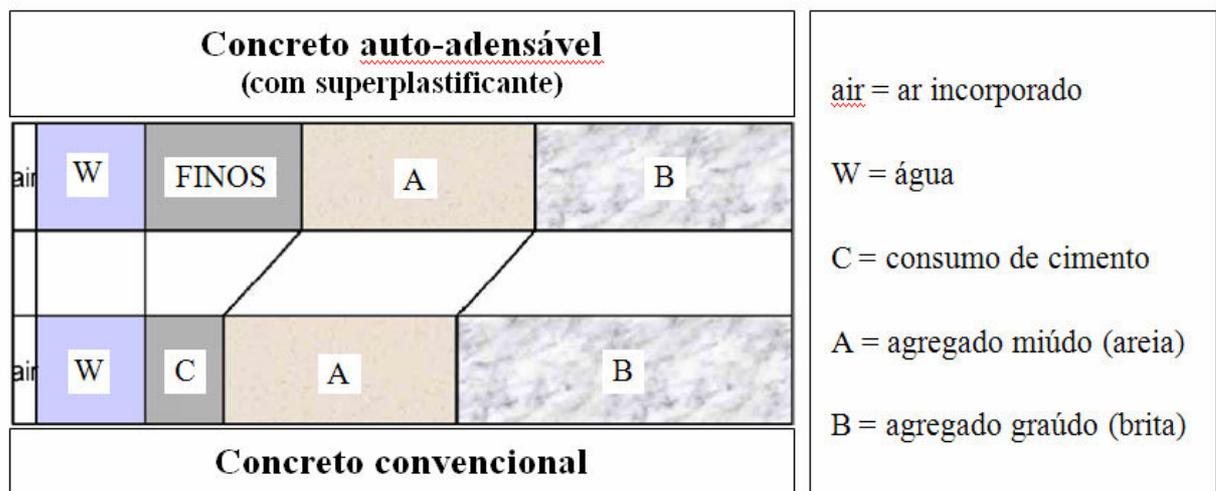


Figura 10: comparação da proporção dos materiais do concreto (OKAMURA; OUCHI, 2003, p. 5)

#### 4.2.1.1 Método de dosagem proposto por Okamura

Okamura e Ouchi (2003, p. 6) propõe um método de dosagem que segue os passos indicados na figura 11. Os autores limitaram a quantidade de agregados graúdos em 50% do volume total do concreto e, a quantidade de agregados miúdos, em 40% da quantidade de argamassa, em volume. Contudo, a relação água/cimento e o volume de aditivo não foram quantificados

pelos autores. A figura 10 complementa as informações, sugerindo que o agregado graúdo seja substituído por finos (cimento, *filler*, adições e outros), complementando-se a mistura com aditivo superplastificante, até a obtenção das características desejadas.

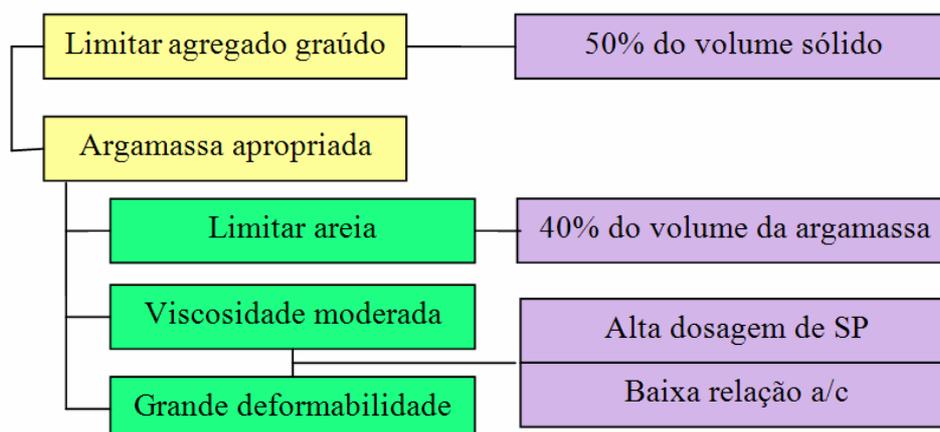


Figura 11: método de dosagem de concreto auto-adensável  
(OKAMURA; OUCHI, 2003, p. 6)

Okamura e Ouchi (2003, p. 7) propõem que o concreto seja avaliado por três testes, para determinar se é auto-adensável, que são os seguintes: *u-box*, *v-funnel* e *slump flow*. O primeiro teste verifica se o concreto é auto-adensável para a estrutura; caso não seja, deve ser corrigido pelo segundo e, por fim, caracteriza-se os materiais através do terceiro. Se o resultado do primeiro teste for inferior a 30 mm, o concreto não é considerado auto-adensável, e deve ser corrigido por uma série de equações e avaliado novamente.

#### 4.2.1.2 Método de dosagem proposto por Tutikian

A figura 12 representa, esquematicamente, os passos que devem ser seguidos para se executar a dosagem de concreto auto-adensável proposta por Tutikian (2007, p. 45-53). São necessárias várias etapas conforme essa ilustração, na qual o objetivo é “[...] se desenhar o diagrama de dosagem e determinar as equações de comportamento e os coeficientes de correlação, e a partir de qualquer condição inicial, dentro do intervalo do estudo experimental, pode-se dosar o CAA com os materiais escolhidos.”. A figura 13 exemplifica o resultado desse método de dosagem, além de ilustrar a aplicação de uma dosagem hipotética.

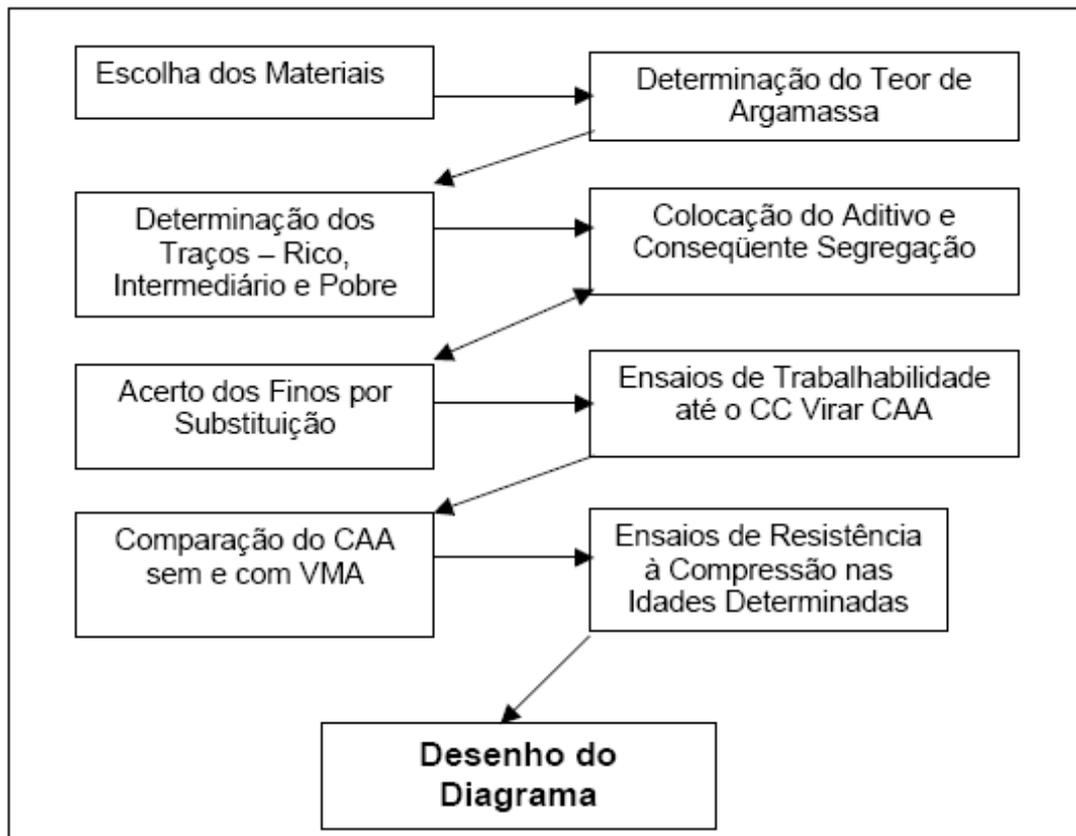


Figura 12: passo-a-passo para dosagem do concreto auto-adensável (TUTIKIAN, 2004, p. 95)

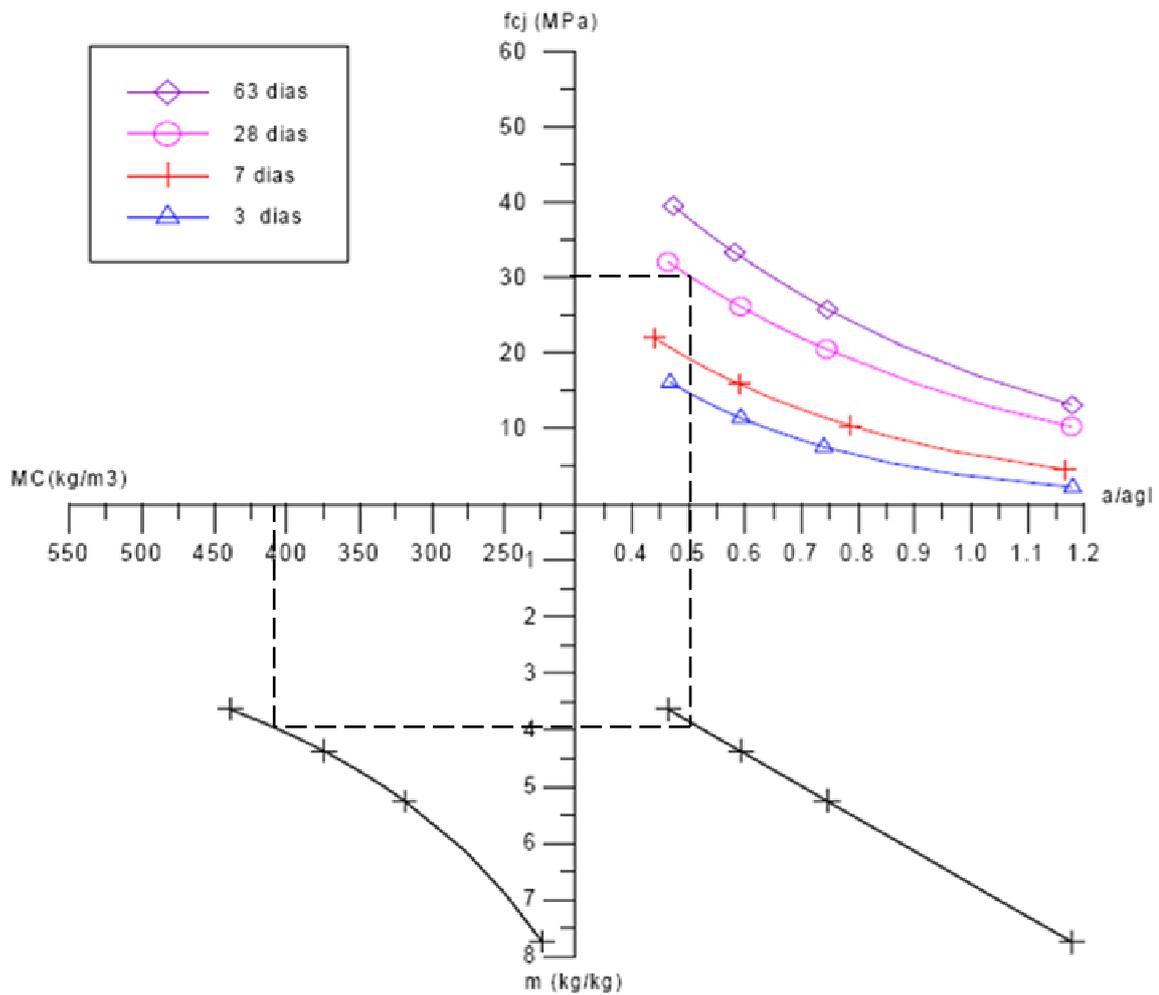


Figura 13: curva de dosagem para o concreto auto-adensável com cinza de casca de arroz (TUTIKIAN, 2004, p. 120)

Nesse exemplo, se fosse preciso dosar um concreto com casca de arroz, de 30 MPa aos 28 dias, usar-se-ia a curva representada pela figura 13, como é mostrado. Nesse caso, a relação água/aglomerante seria de 0,5 em traço 1:4 de cimento/agregados. A quantidade de material aglomerante necessária, então, estaria em torno de 420  $kg/m^3$  de concreto. Nesse caso, para fins didáticos do exemplo, optou-se para que a parcela de finos fosse a cinza de casca de arroz, mas existem outras opções como *filler* calcáreo ou metacaulim, com características próprias que não serão discutidas aqui. O importante é que se siga uma metodologia para se obter esse material e que esse possua uma maior parcela de finos que um concreto convencional, além da necessidade de aditivos.

## 5 PAREDES DE CONCRETO: DEFEITOS SUPERFICIAIS

Existem diversos tipos de defeitos que podem interferir na sequência executiva das paredes de concreto e principalmente de um imóvel executado com essa tecnologia. Nesse capítulo serão descritos os defeitos superficiais de maior relevância, por serem mais frequentemente observados no canteiro avaliado.

### 5.1 BOLHAS SUPERFICIAIS ABERTAS

A presença de bolhas superficiais abertas nas paredes de concreto é um problema corriqueiro, de tal forma que a Associação Brasileira de Cimento Portland (2008, p. 93) trata como operação básica a feltragem das peças após a remoção das fôrmas. A afirmação de Misurelli e Massuda (2009, p. 80) que pequenas bolhas ficam visíveis na superfície das placas decorrentes do lançamento do concreto, reforça a ideia que esse seja um defeito inevitável.

Para se encontrar a solução de um determinado problema, é preciso se conhecer a origem do mesmo. Dessa forma, é possível apontar a viscosidade do concreto como a grande responsável por dificultar a liberação do gás existente no material, como informam Okamura (1997, p. 50) e Helene et al. (2008, p. 60-61). Contudo, a viscosidade é uma característica importante desse material porque evita a segregação dos seus constituintes, como menciona Repette (2008, p. 56).

O motivo para o surgimento das bolhas superficiais é comentado por Geyer (1995, p. 13-27), sendo geradas durante o processo de mistura e lançamento, devido à agitação do concreto. Uma parcela do ar presente na massa consegue ser expulsa, outra permanece durante a cura, já que sua eliminação é dificultada pela viscosidade do material. A água e o ar que permanecem no concreto tendem a se deslocar para próximo das paredes das fôrmas, ou seja, superfície externa das placas, devido à agitação e pressão exercidas pelo concreto. Esses fatos fazem com que se origine uma espessura de cerca de 5 mm na qual encontra-se apenas pasta de cimento seguida de outra com presença predominante de agregados miúdos. É nessa região, com um concreto de menor qualidade, que é encontrada a maior parcela de bolhas, justamente

na parte mais visível. A parte central da peça possui um material mais homogeneizado, caracterizando um concreto de superior qualidade.

Dessa forma, os dois caminhos existentes para se evitar a produção de peças com bolhas são impedir o surgimento das mesmas ou facilitar a sua eliminação. Nesse trabalho serão apresentadas maneiras de se atingir a primeira alternativa, mas, caso isso não seja possível, Geyer (1995, p. 9-18) sugere o uso de fôrmas drenantes para a liberação das bolhas de ar. Segundo esse autor, o concreto necessita de uma relação água/cimento de cerca de 0,23 para hidratar o cimento e então sofrer as reações químicas, adequadamente. A água excedente a esse valor é aquela necessária para conferir trabalhabilidade ao material. Essa água, juntamente com uma maior quantidade de pasta de cimento, argamassa e ar, migram, durante o lançamento do concreto, para as regiões próximas da fôrma (parte externa das paredes), onde o concreto passa a apresentar menor qualidade, sendo mais poroso, mais propenso a sofrer fissurações e com maior presença de bolhas que não conseguem ser expulsas devido a viscosidade do concreto. Para fôrmas de grandes dimensões verticais o defeito passa a ser facilmente observado. A figura 14 ilustra, de perfil, como se dá a distribuição dessas camadas dentro de uma peça concretada.

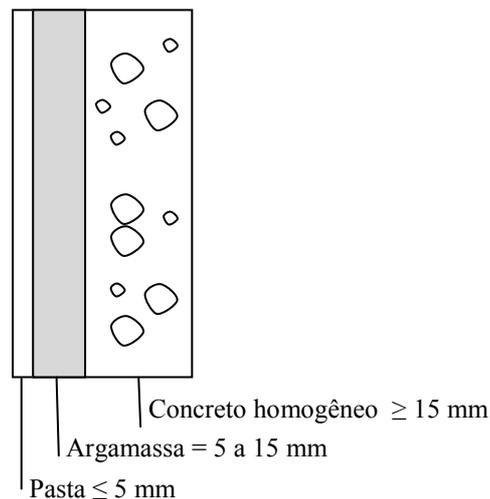


Figura 14: distribuição heterogênea das camadas do concreto (baseado em GEYER, 1995, p. 18)

O método das fôrmas drenantes, explica Geyer (1995, p. 23-36), consiste em revestir a fôrma convencional, que pode ser metálica, com uma cobertura porosa que permita a saída da água e do ar contidos no concreto. Essa cobertura, que é um têxtil, é posicionada rente a fôrma, onde

se localiza a maior quantidade de bolhas, facilitando a saída desses elementos. A figura 15 ilustra como ela deve ser posicionada e como ocorre a drenagem.

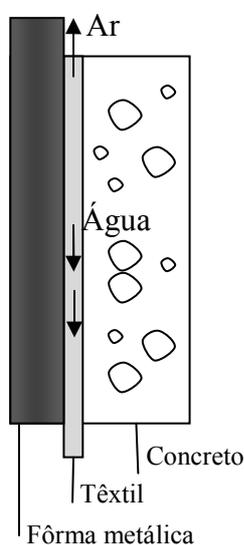


Figura 15: drenagem do concreto de uma fôrma absorvente (baseado em GEYER, 1995, p. 25)

Na figura 15, é possível se observar que o têxtil fica abaixo da parte inferior da fôrma. Isso é feito propositalmente para que a água seja conduzida mais facilmente para o exterior, e é chamado de pavio drenante. Os ensaios realizados por Geyer (1995, p. 63-75) indicam que um geotêxtil de polipropileno de 200 g/m<sup>2</sup>, não tecido e fabricado pelo processo de agulhagem, seja o mais indicado, apresentando baixa aderência ao concreto. Para que a remoção seja facilitada, ele deve possuir duas camadas, sendo a que entra em contato com o concreto de maior densidade, o que a torna mais lisa. Os resultados dos ensaios realizados por Geyer (1995, p. 102-109) indicam uma redução do fator de bolhas superficiais (FBS, que será definido no item 5.1.1) da ordem de 9 a 15 vezes, ocorrendo casos de o mesmo ser nulo. Quanto à aplicabilidade, Geyer (1995, p. 51-55) indica uma série de obras em que o sistema foi empregado no Japão, inclusive, em obras de edifícios com paredes de concreto. Porém, é preciso observar a textura resultante da superfície das placas produzidas dessa forma, para avaliar se a impressão do geotêxtil não impede o acabamento diretamente sobre a placa, que é o que se pretende. Outro estudo necessário seria quanto aos custos, identificando se é viável esse investimento frente à correção por meio da feltragem manual das bolhas.

### 5.1.1 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DAS BOLHAS SUPERFICIAIS

O método chamado de fator de bolhas superficiais (FBS) foi proposto por Horiya<sup>12</sup> (1986 apud GEYER 1995, p. 85) com o objetivo de determinar quantitativamente a aparência das placas: “O FBS consiste em um fator que é determinado através da medição das dimensões planas das bolhas, em uma amostra representativa de concreto aparente, e é determinado pelo percentual de área ocupado por estas bolhas em relação à área total das amostras [...]”.

Conforme Horiya<sup>13</sup> et al (1989 apud GEYER 1995, p. 86)

[...] para este teste devem ser aleatoriamente escolhidas, na superfície a ser avaliada, amostras de dimensões mínimas 50x50mm, que contenham quantidade significativa de bolhas. Sempre devem ser escolhidas no mínimo 3 amostras conjuntas representando os níveis superior, intermediário e inferior da superfície da peça.

A figura 16 exemplifica um caso genérico.

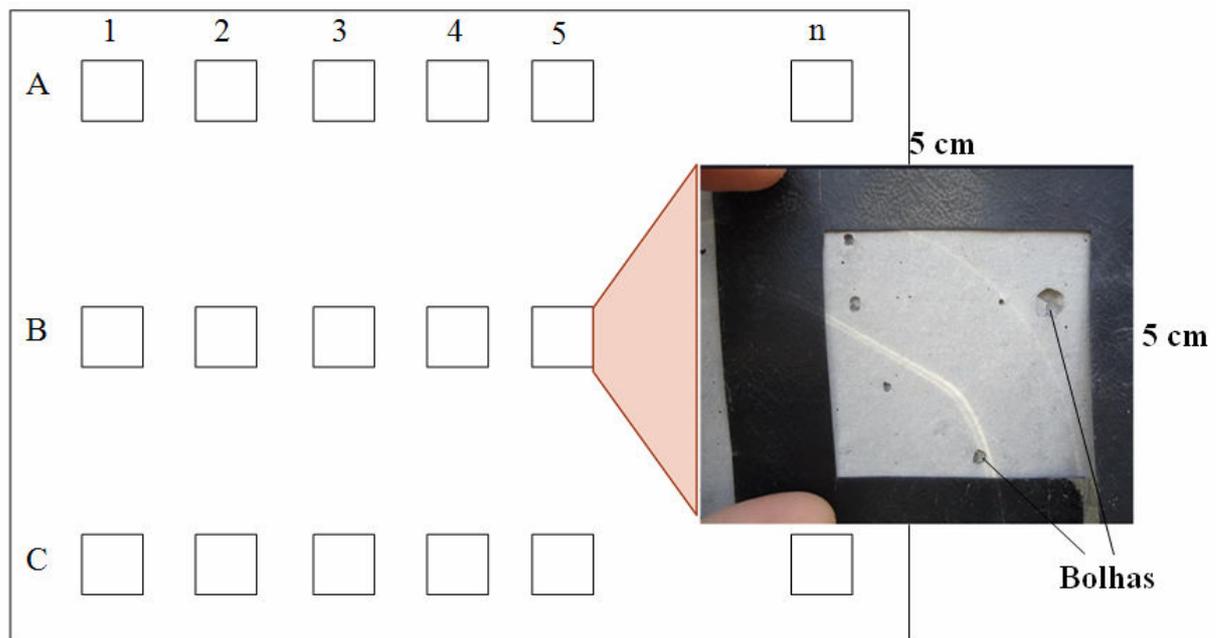
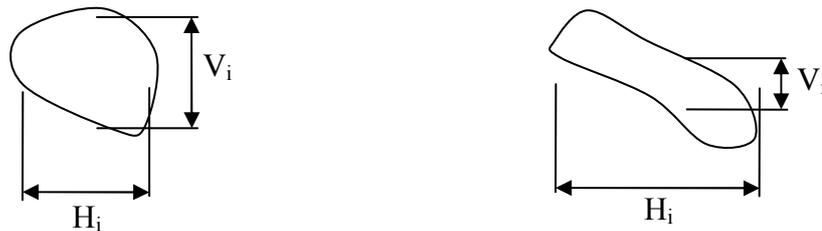


Figura 16: demarcação das regiões avaliadas em uma placa para o cálculo do FBS (adaptado de GEYER, 1995, p. 86)

<sup>12</sup> HORIYA, S. **Improvement of concrete surface quality by permeable form: textile form method.** Tóquio: Kumagai Gumi Co., 1986.

<sup>13</sup> HORIYA, S.; UNO, S.; KATAYAMA, K. Improvement of concrete durability by permeable form, In: EAST ASIA PACIFIC CONFERENCE ON STRUCTURAL ENGINEER AND CONSTRUCTION, 2., 1989, Tailândia. **Proceedings...** [Tóquio: s. n.], 1989.

Na figura 16, as letras indicam as linhas das regiões avaliadas, sendo um total de três (superior, intermediária e inferior). Os números representam as colunas, onde n é um número indeterminado que depende da representatividade que se deseja ter nas medições. Em cada um dos retângulos representados na figura 16 é observada (ou não) a existência de bolhas e se determina a sua área, considerando, por simplificação, que sejam retangulares, conforme figura 17.



$H_i$  = largura da bolha;  
 $V_i$  = altura da bolha.

Figura 17: determinação da altura e da largura de duas bolhas genéricas  
 (adaptado de HORIYA<sup>14</sup>, 1986 apud GEYER, 1995, p. 87)

As equações 1 e 2, juntamente com as medições realizadas pelos parâmetros mostrados nas figuras 16 e 17, servem para se determinar o FBS:

$$Ab_i = H_i \times V_i \quad (\text{equação 1})$$

$$\text{FBS} = \sum (Ab_i / A_R) \times 100\% \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

$Ab_i$  = área de uma bolha qualquer, em mm<sup>2</sup>;

$H_i$  = altura de uma bolha qualquer, em mm;

$V_i$  = largura de uma bolha qualquer, em mm;

$A_R$  = área da região retangular avaliada, que é constante e vale 250 mm<sup>2</sup>;

<sup>14</sup> HORIYA, S. **Improvement of concrete surface quality by permeable form: textile form method**. Tóquio: Kumagai Gumi Co., 1986.

FBS = fator de bolhas superficiais, em %.

Nesse trabalho, como as bolhas apresentam-se normalmente numerosas e com dimensões muito reduzidas, será feita uma adaptação na forma de medir o FBS para garantir a precisão dos resultados. Cada uma das regiões demarcadas, conforme figura 16, será fotografada em alta resolução. Essas imagens serão introduzidas em um *software* CAD, onde serão colocadas em escala 1:1 e terão as bolhas digitalizadas e medidas considerando seu formato real, conforme figura 18. Em cada região verificada, a área das bolhas será somada e, então, relativizada a área desse local considerado. Dessa forma, será possível se comparar duas placas diferentes quanto a sua aparência superficial. Aquela que apresentar menor FSB pode ser considerada com um melhor acabamento superficial.

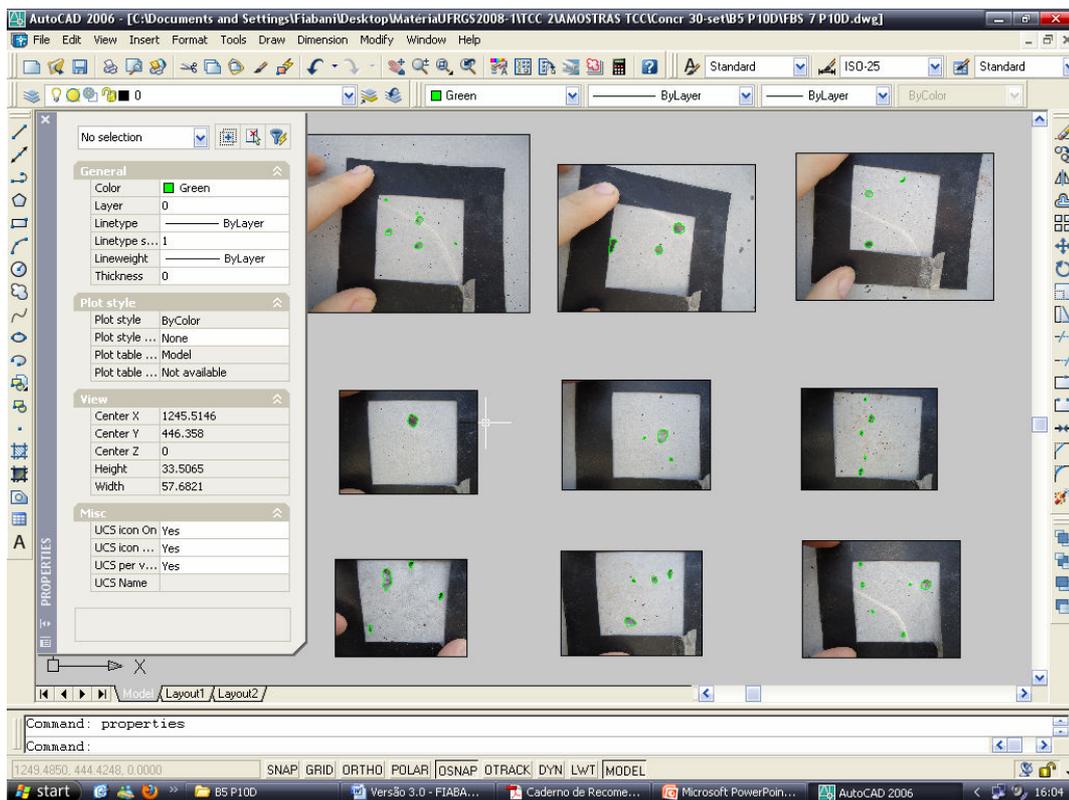


Figura 18: digitalização das bolhas nas regiões de estudo de uma parede qualquer

Na figura 18 estão representadas as nove regiões de uma parede qualquer, as quais se encontram na escala 1:1 e nas devidas posições em que se encontravam na peça. Os contornos verdes demarcam as bolhas para possibilitar a medição das áreas de cada uma delas.

## 5.2 FISSURAS

As fissuras podem ser classificadas de diversas formas, de acordo com sua origem, mas, baseado em Josiel (1975, p. 15-104), Helene (1988, p. 28-34) e Nunes (2007, p. 4-11), é possível agrupá-las em quatro grupos principais, ou seja, devido à:

- a) deformação;
- b) retração hidráulica;
- c) retração térmica;
- d) expansão hidráulica.

No primeiro grupo, a deformação pode estar associada aos esforços a que as peças concretadas estão sujeitas (JOSIEL, 1975, p. 15-30). Assim, um esforço de compressão, de cisalhamento ou de flexão superior ao que suporta o concreto pode gerar fissuras. Esse esforço pode ser gerado durante o transporte das paredes, por choques mecânicos ou mesmo pelo armazenamento inadequado, com sobrecargas.

A retração hidráulica pode gerar fissuras quando o concreto ainda está no estado fresco devido “[...] a perda da água exsudada para a superfície [...]” ou “[...] devido à evaporação da mesma [...]”, sendo esse tipo mais comumente observado “[...] em elementos de concreto cuja relação área superficial/espessura é muito grande.” (NUNES, 2007, p. 4-11). Quando a taxa de evaporação é maior que a de exsudação, ocorrem tensões capilares que provocam a fissuração, sendo recomendada a proteção da superfície para evitar o problema. A medida que o concreto vai curando podem surgir fissuras ocasionadas pela perda de água que geram contrações diferenciadas, provocando tensões internas no material. A molhagem é a forma recomendada para minimizar esse efeito. Ainda de origem hidráulica, podem ser observadas a retração autógena, que ocorre durante a hidratação do cimento, o que causa contrações na pasta devido formação de meniscos capilares, e a retração por carbonatação, que ocorre quando produtos do cimento reagem com compostos carbônicos presentes no ar, fazendo o concreto perder água.

Segundo Josiel (1975, p. 54-55), a retração térmica está associada ao coeficiente de dilatação térmica do concreto, de cerca de 10  $\mu\text{m}$  por metro. Esse valor é afetado pela variação térmica

e pela umidade relativa atmosférica, fazendo variar o volume do concreto endurecido, sendo que o efeito é mais sensível para peças de maiores idades.

O último grupo é o das fissuras causadas pela expansão volumétrica da água que se encontra nos poros do concreto, produzindo grandes pressões. Esse tipo é de pouca relevância nesse estudo.

A figura 19 ilustra uma fissura do primeiro grupo, único tipo identificado em todas as paredes avaliadas.



Figura 19: fissura devido ao choque mecânico de uma parede de concreto

A fissura ilustrada na figura 19 pode ser vista na região centro-superior dessa imagem, e foi causada, possivelmente, durante o transporte da mesma.

### 5.3 MANCHAS

Devido a forma como é concluído o acabamento das paredes, tem grande importância evitar variações bruscas de tonalidade nas peças concretadas, visto que podem ficar salientes sob

essas camadas. Entre outras, de menor relevância nesse contexto, Silva (1993, p. 3) cita as seguintes causas para desuniformidade da cor do concreto aparente:

- a) variação na cor do cimento e da areia;
- b) variação na relação água/cimento;
- c) concentração de aditivos em pontos localizados;
- d) desmoldantes;
- e) desforma em tempos diferentes;
- f) impurezas no concreto;
- g) movimento da água dentro das fôrmas devido aos gradientes de energia.

Esse autor sugere que, para se evitar o surgimento de manchas na superfície do concreto, deve-se procurar manter constantes as marcas e fornecedores das matérias-primas. Ele informa também que a granulometria dos agregados deve ser uniforme para todo o lote, além de se evitar a contaminação dos agregados graúdos com minerais reativos que podem gerar reações álcalis, e dos miúdos com materiais carbonosos ou pirita por gerarem manchas de oxidação na superfície das placas. Como última recomendação, informa que, caso aditivos sejam empregados no processo, os mesmos devem ser bem homogeneizados de forma a evitar pontos de concentração aparentes. A figura 20 ilustra duas paredes justapostas, uma mais escura do que a outra, enquanto a figura 21 mostra as diferentes cores e tonalidades em uma mesma peça.



Figura 20: paredes justapostas com diferentes tonalidades de cinza



Figura 21: uma única parede com diferentes cores e tonalidades

As figuras 20 e 21 ilustram todos os tipos de cores e tonalidades observados nas paredes estudadas. Nelas podem ser notados tons de cinza que vão do claro ao escuro, manchas esbranquiçadas, manchas de oxidação e manchas devido ao processo de montagem, como escorrimentos de materiais de diferentes tipos.

## 6 PAREDES DE CONCRETO: AVALIAÇÕES

As avaliações necessárias nesse estudo devem ocorrer em dois níveis: no primeiro deve ser realizada uma verificação do defeito que é mais comum no processo, o qual pode representar grande melhora na aparência, caso seja solucionado, para, em seguida, se procurar as causas, através da avaliação das variáveis e estudo dos efeitos da suas alterações.

Num primeiro momento serão levantados dados sobre defeitos em um pavimento de um prédio executado com paredes de concreto, para que se possa identificar em qual defeito se deve focar na linha de produção. Todas as peças produzidas possuíam características de produção comum, como uso de fôrmas metálicas, desmoldante à base d'água, mesmo aditivo superplastificante, produção em série de paredes com dimensões variadas, no entanto, não se considerou o histórico de produção das peças avaliadas para o levantamento preliminar do defeito mais crítico. Para o segundo momento, na linha de produção, o processo será mais detalhado, indicando como se sucederam as concretagens, caracterizando o material e o processo executivo. O nível de detalhamento será limitado, apenas, por questões éticas.

### 6.1 AVALIAÇÃO PRELIMINAR: DEFEITO SUPERFICIAL MAIS CRÍTICO

Para ser mais aplicável nas condições consideradas nesse trabalho, foram levantados dados de campo que revelam quais são os macrogrupos de defeitos superficiais mais comuns na empresa considerada (quadro 11). Os dados foram coletados pela observação da existência ou não de um determinado defeito, desconsiderando, num primeiro momento, a intensidade de cada um deles. Assim, foram consideradas as paredes de concreto de um andar de um prédio. A identificação de cada uma das paredes de onde se extraiu tais dados está associada à figura 22, indicando a posição de cada um desses exemplares. A quantidade de dados levantados ficou limitada a um pavimento devido à baixa disponibilidade de pavimentos montados no local e à observação apenas da parte externa das placas favorecida pela maior luminosidade e considerando que o lado interno estaria na mesma situação que o externo.

EXEMPLAR	TIPO DE DEFEITO OBSERVADO				
	Bolhas	Fissuras	Manchas	Juntas frias	Outros
Parede 1	X	X	X		
Parede 2	X				
Parede 3	X		X		X
Parede 4	X			X	X
Parede 5				X	X
Parede 6	X				X
Parede 7	X				X
Parede 8	X		X		
Parede 9	X				X
Parede 10	X				X
Parede 11	X		X	X	X
Parede 12	X		X		X
Parede 13	X				X
Parede 14	X	X	X		
Parede 15	X		X		X
Parede 16	X		X		
Parede 17	X				X
Parede 18	X				X
Parede 19	X		X		
Parede 20	X				X
Parede 21	X				X
Parede 22	X	X			
Parede 23	X				X
Parede 24			X		X
Parede 25	X				X
Parede 26	X				
Parede 27	X				
Parede 28	X	X	X		

Quadro 11: tipos de defeitos superficiais existentes nas paredes de concreto observadas

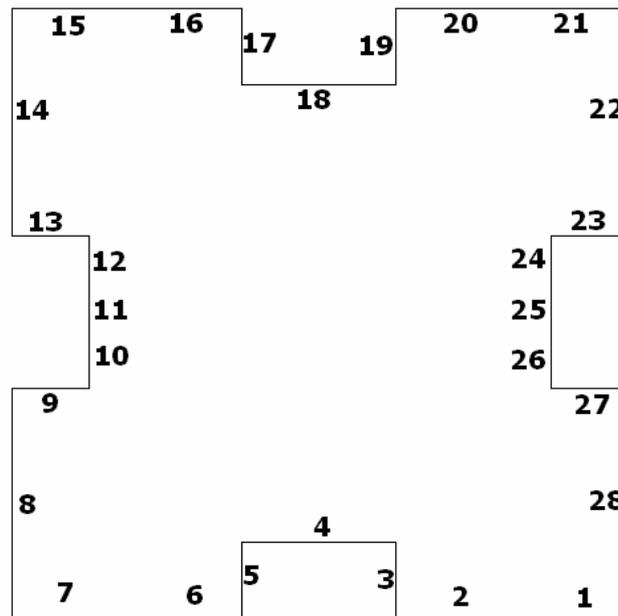


Figura 22: localização das paredes de concreto no pavimento utilizado como amostra

Dessa forma, para o pavimento composto de 28 placas pré-moldadas de concreto, tem-se a seguinte participação percentual de defeitos:

- a) 93% das paredes apresentam problemas de bolhas superficiais abertas, variando desde poucos milímetros e em grandes concentrações até alguns centímetros de diâmetro, quando são geralmente mais esparsas;
- b) 14% das paredes apresentaram fissuras, geralmente verticais e localizadas na região entre duas aberturas (espaço que liga as aberturas para ar-condicionado e janelas, geralmente), cujas larguras não ultrapassam 1 mm;
- c) 39% das paredes apresentam manchas salientes, considerando a própria peça, podendo ser amareladas ou ilhas de tonalidades variando entre cinza claro e escuro. Quando foram comparadas peças justapostas, pôde-se perceber essa mesma descontinuidade de tonalidades de cinza, porém de forma mais brusca;
- d) 11% das paredes apresentaram juntas-frias, onde se percebe que materiais que escoavam em duas frentes opostas se encontraram e solidificaram formando uma espécie de friso mais escuro, nunca ultrapassando 500 mm de comprimento;
- e) 64% das paredes apresentaram algum outro defeito superficial devido ao processo, como respingos de tinta, escorrimento de concreto, marcas de solda, desalinhamentos entre duas placas justapostas e/ou lascamentos por batidas. As exemplares 22 e 26, que representam 7% do total, ainda apresentaram uma superfície significativamente áspera, diferente das demais.

Com essas informações, é possível focar a atenção no defeito superficial mais crítico, que é a ocorrência de bolhas superficiais abertas. Assim, o trabalho buscou formas de avaliar sua intensidade e motivos de ocorrência.

## 6.2 CORRELAÇÃO ENTRE O DEFEITO SUPERFICIAL MAIS CRÍTICO E AS VARIÁVEIS DO PROCESSO

Para esse estudo, acompanhou-se seis dias de concretagem de paredes de concreto e nove dias de desforma das paredes correspondentes. Foram avaliados, no total, 18 caminhões betoneira de 8 m<sup>3</sup> cada e 43 paredes produzidas pelos mesmos. Em cada dia de concretagem executava-se, normalmente, 26 paredes, sendo 2 baterias de 13, necessitando em torno de 18m<sup>3</sup> de concreto. Cada fôrma metálica da bateria recebia desmoldante a base d'água e depois a armadura que já vinha montada com as mangueiras elétricas e espaçadores. Em seguida, travava-se essa fôrma com presilhas de aço. Estando essa pronta, passava-se para a seguinte, justaposta, até que todas estivessem preparadas. As dimensões e presença de vãos se alteravam de uma para outra. Assim que as treze fôrmas estivessem prontas, era possível executar a concretagem. O caminhão estacionava próximo da bateria e se realizava o teste de abatimento de cone (*slump*) e a coleta para ensaio de resistência à compressão ( $f_{ck}$ ). Em função do *slump*, adicionava-se o aditivo e procedia-se a mistura. O teste de espalhamento e segregação verificava se a quantidade de superplastificante adicionada estava adequada. Aprovado nesse critério, o concreto auto-adensável era lançado em porções de 1 m<sup>3</sup> com emprego de uma caçamba com esse volume pela parte superior da primeira fôrma, até que atingisse cerca da terça parte da mesma, e o mesmo nas seguintes. Feito isso nas treze peças, complementava-se a porção superior de cada uma.

As variáveis do processo consideradas nessas avaliações foram as seguintes:

- a) fator de bolhas superficiais (FBS) das paredes verificadas, em %;
- b) volume de concreto contido em cada caminhão, em m<sup>3</sup>;
- c) *slump* do concreto entregue, em mm;
- d) espalhamento do concreto aditivado, em mm;
- e) volume de concreto aditivado, em L;

- f) tempo de deslocamento do caminhão, considerado entre o momento da primeira adição de água e a primeira adição de aditivo superplastificante, em horas;
- g) tempo de concretagem das paredes, considerado entre o momento da primeira adição de aditivo superplastificante, em horas;
- h)  $f_{ck}$  do concreto aos 3 dias;
- i) o preenchimento das fôrmas com o concreto auto-adensável.

O FBS foi medido em nove pontos distintos de cada uma das paredes avaliadas, sendo três na região superior, três na intermediária e outros três na inferior. Conforme é mostrado na figura 16, pode-se dizer que foram consideradas as regiões 1A, 2A e 3A como sendo superiores; 1B, 2B e 3B como sendo as intermediárias e 1C, 2C e 3C como sendo as inferiores. A medição realizada em cada uma dessas regiões, que nesse trabalho serão chamadas de quadrantes, não teve sua posição fixa, ou seja, dentro de cada um deles procurou-se descrever, da melhor forma possível, a região, como se as bolhas (que apareciam em muitos casos agrupadas) estivessem igualmente distribuídas. O motivo desse ajuste é o uso de paredes de dimensões e tipos diferentes que impossibilitavam a padronização e também porque o interesse é eliminar as bolhas da superfície toda, e não apenas de regiões específicas.

Em cada dia em que houve concretagem de paredes, foram necessários três caminhões de concreto para produzir as 26 paredes, de formas e dimensões diversas, que serviam para montar dois apartamentos completos. As paredes eram concretadas parcialmente, até cerca de um terço da altura, por questões de resistência estrutural das fôrmas, ou seja, preenchia-se parcialmente a primeira, depois a justaposta e assim por diante. O efeito desse procedimento é que uma parede podia receber concreto de mais de um caminhão (normalmente uma parede recebia concreto de dois caminhões distintos). Para que fosse possível relacionar a medição de uma região da peça com um concreto específico, foi formulada uma planilha de rastreabilidade de concreto, conforme está exemplificado no quadro 12.

No quadro 12 está apresentado de que forma foi controlada a concretagem de cada dia, para possibilitar a relação entre processo e produto. Esse quadro identifica o nome das paredes avaliadas e a ordem em que foram executadas. As cores identificam o caminhão que foi usado para concretar no dia avaliado. Assim, esquematicamente tem-se:

- a) ordem executiva: sequência de conclusão da concretagem das paredes, indo da primeira à vigésima sexta, sendo 13 paredes por bateria e concretagens normalmente de 2 baterias por dia;
- b) identificação das paredes: código que identifica a peça produzida e a fôrma, originado da planta baixa de montagem das paredes;
- c) cor azul: indica que o concreto é proveniente apenas do caminhão 1;
- d) cor amarela: indica que o concreto é proveniente apenas do caminhão 2;
- e) cor vermelha: indica que o concreto é proveniente apenas do caminhão 3;
- f) cor verde: indica que o concreto é proveniente na parte inferior do caminhão 1 e no complemento do caminhão 2;
- g) cor laranja: indica que o concreto é proveniente na parte inferior do caminhão 2 e no complemento do caminhão 3.

Disposição das paredes na bateria													
Bateria 4													
Identificação das paredes	P07D	P06D	P05D	P03E	PF04D	PF02D	P01E	PF08D	PF06D	PF05D	P09D	P01D	PF01D
Ordem executiva	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Bateria 3													
Identificação das paredes	PF01E	PF02E	PF03E	PF04E	PF05E	PF06E	PF07E	P08D	P10E	P06E	PF08E	P02D	P04E
Ordem executiva	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14

Quadro 12: rastreabilidade do concreto das baterias 3 e 4.

### 6.2.1 FBS DAS PAREDES AVALIADAS

Para o cálculo do FBS, procurou-se tomar quatro paredes de cada bateria rastreada. A posição das paredes medidas normalmente eram as seguintes: 1, 3, 11, 13, 14, 16, 24 e 26. O motivo dessa escolha é a forma como as concretagens foram realizadas, o que favoreceu a comparação entre o concreto lançado logo após a aditivação e a última porção da carga do caminhão. Os quadros 13 a 18 resumem as medições realizadas, organizados cronologicamente pela data e ordem de execução.

Ordem/ Identificação	Caminhão	FBS por quadrante (%)				FBS por linha (%)	FBS Geral (%)
		Col/Lin	1	2	3		
1- PF01D	c1	A	0,76	0,69	3,32*	1,59	1,38
	c1	B	3,68**	0,24	0,77	1,56	
	c1	C	0,32	1,21	1,44	0,99	
2- P01D	c1	A	2,00	7,92**	2,32	4,08	2,85
	c1	B	3,68*	1,06	0,04	1,59	
	c1	C	1,97	3,32	3,31	2,87	
10- P03D	c2	A	2,74	2,65	2,29	2,56	2,57
	c1	B	4,08**	3,52*	1,15	2,92	
	c1	C	2,76	3,23	0,72	2,24	
13- P07D	c2	A	0,40	0,59	0,32	0,44	1,17
	c1	B	2,30**	1,60*	1,20	1,70	
	c1	C	1,60*	1,52	1,04	1,39	
14- P04E	c2	A	1,80	0,80	1,40	1,33	1,85
	c2	B	2,40*	1,24	2,04	1,89	
	c2	C	1,68	2,36	2,96**	2,33	
16- PF08E	c3	A	3,32	2,64	1,64	2,53	3,10
	c2	B	4,04	4,56**	4,36*	4,32	
	c2	C	1,68	3,16	2,46	2,43	
24- PF03	c3	A	0,48	0,72*	0,26	0,49	0,54
	c3	B	0,26	1,64**	0,38	0,76	
	c3	C	0,36	0,60	0,16	0,37	
26- PF01E	c3	A	0,48*	0,36	0,24	0,36	0,34
	c3	B	0,30	0,08	0,26	0,21	
	c3	C	0,20	0,44	0,68**	0,44	

onde: c1, c2 e c3 é a identificação dos caminhões betoneira na ordem em que foram empregados no dia da concretagem; \*\* a cor laranja destaca o resultado mais crítico do FBS de cada parede, a cor azul destaca um resultado inferior dos mais críticos e \* o amarelo um valor intermediário

Quadro 13: resultado da medição do FBS de oito paredes concretadas no dia 22 de setembro de 2010

Ordem/ Identificação	Caminhão	FBS por quadrante (%)				FBS por linha (%)	FBS Geral (%)
		Col/Lin	1	2	3		
1- PF01D	c1	A	1,24	5,44*	2,00	2,89	2,17
	c1	B	1,10	6,96**	0,57	2,88	
	c1	C	0,48	0,84	0,88	0,73	
3- P01D	c1	A	3,17	4,18	2,96	3,43	3,43
	c1	B	2,82	8,68**	4,30*	5,27	
	c1	C	0,56	2,55	1,66	1,59	
11- P07D	c2	A	1,28		2,56*	1,92	2,04
	c2	B	1,88		1,04	1,46	
	c1	C	3,96**		1,50	2,73	
13- PF01E	c3	A	0,20	0,18	0,30	0,23	1,67
	c2	B	3,52**	2,40	1,88	2,60	
	c2	C	3,16*	1,60	1,76	2,17	
14- P10E	c3	A	0,00	0,12	0,04	0,05	1,08
	c2	B	1,52	1,12	2,00*	1,55	
	c2	C	1,88	2,36**	0,72	1,65	
16- PF06E	c3	A	1,20	2,20**	1,88*	1,76	1,02
	c3	B	1,45	0,70	0,40	0,85	
	c2	C	0,80	0,20	0,36	0,45	
24- PF05E	c3	A	2,24*		0,84	1,54	1,75
	c3	B	0,62		2,24*	1,43	
	c2	C	2,11		2,46**	2,29	
26- P08E	c2	A	2,64	3,96*	1,68	2,76	2,27
	c2	B	1,51	6,20**	1,48	3,06	
	c2	C	0,22	2,33	0,41	0,99	

onde: c1, c2 e c3 é a identificação dos caminhões betoneira na ordem em que foram empregados no dia da concretagem; \*\* a cor laranja destaca o resultado mais crítico do FBS de cada parede, a cor azul destaca um resultado inferior dos mais críticos e \* o amarelo um valor intermediário

Quadro 14: resultado da medição do FBS de oito paredes concretadas no dia 23 de setembro de 2010

Ordem/ Identificação	Caminhão	FBS por quadrante (%)			FBS por linha (%)	FBS Geral (%)	
		Col/Lin	1	2			3
1- PF08E	c1	A	1,60	2,60*	2,76**	2,32	1,49
	c1	B	1,18	2,76**	0,96		
	c1	C	1,01	0,32	0,26		
3- P08D	c1	A	0,44	0,68	0,31	0,47	0,69
	c1	B	0,40	0,24	1,24*		
	c1	C	1,16	0,34	1,39**		
11- P01E	c2	A	0,08	0,20	0,12	0,13	0,20
	c1	B	0,52*	0,68**	0,00		
	c1	C	0,16	0,04	0,04		
13- P06E	c2	A	0,00	0,00	0,04	0,01	0,55
	c1	B	1,12*	1,32**	0,56		
	c1	C	0,36	0,80	0,72		
14- PF05D	c3	A	2,92		3,04*	2,98	2,18
	c3	B	1,08		3,12**		
	c2	C	0,88		2,04		
16- PF08D	c3	A	2,36	2,88	4,84**	3,36	2,76
	c2	B	1,56	3,64*	1,52		
	c2	C	2,32	2,28	3,44		
24- P10D	c3	A	8,00**	0,48	0,48	2,99	2,80
	c3	B	6,40*	3,74	4,14		
	c2	C	0,78	1,06	0,08		
26- P04D	c3	A	2,40	5,70**	1,60	3,23	2,35
	c3	B	2,40	2,88	3,72*		
	c2	C	1,56	0,72	0,20		

onde: c1, c2 e c3 é a identificação dos caminhões betoneira na ordem em que foram empregados no dia da concretagem; \*\* a cor laranja destaca o resultado mais crítico do FBS de cada parede, a cor azul destaca um resultado inferior dos mais críticos e \* o amarelo um valor intermediário

Quadro 15: resultado da medição do FBS de oito paredes concretadas no dia 24 de setembro de 2010

Ordem/ Identificação	Caminhão	FBS por quadrante (%)				FBS por linha (%)	FBS Geral (%)
		Col/Lin	1	2	3		
1- P07D	c1	A	0,08	1,64*	0,00	0,57	0,73
	c1	B	0,12	2,04**	0,00	0,72	
	c1	C	0,64	0,96	1,10	0,90	
3- P05D	c1	A	1,36	3,64*	0,24	1,75	2,01
	c1	B	1,56	6,68**	0,12	2,79	
	c1	C	0,53	3,60	0,34	1,49	
11- P10D	c2	A	0,40	1,61**	0,60	0,87	0,77
	c2	B	0,60	1,60*	0,04	0,75	
	c1	C	0,44	0,40	1,20	0,68	
13- PF01D	c2	A	0,20	0,24	0,20	0,21	0,34
	c2	B	0,44	0,00	0,16	0,20	
	c1	C	0,60*	0,52	0,72**	0,61	
14- PF05D	c3	A	1,20	3,36**	0,12	1,56	0,84
	c3	B	0,28	2,00*	0,60	0,96	
	c2	C	0,00	0,00	0,00	0,00	
16- PF08	c3	A	0,48	2,88*	0,48	1,28	0,95
	c3	B	0,20	3,50**	0,16	1,29	
	c2	C	0,16	0,56	0,12	0,28	
24- PF03	c3	A	0,08	0,42	0,80**	0,43	0,27
	c2	B	0,04	0,48*	0,00	0,17	
	c2	C	0,12	0,32	0,20	0,21	
26- PF01E	c3	A	4,40**	1,08	1,00	2,16	1,16
	c3	B	1,92*	0,72	0,00	0,88	
	c2	C	0,56	0,28	0,44	0,43	

onde: c1, c2 e c3 é a identificação dos caminhões betoneira na ordem em que foram empregados no dia da concretagem; \*\* a cor laranja destaca o resultado mais crítico do FBS de cada parede, a cor azul destaca um resultado inferior dos mais críticos e \* o amarelo um valor intermediário

Quadro 16: resultado da medição do FBS de oito paredes concretadas no dia 29 de setembro de 2010

Ordem/ Identificação	Caminhão	FBS por quadrante (%)			FBS por linha (%)	FBS Geral (%)
		Col/Lin	1	2		
7- P10D	c2	A	1,76	2,76*	1,32	1,78
	c1	B	1,24	1,56	1,06	
	c1	C	2,88**	1,80	1,64	
18- PF04E	c3	A	0,48			0,53
	c3	B	0,52*			
	c2	C	0,60**			
26- PF08E	c3	A	7,98*	5,99	3,80	4,61
	c3	B	2,20	10,56**	2,40	
	c2	C	3,84	3,83	0,88	

onde: c1, c2 e c3 é a identificação dos caminhões betoneira na ordem em que foram empregados no dia da concretagem; \*\* a cor laranja destaca o resultado mais crítico do FBS de cada parede, a cor azul destaca um resultado inferior dos mais críticos e \* o amarelo um valor intermediário

Quadro 17: resultado da medição do FBS de oito paredes concretadas no dia 30 de setembro de 2010

Na fôrma da parede PF08E mostrada no quadro 17 e, em seguida, nas quatro primeiras paredes do quadro 18, utilizou-se um desmoldante à base de óleo vegetal como teste, enquanto nas demais foi empregado o desmoldante à base d'água. O tipo de desmoldante influencia a tensão superficial da água contida no concreto, revelando ou escondendo as bolhas existentes, como será discutido mais a diante.

Ordem/ Identificação	Caminhão	FBS por quadrante (%)				FBS por linha (%)	FBS Geral (%)
		Col/Lin	1	2	3		
1- PF01D	c1	A	1,41	1,92	0,76	1,36	1,80
	c1	B	0,84	4,16*	0,48	1,83	
	c1	C	0,53	5,48**	0,60	2,20	
3- P01D	c1	A	7,72	10,80**	2,80	7,11	6,68
	c1	B	9,24*	8,32	3,40	6,99	
	c1	C	4,48	7,27	6,08	5,94	
11- P05E	c2	A	0,18	1,22	3,12	1,51	2,58
	c2	B	1,00	0,64	3,36	1,67	
	c1	C	5,69**	4,36*	3,64	4,56	
13- P07A	c1	A	2,02		1,32	1,67	3,49
	c1	B	1,60		2,70	2,15	
	c1	C	6,00*		7,32**	6,66	
14- PF05D	c3	A	0,00		0,80**	0,40	0,42
	c3	B	0,36		0,78*	0,57	
	c2	C	0,16		0,40	0,28	
16- PF08D	c2	A	0,43*	0,00	0,04	0,16	0,19
	c2	B	0,52**	0,00	0,36	0,29	
	c2	C	0,00	0,32	0,04	0,12	
24- P10D	c3	A	3,00	3,76**	0,00	2,25	1,54
	c2	B	0,04	3,28*	0,08	1,13	
	c2	C	0,44	3,12	0,12	1,23	
26- P04D	c3	A	2,88	7,00**	3,68	4,52	2,98
	c3	B	4,40*	2,68	3,24	3,44	
	c2	C	0,00	2,32	0,60	0,97	

onde: c1, c2 e c3 é a identificação dos caminhões betoneira na ordem em que foram empregados no dia da concretagem; \*\* a cor laranja destaca o resultado mais crítico do FBS de cada parede, a cor azul destaca um resultado inferior dos mais críticos e \* o amarelo um valor intermediário

Quadro 18: resultado da medição do FBS de oito paredes concretadas no dia 1 de outubro de 2010

Nos quadros 13 a 18 estão apresentadas as medições realizadas nas quarenta e três paredes estudadas. As identificações da parede e do caminhão, juntamente com a data de concretagem, permitem relacionar as variáveis observadas com o FBS, o qual foi calculado por quadrante. Para possibilitar essa relação, o FBS também foi tratado por linha e por um fator geral da peça, através de médias aritméticas.

Quando considerados os quadrantes, é possível se avaliar em qual região das paredes é mais provável se encontrar uma concentração de bolhas mais elevada, através do percentual de vezes que apresentaram o maior e o segundo maior FBS, que resumidamente são as seguintes, no quadrante:

- a) 1A: 4,7% das vezes apresentou a maior concentração de bolhas e 8,0% a 2º maior concentração;
- b) 2A: 12,8% das vezes apresentou a maior concentração de bolhas e 19,9% a 2º maior concentração;
- c) 3A: 9,3% das vezes apresentou a maior concentração de bolhas e 8,0% a 2º maior concentração;
- d) 1B: 11,6% das vezes apresentou a maior concentração de bolhas e 20,0% a 2º maior concentração;
- e) 2B: 30,8% das vezes apresentou a maior concentração de bolhas e 13,2% a 2º maior concentração;
- f) 3B: 2,4% das vezes apresentou a maior concentração de bolhas e 14,0% a 2º maior concentração;
- g) 1C: 9,3% das vezes apresentou a maior concentração de bolhas e 8,0% a 2º maior concentração;
- h) 2C: 5,1% das vezes apresentou a maior concentração de bolhas e 8,9% a 2º maior concentração;
- i) 3C: 14% das vezes apresentou a maior concentração de bolhas e 0,0% a 2º maior concentração.

O quadro 19 agrupa essas probabilidades de ocorrência de bolhas em cada quadrante, através de uma média geométrica entre o percentual de vezes que se observou o pior FBS, atribuindo-se um peso 1,5, e o percentual de vezes em que foi constatado o segundo pior resultado, atribuindo-se peso 1.

Linha/Coluna	1	2	3
A	6,0%	15,6%	8,8%
B	15,0%	23,8%	7,0%
C	8,8%	6,6%	8,4%

Quadro 19: probabilidade de cada quadrante da parede apresentar o maior FBS

Para se confirmar essa informação e aumentar a resolução, procedeu-se a mesma avaliação para a parede mostrada na figura 23, com vinte pontos de medição, sendo quatro linhas e cinco colunas. O resultado dessa medição está representado no quadro 20.

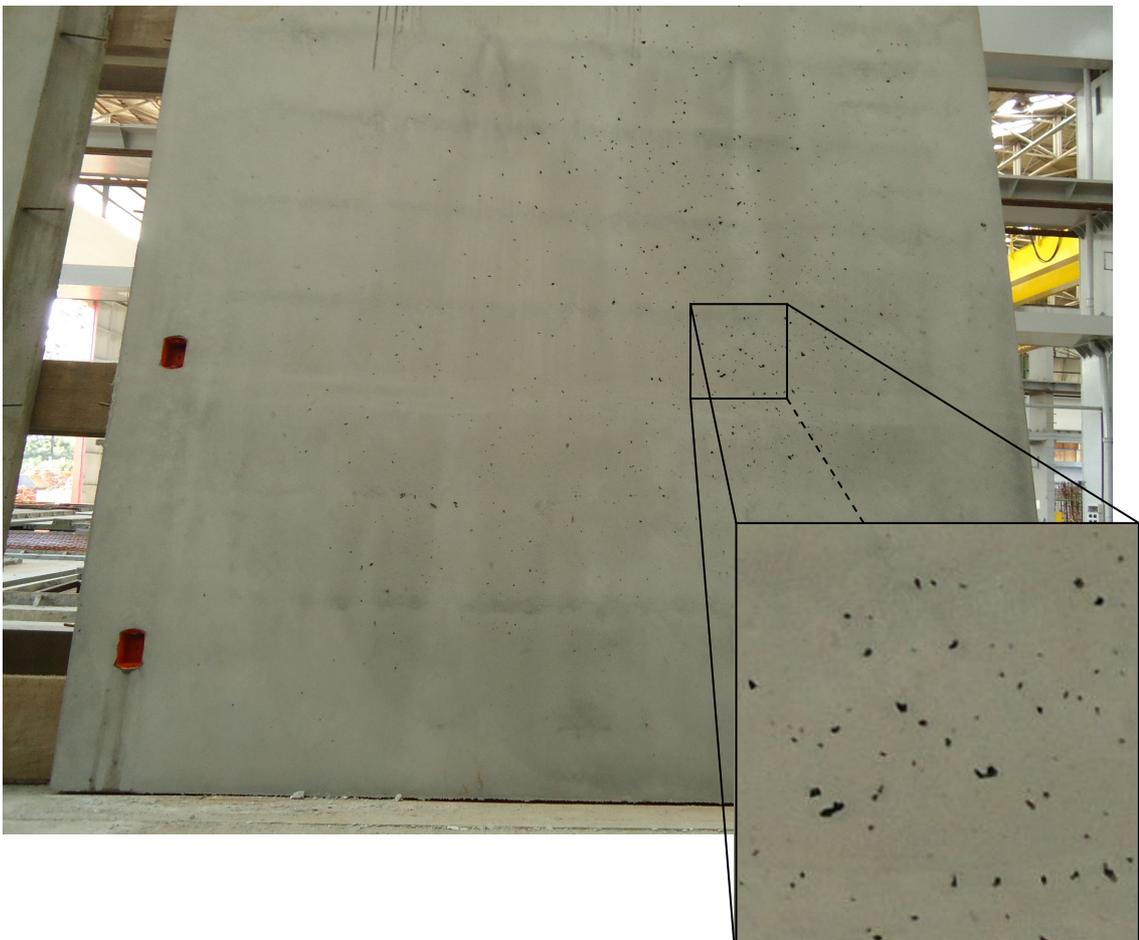


Figura 23: parede concretada no dia 6 de outubro de 2010, com presença de bolhas superficiais abertas

Linha/Coluna	1	2	3	4	5
A	0,08%	0,24%	1,44%	2,40%	0,40%
B	0,00%	0,32%	0,84%	4,20%	0,68%
C	0,04%	0,60%	1,08%	3,04%	0,28%
D	0,00%	0,24%	0,40%	0,12%	0,00%

Quadro 20: FBS de uma parede qualquer concretada no dia 6 de outubro de 2010

É importante salientar que no quadro 19 está apresentada uma probabilidade de se encontrar o maior FBS, enquanto no quadro 20 está apresentado o valor do FBS de cada quadrante avaliado, e por isso acontece a grande diferença de valores. Outro fato importante referente ao quadro 20, é que a concretagem se procedeu no centro da fôrma com um pequeno deslocamento para a direita.

### 6.2.2 VARIÁVEIS DE PROCESSO QUE NÃO INTERFERIRAM NO FBS

Dentre as variáveis de processo consideradas, as que não apresentaram influência direta sobre o FBS das paredes em estudo estão citadas a seguir:

- a) volume de concreto transportado nos caminhões;
- b) *slump* do concreto recebido;
- c) volume de aditivo adicionado ao concreto convencional;
- d) tempo de entrega do concreto;
- e) tempo de concretagem da carga recebida;
- f) Resistência à compressão às 20 horas e aos 3 dias.

O quadro 21 relaciona essas variáveis ao FBS medido, o qual foi colocado em ordem crescente para permitir a observação de alguma relação entre cada uma delas e a quantidade de bolhas. Nessa comparação, o FBS é referente a cada um dos caminhões. Foi obtido pela média aritmética entre os dados contidos nos quadros 13 a 18 e as demais informações foram coletadas nos dias de concretagem com auxílio de tabelas semelhantes à ilustrada no quadro 12.

Com o objetivo de evidenciar a não relação, essas variáveis foram confrontadas com o FBS de cada caminhão, os quais estão apresentados nas figuras 24 a 30. Nessas figuras, devido à variação da ordem de grandeza entre as colunas do quadro 21, foi necessário fazer adaptações nos valores medidos do FBS, o qual foi multiplicado por diferentes fatores para cada situação, estando o mesmo descrito na própria figura.

Caminhão (NF)	FBS geral (%)	Volume de concreto [m <sup>3</sup> ]	Slump [mm]	espalhamento [mm]	Volume de aditivo (L)	tempo de entrega [h]	Tempo de concretagem [h]	Fck 20h (Mpa)	Fck 3 dias (Mpa)	FBS superior (%)	FBS intermed iário (%)	FBS inferior (%)
36577	0,35	6,0	85	780	17,0	0,52	0,80	5,5	22,0	0,54	0,37	0,23
36158	0,44	6,0	90	780	24,0	0,93	0,83	13,5	29,2	1,13	0,49	0,41
40	0,82	6,0	85	770	18,0	1,27	1,08	7,8	21,0	0,83	1,03	0,65
36315	0,87	6,0	120	770	21,0	0,63	0,78	8,1	23,7	1,40	0,91	0,55
36253	0,98	6,5	75	780	24,0	0,72	0,92	8,4	27,9	0,89	1,14	SD
36331	1,14	5,5	90	800	18,0	0,60	0,65	7,2	22,0	0,07	2,24	1,40
36565	1,19	6,0	125	760	14,0	0,75	0,78	5,6	20,0	1,16	1,75	0,92
36857	1,22	5,5	100	790	13,0	0,65	0,68	5,7	19,9	1,36	1,04	SD
36650	1,67	6,0	65	780	17,5	0,87	0,75	5,3	25,7	1,95	1,29	1,73
36245	1,90	6,0	105	800	19,0	0,82	0,92	7,1	24,2	2,34	2,17	1,51
36145	2,09	6,5	85	800	24,0	0,88	0,67	12,6	27,5	2,83	1,94	1,87
36646	2,11	6,0	85	800	17,0	0,70	0,67	5,2	24,8	SD	SD	2,11
36153	2,19	6,0	85	770	25,0	0,67	0,92	13,2	27,2	1,44	3,11	2,38
50	2,24	5,5	70	780	19,0	1,38	0,80	7,1	19,8	2,39	2,01	SD
36240	2,79	6,0	90	780	21,0	0,75	0,83	7,3	28,1	3,16	4,07	1,35
36656	2,99	5,5	65	760	17,0	0,88	0,65	5,6	24,5	3,20	2,79	SD
36334	3,20	6,0	80	780	18,0	0,78	0,68	7,2	25,6	3,14	3,29	SD
38	4,05	6,0	55	770	19,0	0,77	0,82	7,4	20,8	3,38	3,65	4,84

Onde: SD significa sem dados

Quadro 21: FBS geral de cada caminhão em relação às variáveis avaliadas

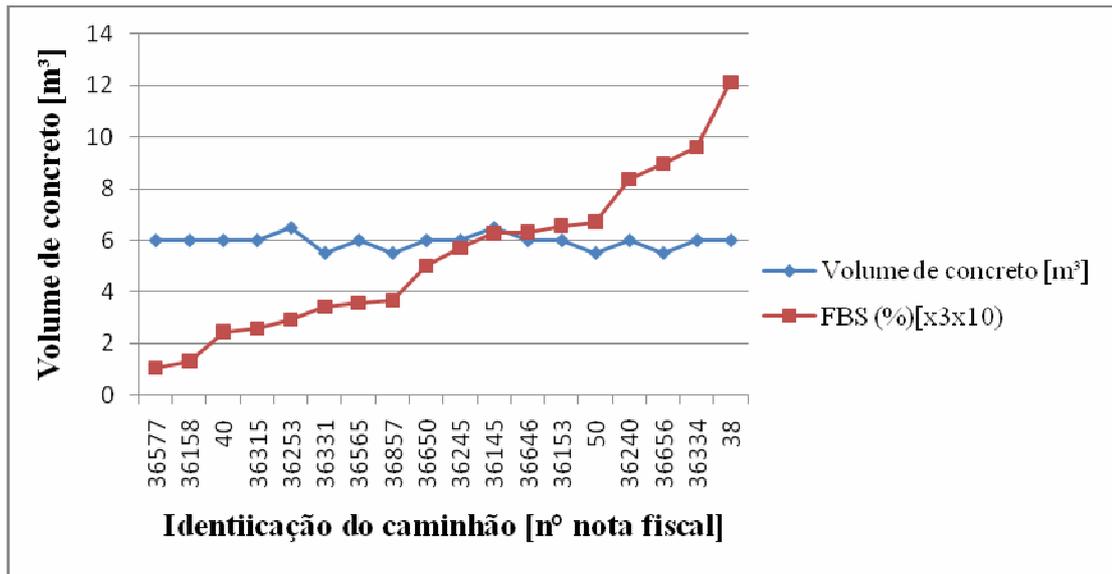


Figura 24: volume do caminhão betoneira x FBS

A figura 24 revela que o volume de concreto dos caminhões betoneira podia variar até 15%, mas não indica nenhuma dependência direta dessa variável sobre a quantidade de bolhas. Isso pode ser observado já que o volume de concreto cresce e decresce aleatoriamente ao longo do eixo horizontal enquanto o FBS apenas apresenta crescimento. Era esperado que esse valor caísse para cargas menores, pois isso implica em uma redução no tempo de concretagem.

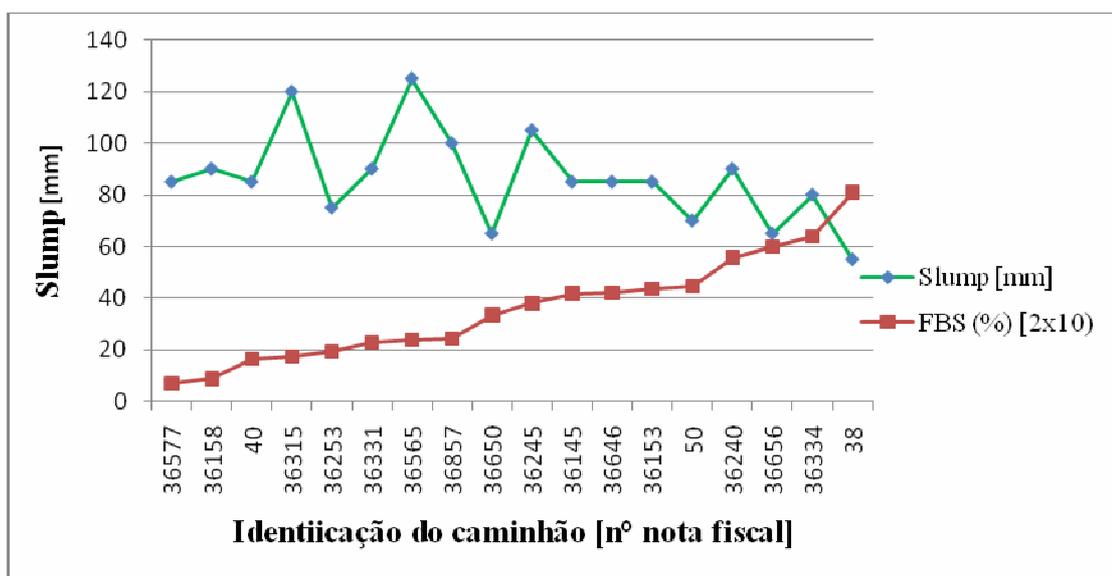


Figura 25: slump do concreto entregue x FBS

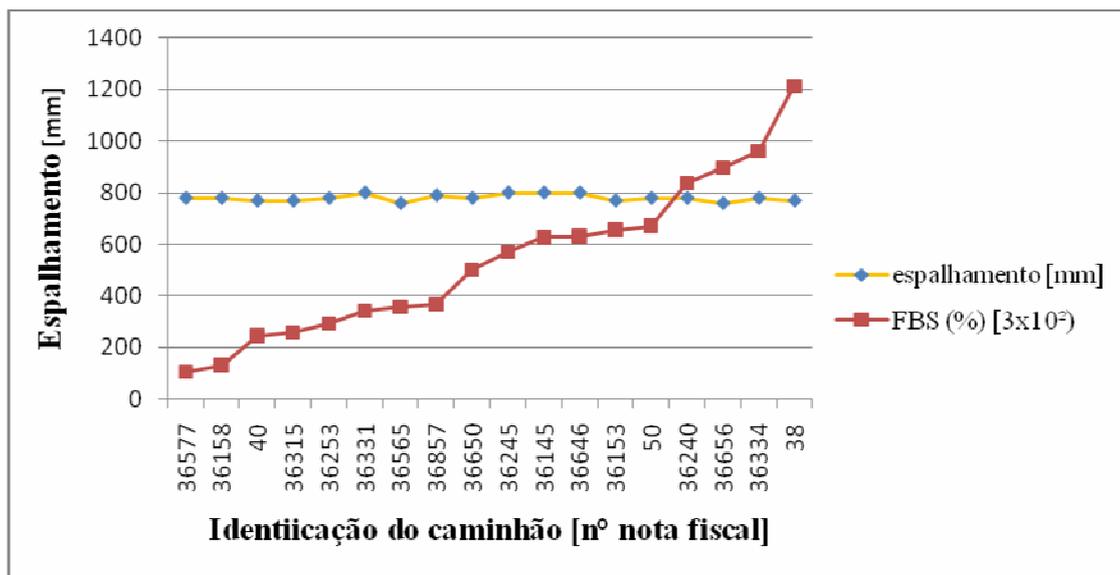


Figura 26: espalhamento do concreto entregue x FBS

A análise da figura 25 não aponta para uma relação clara entre as duas variáveis consideradas, já que o FBS é mostrado com tendência de crescimento enquanto o *slump* se mostra aleatório. No entanto, é interessante se observar que há uma tendência de queda do valor do *slump* para os maiores valores de FBS. Isso leva a crer que concretos mais fluidos conseguem liberar as bolhas mais facilmente dentro do caminhão betoneira, já que o espalhamento se torna semelhante com a adição do aditivo para os concretos dentro das fôrmas, ou que a necessidade de menor quantidade de aditivo superplastificante gere menos bolhas, o que não é confirmado pela figura 27.

O espalhamento medido, figura 26, também não aponta que o FBS será maior ou menor em função do seu valor. Essa afirmação pode ser confirmada pelo fato do FBS ser continuamente crescente enquanto o espalhamento ora apresentar crescimento e ora inverter. Nesse caso, pode-se, inclusive, constatar uma variação de 600% do FBS enquanto os valores do espalhamento permaneceram quase constantes. Também não se pode fazer uma relação entre os valores do *slump* e do espalhamento do concreto, já que o segundo podia ser variado pela dosagem do aditivo superplastificante, apesar do primeiro ser um indicativo da quantidade ideal.

Outro fato interessante de ser mencionado pode ser observado no quadro 21, onde as quantidades de aditivo citadas estão acima daquelas descritas como limite de saturação (quadro 6), porém estão de acordo com o limite superior estabelecido pelos diferentes fabricantes.

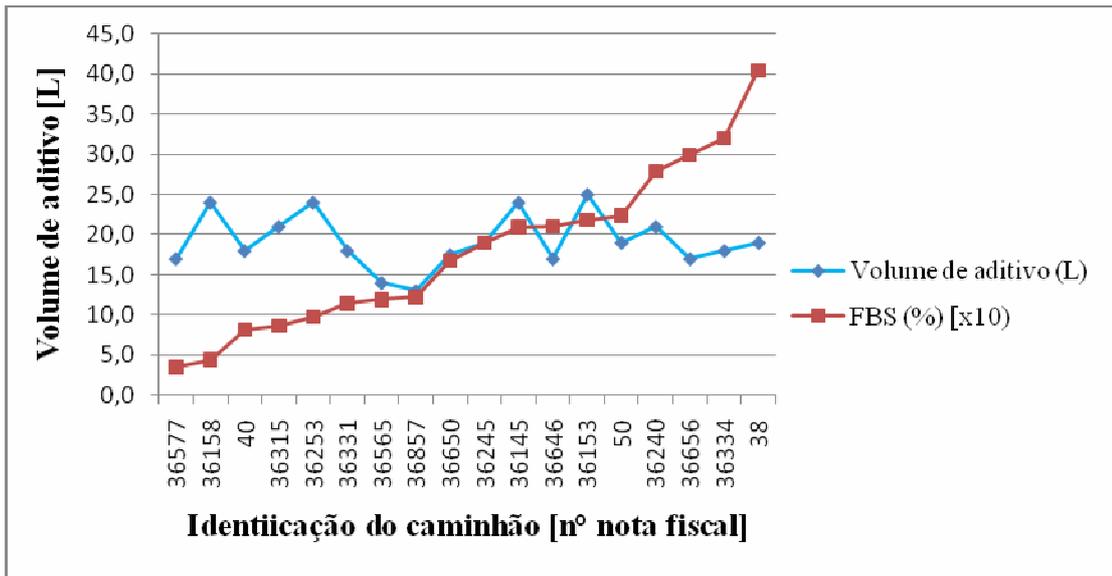


Figura 27: volume de aditivo superplastificante x FBS

Segundo a figura 27, o volume de aditivo não é uma variável que afeta diretamente o FBS. Se for comparado o FBS medido no caminhão NF-36158, correspondente a 0,44% (segundo melhor resultado), com o 0,35% medido no caminhão NF-36577, pode-se verificar que houve uma variação maior do que 40% no volume de aditivo. Mesmo no caso onde se considerou dois caminhões com a mesma quantidade de aditivo, o FBS variou até dez vezes.

No entanto, na sequência de dados do caminhão NF-36857 ao NF-00050, é possível se observar um aumento do FBS juntamente com o aumento do volume de aditivo. Isso indica que o menor valor do *slump* (figura 25) exigiu maior quantidade de aditivo que fez com que se elevasse o valor do FBS. Como esse comportamento foi observado apenas em um trecho da figura 27, não pode ser generalizado.

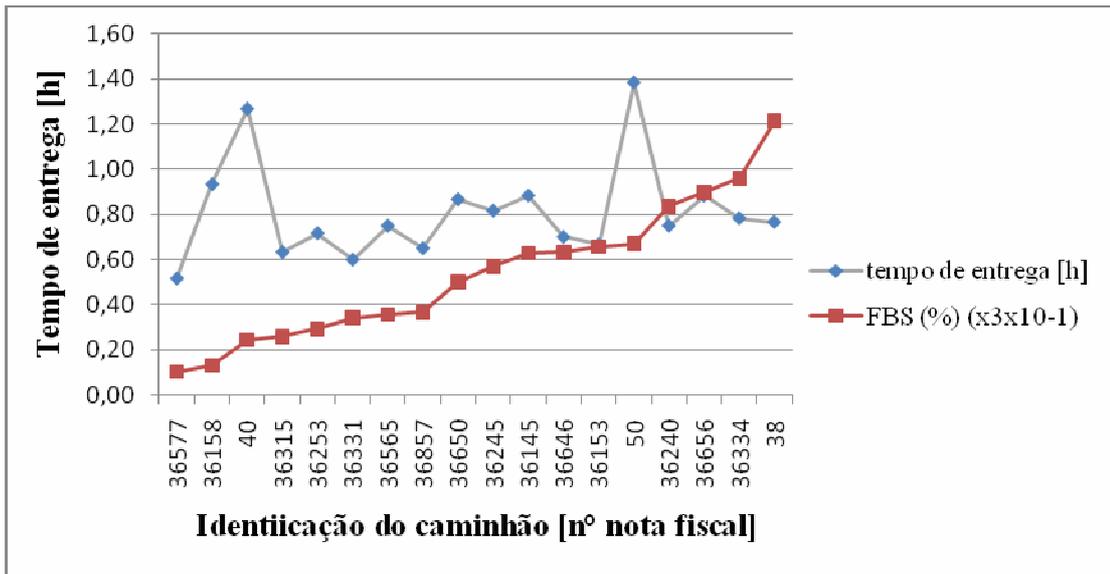


Figura 28: tempo de entrega do concreto x FBS

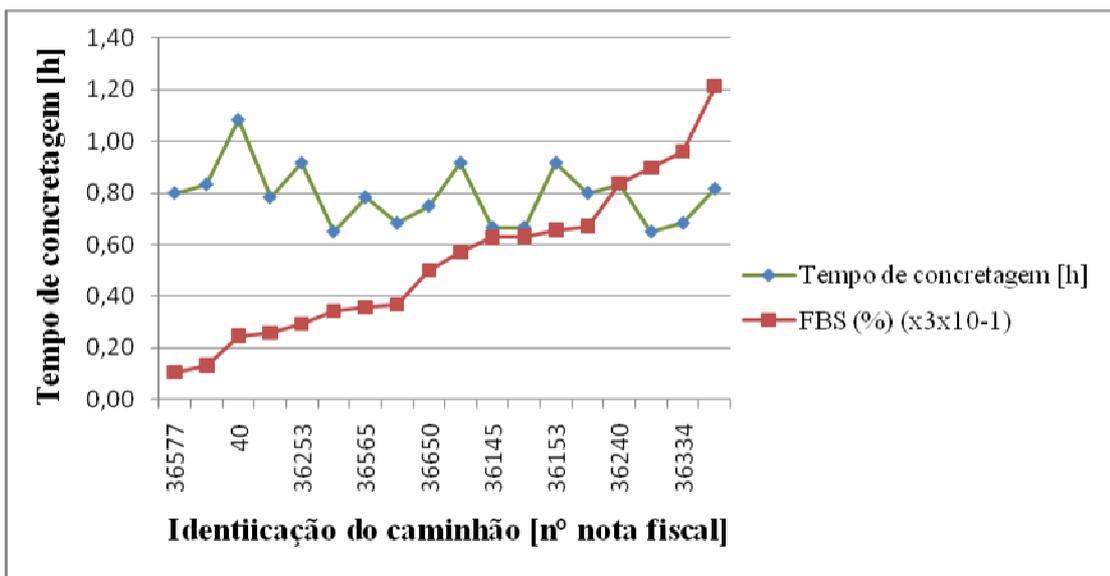


Figura 29: tempo de concretagem x FBS

Os gráficos das figuras 28 e 29 não indicam uma relação direta entre o tempo de entrega e o tempo de concretagem com o FBS, pois neles podem ser vistos tempos semelhantes que geraram medições de FBS muito destoantes. No entanto, a verificação dos quadros 13 a 18, relacionando à sequência de concretagem, mostra que se formaram estratos de parede com FBS muito baixos. Isso ocorreu porque houve tempo suficiente para que as bolhas presentes subissem para a superfície e fossem liberadas para a atmosfera. Geralmente esses estratos

podem ser observados na região inferior das primeiras peças, nos quais o aditivo ainda estava muito ativo e o tempo foi suficiente para esse fato.

Para a análise do  $f_{ck}$  das paredes, mostrado na figura 30, o concreto foi coletado antes da adição do aditivo superplastificante e após a correção do *slump*, sendo 8 corpos-de-prova por caminhão betoneira. Dois desses para rompimento às 20 horas, outros dois aos 3 dias, dois para rompimento aos 7 dias e dois para rompimento aos 28 dias. Nesse estudo foi considerado apenas o resultado aos 3 dias, apesar de também estar representado o resultado às 20 horas no quadro 21, porque é mais rápido de ser obtido e o que se pretende é uma estimativa indireta da variação das propriedades e constituintes do concreto.

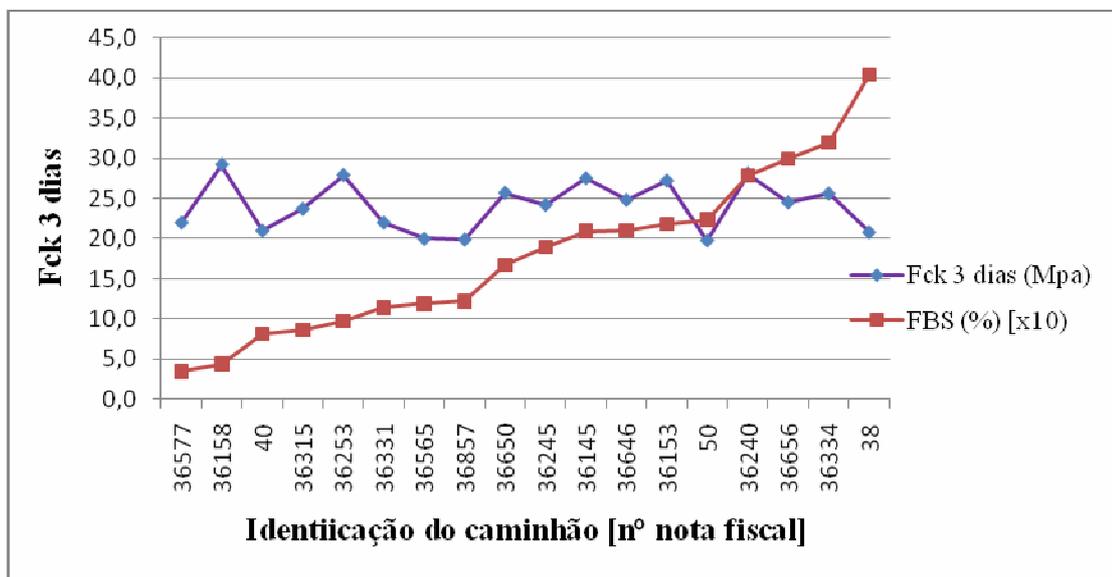


Figura 30:  $f_{ck}$  aos 3 dias x FBS

A comparação entre o  $f_{ck}$  do concreto com o FBS não permite um relacionamento direto entre as duas grandezas, visto que uma variação de 0,8 MPa entre os concretos dos caminhões NF 36315 e NF 36656 gerou uma distorção de mais de 300% no FBS. Nessa mesma linha de raciocínio, a variação de 7 MPa entre os caminhões três (NF 36656) e onze (NF 36577) gerou concretos de semelhantes (e baixo) FBS. Numa visão mais geral, o aumento do FBS não é acompanhado por nenhuma tendência da resistência dos corpos-de-prova.

### 6.2.3 VARIÁVEIS DE PROCESSO QUE INTERFERIRAM NO FBS

Durante a realização das medições, pôde-se observar um padrão de formação de bolhas nas peças moldadas. Há quadrantes preferenciais para o surgimento delas como foi apresentado nos quadros 13 a 18 e especialmente nos 19 e 20. A tendência é de que as bolhas se concentrem nas proximidades das regiões central e superior. Isso indica que as bolhas são incorporadas às paredes durante o lançamento do concreto, e que as que se encontram mais à frente do fluxo do material estão mais propícias a serem expulsas devido ao adensamento do mesmo. A análise desses quadros possibilita presumir que o deslocamento das bolhas dentro da fôrma ocorre conforme é mostrado na figura 31, com as mesmas já incorporadas no material.

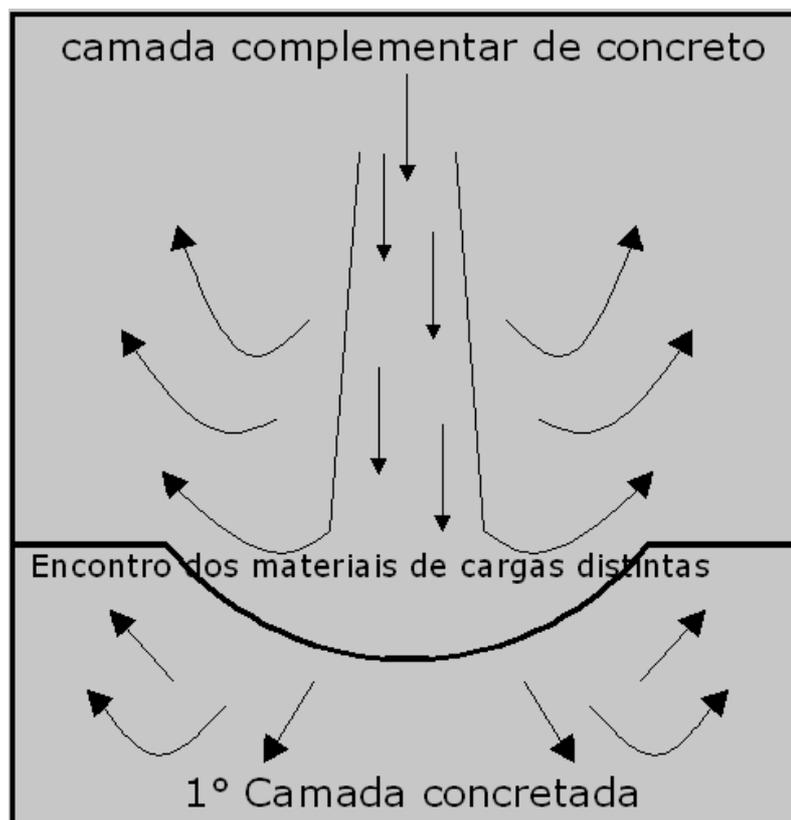


Figura 31: fluxo de material dentro de uma fôrma concretada em duas etapas

Na figura 31, o encontro dos materiais da primeira camada e da complementar se dava normalmente entre 20 e 40 minutos, podendo apresentar juntas-frias se esse tempo fosse maior do que 60 minutos. As paredes produzidas nos extremos das baterias eram mais propensas a formação das juntas-frias, pois nessa região costumava haver um intervalo de

tempo maior entre o intervalo de tempo da concretagem das duas camadas. Por outro lado, esse intervalo de tempo propiciou uma maior liberação das bolhas presas, resultando em menores FBS, como mostram alguns resultados dos quadros 13 ao 18. Desses quadros também é possível observar que, com um intervalo de tempo reduzido entre as duas camadas de concreto, as bolhas se distribuem de forma mais homogênea pela superfície.

A hipótese de que as bolhas já estão incorporadas ao material, dentro do caminhão betoneira, foi testada utilizando-se de um concreto auto-adensável pré-vibrado. Uma bateria com treze paredes foi moldada com o mesmo tipo de concreto auto-adensável das medições anteriores, porém o concreto foi vibrado com um vibrador convencional em porções de 1 m<sup>3</sup>, dentro de uma caçamba com esse volume, antes de ser lançado nas fôrmas. O lançamento desse material gerou paredes com um FBS geral de 0,29%, equivalente ao menor valor registrado nas medições anteriores. O quadro 22 ilustra essa observação.

Ordem/ Identificação	Caminhão	FBS por quadrante (%)				FBS por linha (%)	FBS Geral (%)
		Col/Lin	1	2	3		
P07A	-	A	0,20*	-	0,56**	0,38	0,18
	-	B	0,08	-	0,00	0,04	
	-	C	0,08	-	0,16	0,12	
PF01D	-	A	0,60*	1,20**	0,00	0,60	0,40
	-	B	0,36	0,40	0,04	0,27	
	-	C	0,20	0,40	0,40	0,33	

onde: \*\* a cor laranja destaca o resultado mais crítico do FBS de cada parede, a cor azul destaca um resultado inferior dos mais críticos e \* o amarelo um valor intermediário

Quadro 22: resultado da medição do FBS de oito paredes concretadas no dia 06 de outubro com concreto auto-adensável pré-vibrado

As duas paredes consideradas no quadro 22 foram escolhidas seguindo o mesmo critério proposto anteriormente. O FBS geral, considerado pela nota fiscal do caminhão, revela que essas foram as melhores peças produzidas, quando comparado com as do quadro 21. Na comparação com peças semelhantes produzidas nos dias anteriores, nota-se que a P07A do quadro 18 tem FBS 3,49%, 20 vezes pior que a do quadro 22 que vale 0,18%. A PF01D do quadro 13 vale 1,38%, a do quadro 14 vale 2,17%, a do quadro 16 vale 0,34% e a do quadro 18 vale 1,80%, enquanto na do quadro 22, verificou-se um FBS de 0,40%, próximo do melhor resultado.

Um fato importante deve ser mencionado acerca do décimo sexto caminhão avaliado (NF 00038): devido ao baixo *slump* medido (55 mm), foi necessário acrescentar 60 L de água. Esse caminhão foi responsável pela concretagem das paredes que apresentaram a pior aparência, com FBS médio de 4,0%, mostrando a influência negativa da adição de água posterior. Os caminhões 14 e 15 (NF 36650 e 36656, respectivamente) tiveram a adição de 30 L, e confirmaram a tendência de elevar o FBS.

O desmoldante empregado na maioria das paredes era à base d'água. Um desmoldante à base de óleo mineral foi empregado como teste no concreto do dia primeiro de outubro (peças 1, 3, 11 e 13 do quadro 18). No geral o FBS dessas paredes foi maior comparado com as executadas ao lado, mas as observações mostraram que as bolhas existiam em intensidades semelhantes nos dois casos, sendo que no primeiro eram escondidas por uma camada de pasta de cimento, enquanto no segundo eram reveladas pelo desmoldante oleoso. Esse fato pode ser confirmado no concreto do dia trinta de setembro, onde na parede 26 foi empregado desmoldante a base de óleo vegetal (FBS 4,61%) e na 18 a base d'água (FBS 0,53).

As observações e os resultados constatados até aqui estão coerentes com Trüb (1973, p. 89-93), nas seguintes afirmações:

- a) a vibração do concreto fluidifica o mesmo, fazendo com que as bolhas de ar se desloquem para a superfície;
- b) muitas das bolhas existem sob uma fina camada de pasta de cimento;
- c) as bolhas de ar se deslocam de forma sinuosa e ascendente, desviando dos agregados e se agrupando com outras, até que se encontre com a superfície da fôrma, onde o movimento é restringido;
- d) materiais permeáveis na superfície das fôrmas podem absorver as bolhas de ar;
- e) superfícies hidrófugas recobertas com desmoldantes oleosos favorecem a formação de bolhas de ar, sendo que agentes hidratantes podem reduzir esse fenômeno;
- f) uma granulometria descontínua para os agregados médios reduz o efeito do aprisionamento das bolhas de ar.

A única discrepância com esse autor se dá quando afirma que a consistência ideal para um concreto com baixo índice de bolhas é entre 5 e 8 cm no teste de slump, já que a água interna do concreto migra, com frequência, por esses pontos, majorando o defeito. Contudo os resultados mostrados na figura 25 não permitem descartar completamente essa afirmação.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Outros defeitos superficiais também foram verificados durante as análises realizadas nas paredes pré-moldadas, os quais se mostraram irrelevantes diante do problema das bolhas superficiais abertas. Todos os defeitos identificados podem ser visualizados no quadro 23.

Defeito observado	Percentual de peças afetadas
Bolhas	100%
Fissuras	4%
Juntas frias	23%
Lascamentos	2%
Manchas brancas	85%
Manchas escuras	7%
Manchas de oxidação	30%
Ferragem exposta	2%
Superfície rugosa	5%

Quadro 23: percentual de paredes segundo defeitos superficiais apresentados

As variáveis de processo avaliadas nesse estudo não demonstraram ter um efeito direto sobre os defeitos superficiais das paredes de concreto. A hipótese de que o surgimento das bolhas está associado ao intervalo de tempo entre a adição do aditivo superplastificante e o fim da concretagem das peças não se confirmou.

Contudo, foi possível se observar e também mensurar que as bolhas são um problema intrínseco do concreto auto-adensável empregado na fabricação das paredes avaliadas. O traço desse material não foi mencionado por questões éticas, mas pode se afirmar que não se assemelha a nenhum dos citados nesse estudo. Seria preciso avaliações de traços alternativos e de formas mais eficientes de mistura para se obter resultados mais completos para a eliminação das bolhas superficiais, ficando essas como sugestões para trabalhos posteriores. Essa afirmação parece contraditória com a de Helene et al. (2008, p. 60) citada no presente estudo, sobre como o concreto auto-adensável torna o acabamento da superfície das peças

muito superior devido ao uso desse material. No entanto, faz-se necessário esclarecer que tal afirmação era generalizada, ou seja, não se referia especificamente às paredes de concreto. Pôde ser observado que o uso desse tipo especial de concreto realmente torna o acabamento superficial muito superior quanto à rugosidade e preenchimento das fôrmas, e facilita a eliminação das bolhas se o caminho para o exterior da massa fluida é curto, como é o caso de lajes e vigas. Para as paredes de concreto, que são produzidas na posição vertical, o caminho para saída do ar é muito longo e com presença de maior quantidade de obstáculos. A superfície dessas peças se torna melhor com o uso do concreto auto-adensável, mas a cura do mesmo começa antes que as bolhas de menores dimensões tenham tempo de serem expulsas pela diferença de pressão entre a parte interna e externa das fôrmas.

O método empregado nesse trabalho para a avaliação da qualidade das paredes quanto à presença de bolhas, FBS, pôde ser considerado simples de ser aplicado e com bons resultados para comparação, mas foi necessário seguir algumas observações:

- a) foi indispensável se aplicar a adaptação proposta sobre a forma de medir a área das bolhas, trocando-se a medição com o uso de paquímetro pelo uso da informática, pois as mesmas se apresentam em quantidades expressivas;
- b) em cada quadrante avaliado, foi preciso marcar um ponto que representasse a região como um todo (não se fixando afastamentos em relação aos extremos da placa), já que as bolhas se distribuem de forma aleatória em tamanho e posição, havendo locais com grande concentração de bolhas e outros onde sua presença era nula;
- c) as medições sempre foram feitas pela mesma pessoa, mantendo-se os critérios estabelecidos na primeira medição;
- d) o não uso do *flash* para a obtenção das imagens das regiões de estudo aumentou o contraste entre as bolhas e a superfície lisa, facilitando a sua distinção.

Com os devidos cuidados usados, é um método recomendável para aplicações dessa natureza, e as observações comentadas podem ser utilizadas como sugestões para a obtenção mais fácil de resultados, e que esses sejam mais confiáveis.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. M. F.; BARRAGÁN, B. E.; CASAS, J. R.; DEBS, A. L. H. C.. Variabilidade da aderência e das propriedades mecânicas do concreto auto-adensável. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, v. 1, n. 1, p. 31-57, mar. 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Manual técnico de pré-fabricados de concreto**. São Paulo, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização de cimento Portland**. 7. ed. São Paulo, 2002.
- \_\_\_\_\_. **Parede de concreto**: coletânea de ativos 2007/2008. São Paulo, 2008. Disponível em <[http://www.abcp.org.br/conteudo/wp-content/uploads/2010/01/Parede\\_de\\_concreto\\_coletanea\\_ativos.pdf](http://www.abcp.org.br/conteudo/wp-content/uploads/2010/01/Parede_de_concreto_coletanea_ativos.pdf)>, Acesso em 10 jul. 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 7212**: execução de concretos dosados em centrais. Rio de Janeiro, 1984.
- \_\_\_\_\_, **NBR 11768**: aditivos para concretos de cimento Portland. Rio de Janeiro, 1992.
- \_\_\_\_\_, **NBR 15575**: edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – desempenho (partes 1-4). Rio de Janeiro, 2008.
- BÄCHER, M.; HEINLE, E. **Construciones en hormigón visto**. Barcelona: Gustavo Gili, 1967.
- COLLEPARDI, M. A very close precursor of self-compacting concrete (SCC). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND CONCRETE TECHNOLOGY, 3., 2001, São Francisco, USA. **Proceedings...** Farmington Hills, Michigan: American Concrete Institute, 2001. p. 431-450.
- GEYER, A. L. B. **A melhoria da qualidade das superfícies do concreto através da drenagem com formas revestidas internamente por um geotêxtil**. 1995. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- GIAMMUSSO, S. E. **Manual do concreto**. São Paulo: Pini, 1992.
- HARTMANN, C. T. **Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento Portland**. 2002. 22 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- HELENE, P. R. L. **Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1988.
- \_\_\_\_\_. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Pini, 1992.
- HELENE, P. R. L.; ALENCAR, R.; FOLCH, A. T. Aplicação de concreto auto-adensável na fabricação de pré-moldados. **Revista Técnica**, n. 137, p. 60-64, ago. 2008.

ISAIA, G. C. **Controle de qualidade das estruturas de concreto armado**. Santa Maria: Edições UFSM, 1988.

JOSIEL, A. **Fisuras e grietas em morteros y hormigones**. Barcelona: editores técnicos asociados, 1975.

MEHTA, P. K. Advancements in concrete technology. **Concrete International**, v. 21, n. 6, p. 69-76, June 1999. Disponível em:  
<[http://concreteinternational.com/pages/featured\\_article.asp?FromSearch=True&srctype=ALL&date=ananyti&searchmonth=6&searchday=1&searchyear=1999&authors=mehta&ID=252](http://concreteinternational.com/pages/featured_article.asp?FromSearch=True&srctype=ALL&date=ananyti&searchmonth=6&searchday=1&searchyear=1999&authors=mehta&ID=252)>. Acesso em: 2 maio 2010.

MISURELLI, H.; MASSUDA, C. Paredes de concreto. **Revista Técnica**, n. 147, p. 74-80, jun. 2009.

NUNES, N. L. **Retração do concreto de cimento Portland**. 2007. 59 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

OKAMURA, H. Self-Compacting High-Performance Concrete. **Concrete International**, v. 19, n. 7, p. 50-54, July 1997. Disponível em:  
<[http://concreteinternational.com/pages/featured\\_article.asp?FromSearch=True&keywords=Self-compacting+High-performance&srctype=ALL&ID=52](http://concreteinternational.com/pages/featured_article.asp?FromSearch=True&keywords=Self-compacting+High-performance&srctype=ALL&ID=52)>. Acesso em: 21 maio 2010.

OKAMURA, H; OUCHI M. Self-compacting concrete. **Journal of Advanced Concrete Technology**, v. 1, n. 1, p. 5-15, April 2003. Disponível em:  
<[http://www.jstage.jst.go.jp/article/jact/1/1/5/\\_pdf](http://www.jstage.jst.go.jp/article/jact/1/1/5/_pdf)>. Acesso em: 10 julho 2010.

REPETTE, W. L. Concreto auto-adensável: características e aplicação. **Revista Técnica**, n. 135, p. 56-60, jun. 2008.

RESENDE, T. Construção civil prevê expansão de 8,8% em 2010, diz SindusCon. **Folha Online**, dez. 2009. Disponível em:  
<<http://www1.folha.uol.com.br/folha/dinheiro/ult91u660595.shtml>>. Acesso em: 21 novembro 2010.

SILVA, P. F. A. **Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana**. 1993. 22 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

TRÜB, U. **Die Betonoberfläche**. Wiesbaden: bauerlag GmbH, 1973.

TUTIKIAN, B. F. **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis**. 2004. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

\_\_\_\_\_. **Proposição de um método de dosagem experimental para concretos auto-adensáveis**. 2007. 162 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VIERO, L. K. **Industrialização da construção civil: pré-fabricados em concreto.** 2008. 64 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

WEILER, G. J. **Tilt up concrete wall panels.** 1980. 128 f. Thesis (Engineering Master Degree), University of British Columbia, Vancouver, Canada.