

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

MBA TGP – TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS

**PAULO ENRICO PELEGRINI SIQUEIRA**

**EXECUÇÃO DE FACHADA EM CERÂMICA  
ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de especialista em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Mercia Maria Semensato Bottura de Barros

SÃO PAULO

2014

## Agradecimentos

Este trabalho é o resultado dos três anos de estudos no curso de Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios, na Escola Politécnica da USP nos quais meus colegas de curso e professores tiveram papel fundamental. Muito obrigado a todos.

Durante este período, algumas pessoas me forneceram apoio e suporte. Em especial agradeço a orientadora Mercia que me direcionou no trabalho e principalmente aceitou o desafio de me orientar dentro do prazo exíguo que eu dispunha.

Agradeço também aos colegas de trabalho, em especial aos engenheiros Eric Futema e João Rizek pelo incentivo e motivação no momento que eu mais precisava.

Por último, agradeço minha esposa Pamela Siqueira pelo apoio e paciência que sempre teve no decorrer dos três anos de estudo e pela fundamental revisão ortográfica.

## Sumário

1.	Introdução.....	7
1.1	O Problema .....	7
1.2	Objetivo do Trabalho.....	8
1.3	Metodologia.....	8
2	O Comportamento do revestimento de fachada.....	9
2.1	Revestimento de argamassa.....	9
2.1.1	Retenção de Água.....	9
2.1.2	Aderência Inicial.....	10
2.1.3	Retração na secagem.....	10
2.1.4	Aderência.....	11
2.1.5	Capacidade de acomodar deformações.....	11
2.2	Revestimento Cerâmico .....	12
2.2.1	Absorção de água .....	14
2.2.2	Expansão por Umidade .....	15
2.2.3	Dilatação Térmica.....	15
2.2.4	Módulo de elasticidade.....	15
3	Projeto de Fachada.....	17
3.1	Revestimento de argamassa.....	17
3.1.1	Espessura da camada de argamassa.....	17
3.1.2	.....	18
3.1.3	Juntas de Trabalho.....	21
3.1.4	Pingadeiras.....	23
3.2	Tensões sobre o revestimento .....	24
3.2.1	Variação da Temperatura.....	26
3.2.2	Influência da Umidade .....	30
3.2.3	Deformações da estrutura.....	31
3.2.4	Fixação da alvenaria .....	32
3.3	Dissipação das tensões.....	33
3.3.1	Juntas de movimentação em revestimentos cerâmicos.....	36
3.3.2	Juntas Seladas – Composição, propriedades e projeto.....	40
4	Apresentação do estudo de caso .....	51
4.1	O empreendimento.....	51
4.2	Alteração do revestimento .....	54
4.3	Consequências das mudanças .....	55

4.4	Projeto de produção.....	57
4.4.1	Revestimento de Argamassa.....	57
4.4.2	Revestimento Cerâmico .....	62
4.5	Sequência de execução planejada.....	63
4.6	Fase de execução .....	70
4.6.1	Distribuição dos balancins .....	70
4.6.2	Sequencia de execução realizada.....	71
4.7	Exemplo de análise do mapeamento .....	74
4.8	Logística de abastecimento .....	76
5	Principais Diretrizes de projeto de revestimento .....	79
6	Fotos do edifício .....	83
7	Conclusão.....	84

## Índice de figuras, Quadros e equações

FIGURA 1 - ALTERAÇÕES DE PROJETO EM CADA FASE – (FONTE: TG 111 – COORDENAÇÃO DE PROJETOS, AULA 1, PROFº SILVIO MELHADO – TGP – USP, 2012).....	8
FIGURA 2 - ADERÊNCIA DA ARGAMASSA NA BASE. (FONTE: BAÍA E SABBATINI (2002) .....	10
FIGURA 3 - JUNTA EM MASSA, FACHADA PARA PINTURA. (FONTE: BAÍA E SABBATINI, 2002).....	23
FIGURA 4 - FACHADA PARA REVESTIMENTO CERÂMICO (FONTE: RIBEIRO E BARROS, 2010).....	23
FIGURA 5 - PINGADEIRAS EM CERÂMICA E ARGAMASSA (FONTE: BAÍA E SABBATINI, 2002) .....	24
FIGURA 6 - MOVIMENTAÇÃO HIGROSCÓPICA DOS MATERIAIS. FONTE: SABBATINI, 1984 APUD RIBEIRO E BARROS, 2010) .....	31
FIGURA 7 - JUNTA DE TRABALHO. MOVIMENTO DE TRAÇÃO CAUSADO PELA RETRAÇÃO DO SUBSTRATO. FONTE: RIBEIRO E BARROS (2010) .....	34
FIGURA 8 - JUNTA DE TRABALHO. MOVIMENTO DE COMPRESSÃO CAUSADO PELA EXPANSÃO DAS PLACAS CERÂMICAS. FONTE: RIBEIRO E BARROS (2010) .....	34
FIGURA 9 - JUNTA DE DISSOLIDARIZAÇÃO. MOVIMENTO DE COMPRESSÃO CAUSADO PELA RETRAÇÃO DO SUBSTRATO (FONTE: RIBEIRO E BARROS, 2010).....	35
FIGURA 10 - JUNTA DE DESSOLIDARIZAÇÃO. MOVIMENTO DE COMPRESSÃO CAUSADO PELA EXPANSÃO DAS PLACAS CERÂMICAS (A). MOVIMENTO DE TRAÇÃO CAUSADO PELA CONTRAÇÃO DAS PLACAS CERÂMICAS (B). (FONTE: RIBEIRO E BARRO, 2010).....	35
FIGURA 11 - RETRAÇÃO EXCESSIVA DO CONCRETO E DA ARGAMASSA ASSOCIADA À EXPANSÃO EXCESSIVA DA PLACA. (FONTE: RIBEIRO E BARROS, 2010) .....	36
FIGURA 12 - JUNTA DE TRABALHO. FONTE: RIBEIRO E BARROS (2010) .....	37
FIGURA 13 - JUNTA DE TRANSIÇÃO. FONTE: RIBEIRO E BARROS (2010).....	37
FIGURA 14 - JUNTA DE CONTORNO. (FONTE: RIBEIRO E BARROS, 2010) .....	38
FIGURA 15 - JUNTA DE DESSOLIDARIZAÇÃO. FONTE: RIBEIRO E BARROS (2010).....	38
FIGURA 16 - JUNTA DE DESSOLIDARIZAÇÃO. MUDANÇA DE PLANOS DO REVESTIMENTO (FONTE: RIBEIRO E BARROS, 2010) .....	39
FIGURA 17 - JUNTA DE DESSOLIDARIZAÇÃO. DIFERENTES ACABAMENTOS DE SUPERFÍCIE: A, B E C. (FONTE: RIBEIRO E BARROS, 2010).....	40
FIGURA 18 - JUNTA SELADA. DETALHE DOS ELEMENTOS DE SUA CONSTITUIÇÃO. FONTE: RIBEIRO E BARROS, 2010) .....	40
FIGURA 19 - LIMITADOR DE PROFUNDIDADE. (FONTE: RIBEIRO E BARROS, 2010) .....	41
FIGURA 20 - FITA ISOLADORA. (FONTE: RIBEIRO E BARROS, 2010).....	42
FIGURA 21 - DIAGRAMA PARA DETERMINAÇÃO DA LARGURA DA JUNTA EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA. FONTE: RIBEIRO E BARROS (2010) .....	48
FIGURA 22 – ILUSTRAÇÕES DOS PROJETOS DE ARQUITETURA - FACHADAS .....	52
FIGURA 23 - CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO. PLANEJADO E REPLANEJADO .....	52
FIGURA 24 - OPÇÃO DE ALINHAMENTO DA ALVENARIA COM O FUNDA DE VIGA .....	54
FIGURA 25 -CRONOGRAMA COM O PERÍODO DE ESTUDO DAS MODIFICAÇÕES.....	55
FIGURA 26 - SITUAÇÃO C .....	56
FIGURA 27 - IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES NO PRAZO.....	57
FIGURA 28 - ESTRUTURA DO PAVIMENTO TIPO. DETALHE DA DIMENSÃO DA VIGA DE FACHADA .....	58
FIGURA 29 - SITUAÇÃO D .....	59
FIGURA 30 - TELA DE REFORÇO PINADA NA ESTRUTURA – FONTE: BAÍA E SABBATINI (2010).....	59
FIGURA 31 - DETALHES DE JUNTAS DE TRABALHO E FRISOS COM EFEITO DE PINGADEIRAS.....	61
FIGURA 32 - PINGADEIRA PRÉ-MOLDADA UTILIZADA NO PROJETO.....	62
FIGURA 33 - DISTRIBUIÇÃO DE JUNTAS DE TRABALHO.....	63
FIGURA 34 - SEQUENCIA DE EXECUÇÃO INICIALMENTE PROPOSTA .....	65
FIGURA 35 - RÉGUA PARA FRISAR ARGAMASSA – FONTE: WWW.EQUIPAOBRA.COM.BR.....	68
FIGURA 36 - PRIMEIRA ETAPA DE REJUNTE.....	69
FIGURA 37 - DISTRIBUIÇÃO DOS BALANCIM PELO PERÍMETRO DO PRÉDIO .....	71
FIGURA 38 - VIGAS DE SUSTENTAÇÃO E BALANCIM LEVE NA FACHADA .....	71
FIGURA 39 – SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO REALIZADA .....	72
FIGURA 40 - LIMPEZA DA FACHADA.....	73

FIGURA 41 - MISTURADOR DE EIXO HORIZONTAL.....	78
FIGURA 42 - FUNIL PARA ABASTECIMENTO DE ARGAMASSA PELO DUTO .....	78
FIGURA 43 - VISTA FRONTAL .....	83
FIGURA 44 - VISTA LATERAL ESQUERDA .....	83
FIGURA 45 - VISTA LATERAL DIREITA.....	83
QUADRO 1 - LIMITES DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO (ABNT, 2013) .....	11
QUADRO 2 - CATEGORIA DE ARGAMASSAS (FONTE: NBR 14081-1 ABNT, 2012).....	13
QUADRO 3 - ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS MATERIAIS CERÂMICOS (FONTE: ABNT NBR 13818 (1997) APUD RIBEIRO E BARROS (2010).....	14
QUADRO 4 - COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SOLAR (FONTE: ASTM C1472 (2006) APUD RIBEIRO E BARROS (2010).....	16
QUADRO 5 - MÓDULO DE ELASTICIDADE DE MATERIAIS DE FACHADA (FONTE: MEDEIROS, 1999).....	18
QUADRO 6 - MÉTODOS DE PREPARO DA ARGAMASSA (FONTE: BAÍA E SABBATINI, 2002) .....	19
QUADRO 7 - LOGÍSTICA E PRODUTIVIDADE DOS MÉTODOS DE PRODUÇÃO DE ARGAMASSA (FONTE: BAÍA E SABBATINI, 2002).....	20
QUADRO 8 - ESPESSURAS IDEAIS PARA A CAMADA DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSA (FONTE: ABNT, 1996 APUD BAÍA E SABBATINI, 2002).....	21
QUADRO 9 - ESPESSURAS MÍNIMAS (FONTE: BAÍA E SABBATINI, 2002) .....	21
QUADRO 10 - FATORES GERADORES DE MOVIMENTAÇÃO (FONTE: RIBEIRO E BARROS, 2010) .....	26
QUADRO 11 - TEMPERATURA DE BULBO SECO (FONTE: GOULART, LAMBERTS E FIRMINO, 1998 APUD RIBEIRO E BARROS, 2010) .....	28
QUADRO 12 - CONSTANTE DE CAPACIDADE DE CALOR (FONTE: ASTM C1472, 2006 APUD RIBEIRO E BARROS, 2010) .....	29
QUADRO 13 - COEFICIENTE DE DILATAÇÃO TÉRMICA (FONTE: MEDEIROS, 1999) .....	29
QUADRO 14 - COMPORTAMENTO DOS SELANTES (FONTE: FERME E OLIVEIRA, 2003 APUD RIBEIRO E BARROS, 2010) .....	43
QUADRO 15 - CLASSIFICAÇÃO DOS SELANTES ELASTOMÉRICOS QUANTO AO TIPO DE APLICAÇÃO E AO SUBSTRATO. (FONTE: ASTM C920, 2008 APUD RIBEIRO E BARROS, 2010).....	43
QUADRO 16 - PRINCIPAIS TIPOS DE SELANTES DE FACHADA (FONTE: LEDBETTER, HURLER; SHEEHAN (1998) APUD RIBEIRO E BARROS (2010) .....	49
QUADRO 17 - FATOR DE FORMA PARA DIFERENTES TIPOS DE SELANTES (FONTE: LEDBETTER, HURLEY E SHEEHAN, 1998) APUD RIBEIRO E BARROS, 2010).....	50
QUADRO 18 – ALTERAÇÕES PROPOSTAS PARA O REVESTIMENTO A PARTIR DAS PROPOSTAS INICIAIS..	55
QUADRO 19 - MAPEAMENTO DE ESPESSURA .....	67
QUADRO 20 - SITUAÇÃO REAL DE MAPEAMENTO .....	76
QUADRO 21 - ANÁLISE QUANDO AOS PROJETOS DE ARQUITETURA.....	80
QUADRO 22 - DESENVOLVIMENTO DO PROJETO GEOMÉTRICO .....	81
QUADRO 23 - DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE PRODUÇÃO .....	82
EQUAÇÃO 1 .....	27
EQUAÇÃO 2 .....	28
EQUAÇÃO 3 .....	29
EQUAÇÃO 4 .....	47

# 1. Introdução

## 1.1 O Problema

A fachada é um elemento considerado de grande importância nas questões estéticas e funcionais. É considerada a vitrine do empreendimento, a primeira imagem passada aos futuros clientes, quando o empreendimento nem sequer começou.

É neste ponto em que se identifica um contrassenso. Raro são os empreendimentos que investem em projeto de produção com detalhes adequados à execução e que visem ao desempenho da fachada.

Decisões importantes quanto à execução, à análise da interface entre diferentes revestimentos e às possíveis patologias e soluções para evitá-las ficam todas sob a responsabilidade do engenheiro da obra. Mesmo sendo este um profissional capacitado, muitas vezes o planejamento para execução da fachada é definido num momento avançado da construção; quando muitos itens de estrutura e fechamento já foram decididos, ou mesmo executados, sem que tivessem sido confrontados com as necessidades que poderiam ser geradas pela fachada escolhida.

Desta forma, planeja-se mais as atitudes paliativas do que propriamente a melhor forma de executar a fachada. A partir daí, surgem as alterações de projeto e discussões entre arquitetura - que precisa assegurar o aspecto final da fachada - e os executores que, neste momento, estão com a construção em andamento e com possibilidade de modificação limitada.

Essa relação projeto-execução é ilustrada no gráfico da Figura 1 que mostra a importância do planejamento antecipado e o prejuízo do oposto.

Contribuir para que se tenham projetos adequados às condições de produção é a proposta do presente trabalho, cujo foco é o próprio planejamento da produção.

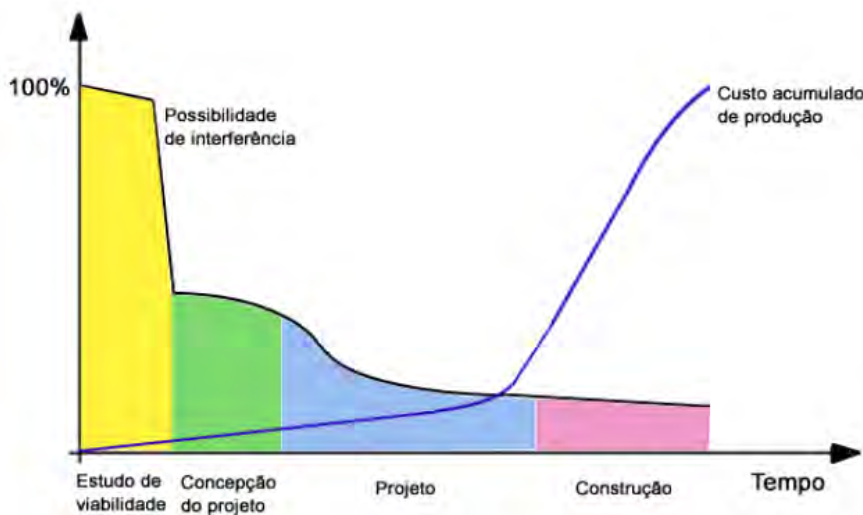


Figura 1 - Alterações de projeto em cada fase – (Fonte: TG 111 – Coordenação de Projetos, Aula 1, Profº Silvio Melhado – TGP – USP, 2012)

## 1.2 Objetivo do Trabalho

Propor recomendações para as diferentes etapas do processo de produção do revestimento para uma situação semelhante a apresentada neste estudo de caso, visando melhorar as condições de execução da fachada.

## 1.3 Metodologia

Este trabalho está estruturado a partir de um estudo de caso envolvendo a execução de uma fachada que não possuía projeto para a sua produção e, por isto, toda especificação técnica teve de ser proposta pela equipe de engenharia da obra.

Para que se pudesse realizar a especificação da fachada do estudo de caso, foi necessário buscar embasamento teórico em bibliografia específica sobre revestimento de fachada.

O estudo teórico realizado possibilitou que se realizasse o projeto e a execução da fachada, objeto do estudo de caso, e a experiência acumulada motivou a proposição de diretrizes para guiar outros projetos de produção de fachada.



## 2 O Comportamento do revestimento de fachada

A elaboração do projeto de execução da fachada, que será detalhada ao longo deste trabalho, teve início no estudo teórico da bibliografia dedicada aos revestimentos de fachada.

As principais bases de estudo foram:

- Baía e Sabbatini (2002)
- Medeiros (1999)
- Ribeiro e Barros (2010)

Como ponto de partida, é necessário entender a função dos revestimentos de fachada e a sua interação com os demais subsistemas aos quais ele está atrelado. Proteger os elementos de vedação é, sem dúvida, a primeira função do revestimento; além de ser um auxílio fundamental para que as funções de isolamento termoacústico e a estanqueidade à água e aos gases sejam garantidas.

O revestimento de fachada pode ser constituído por uma série de camadas. No caso específico do estudo de caso, a especificação é de acabamento com placas cerâmicas. Portanto, o revestimento é constituído por emboço de argamassa e posterior aplicação do revestimento cerâmico.

Assim, o revestimento de argamassa não é o acabamento final, ele servirá de base e regularização para o recebimento do revestimento cerâmico.

### 2.1 Revestimento de argamassa

Conhecer as principais propriedades da argamassa de revestimento é essencial para que sejam determinados de forma adequada os procedimentos de produção e aplicação da argamassa para que possa constituir o emboço do revestimento cerâmico. Essas propriedades serão sintetizadas na sequência.

#### 2.1.1 Retenção de Água

É a capacidade que a argamassa precisa ter de não perder água de forma excessivamente rápida para a base, por sucção; e para o ambiente, por evaporação. Isto é necessário para que haja água em quantidade adequada para a correta hidratação do cimento e o conseqüente ganho de resistência.

Quando esta característica não é atendida, podem surgir problemas de aderência, diminuição da capacidade de absorção de deformações e perda de resistência mecânica. Os efeitos diretos são perdas na durabilidade e estanqueidade do revestimento.

Para o caso de argamassas industrializadas, é prudente seguir rigidamente o procedimento de mistura proposto pelo fabricante. Para o caso de argamassa preparada *in-loco*, o uso de cal e de aditivos pode melhorar esta propriedade.

### 2.1.2 Aderência Inicial

É o fenômeno mecânico que proporciona à argamassa a propriedade de se aderir no substrato poroso pela infiltração da pasta da argamassa nos poros.

Figura 2.

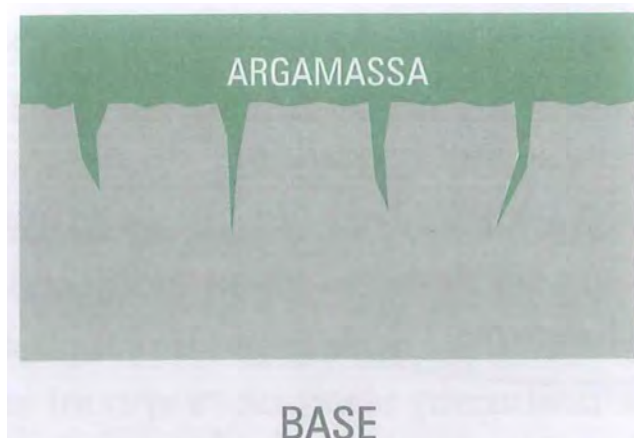


Figura 2 - Aderência da argamassa na base. (Fonte: Baía e Sabbatini (2002))

Para que esta propriedade seja atendida pela argamassa é necessário se atentar à propriedade de retenção de água, tratada anteriormente, e às características relativas da base, tais como a porosidade, rugosidade e as condições de limpeza.

### 2.1.3 Retração na secagem

Os dois fatores responsáveis pela retração na secagem são a evaporação da água da massa e as reações de hidratação dos aglomerantes. Essa retração pode vir a ocasionar fissuras que, de acordo com a sua extensão e abertura, podem causar problemas relativos à estanqueidade do revestimento no caso de permitir a percolação da água.

É determinante para o correto desempenho do revestimento que se tenha atenção aos materiais da argamassa, bem como com a dosagem de cada um desses materiais. Além disso, é necessário que se controle a espessura das camadas e o intervalo de aplicação entre elas, devendo-se aguardar o momento correto para o sarrafeamento e desempenho.

Argamassas com alto teor de cimento possuem maior possibilidade de fissurar do que argamassas com teor de cimento baixo.

#### 2.1.4 Aderência

É a capacidade do revestimento de se aderir ao substrato. É uma combinação entre a resistência de aderência à tração e ao cisalhamento, tanto na interface argamassa e substrato, quanto no corpo da argamassa.

Segundo Baía e Sabbatini (2002), a resistência de aderência à tração pode ser medida pelo ensaio de aderência a base. A ABNT NBR 13749 (2013) estipula resultados mínimos para este ensaio de acordo com o local de aplicação e ao tipo de acabamento, conforme Quadro 1.

Local		Acabamento	Ra (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	$\bar{>0,20}$
		Cerâmica ou laminado	$\bar{>0,30}$
	Externa	Pintura ou base para reboco	$\bar{>0,30}$
		Cerâmica	$\bar{>0,30}$
Teto		—	$\bar{>0,20}$

Quadro 1 - Limites de resistência de aderência à tração (ABNT, 2013)

#### 2.1.5 Capacidade de acomodar deformações

O revestimento precisa ter a propriedade de suportar tensões sem fissurar, romper ou mesmo sem perder a aderência.

As fissuras podem ser o resultado do processo de alívio de tensões que se originam nas deformações da base. Fissuras de grande magnitude podem ser prejudiciais porque podem comprometer a estanqueidade do revestimento.

A capacidade do revestimento de acomodar estas deformações, de acordo com Baía e Sabbatini (2002), é em função de:

- Módulo de deformação da argamassa – Quanto menor o teor de cimento, menor é o valor do módulo e assim maior é a capacidade de acomodar deformações;
- Espessura da camada – Maiores espessuras, desde que em um limite que não influa negativamente na aderência, ajudam a acomodar deformações;
- Juntas de trabalho do revestimento – Diminuem a extensão dos panos, deixando-os compatíveis com as deformações.

Essas propriedades, em maior ou menor intensidade são também aplicadas ao conjunto do revestimento cerâmico constituído pela camada de fixação e pela placa cerâmica, o qual será na sequencia.

## 2.2 Revestimento Cerâmico

O revestimento cerâmico pode ser caracterizado por seus dois componentes principais: camada de fixação e camada de acabamento (placas cerâmicas).

A camada de fixação é a responsável pela aderência das placas cerâmicas ao substrato que, para o caso em particular, é o revestimento de argamassa. Esta camada de fixação poder ser de 3 tipos básicos de materiais, conforme Medeiros (1999):

- Argamassas tradicionais de areia e cimento
- Argamassas colantes cimentícias (monocomponentes)
- Argamassas colantes cimentícias modificadas com látex ou resina em pó (bicomponentes)

No Brasil, as argamassas colantes cimentícias monocomponentes são as mais utilizadas devido à sua capacidade de oferecer ancoragem mecânica (aderência da pasta aos poros da base) e química (aderência por forças

eletrostáticas entre as moléculas do adesivo e as moléculas dos materiais a serem unidos).

Segundo Ribeiro e Barros (2010), pela norma ABNT NBR 14.081 (2004), as argamassas colantes cimentícias monocomponentes são definidas como:

“produto industrial, no estado seco, composto de cimento Portland, agregados minerais e aditivos químicos, que, quando misturados com água, formam uma massa viscosa, plástica e aderente, empregada no assentamento de placas cerâmicas para revestimento”. (Ribeiro e Barros, 2010, p. 28)

Essas argamassas são subdivididas em 3 categorias, ACI, ACII e ACIII. O **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta as características de cada uma delas para a classificação.

Requisito		Método de ensaio	Unidade	Critério		
				AC I	AC II	AC III
Tempo em aberto		ABNT NBR 14081-3	min	≥ 15	≥ 20	≥ 20
Resistência de aderência à tração aos 28 dias, em função do tipo de cura	Cura normal	ABNT NBR 14081-4	MPa	≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 1,0
	Cura submersa			≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 1,0
	Cura em estufa			≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 1,0

Quadro 2 - Categoria de argamassas (Fonte: NBR 14081-1 ABNT, 2012)

A camada de acabamento que será tratada é composta por placas cerâmicas, cujas características são tratadas pela NBR 13.818 (1997). Importante observar que tais características necessitam ser conhecidas pelo profissional que vai especificar seu uso em projeto de fachada.

As vantagens principais para a utilização do revestimento cerâmico em fachada, segundo Medeiros (1999), são:

- Não propagam fogo
- Elevada impermeabilidade
- Baixa higroscopicidade
- Não provocam diferença de potencial

- Não são radioativas
- Não geram eletricidade estática
- Excelente isolamento
- Custo final, em geral, compatível em relação à manutenção durante a vida útil.

As principais características que devem ser conhecidas a respeito do revestimento cerâmico serão discutidas a seguir.

### 2.2.1 Absorção de água

A capacidade de absorver água é uma característica dos revestimentos cerâmicos e são justamente os diferentes índices de absorção que classificam as placas cerâmicas, conforme Quadro 3.

Denominação	Grupo	Faixa de absorção (%)
Porcelanato	Ia	$0 < \text{abs} \leq 0,5$
Grês cerâmico	Ib	$0,5 < \text{abs} \leq 3,0$
Semigrês	IIa	$3,0 < \text{abs} \leq 6,0$
Semiporoso	IIb	$6,0 < \text{abs} \leq 10,0$
Poroso *	III	Abs acima de 10

Quadro 3 - Absorção de água dos materiais cerâmicos (Fonte: ABNT NBR 13818 (1997) apud Ribeiro e Barros (2010))

O índice de absorção de água da cerâmica é diretamente relacionado à sua porosidade. Essa característica é também ligada à capacidade de aderência mecânica da placa ao seu substrato. Quanto menor a absorção de água, menor será a absorção de pasta cimentícia e assim, maior será a necessidade da camada de fixação possuir aderência química.

Fato importante, citado por Ribeiro e Barros (2010), é a existência de alguns documentos que estipulam que as cerâmicas de fachada utilizadas em climas com temperatura de congelamento não devem possuir índices de absorção de água superiores a 3%. Para os demais climas, o índice não pode ser superior a 6%.

### 2.2.2 Expansão por Umidade

Está relacionado ao aumento das dimensões do material cerâmico pela adsorção de água. Esta expansão ocorre principalmente na fabricação das placas cerâmicas. Porém, apesar disto, ela pode ocorrer lentamente na placa depois de aplicada, o que pode acarretar problemas de fixação. Desta forma é necessário conhecer o potencial de expansão por umidade da peça após aplicada.

Ressalta-se que a capacidade de absorção de água não é, necessariamente, proporcional à expansão por umidade, conforme constatado por Menezes e colaboradores (2003) apud Ribeiro e Barros (2010), onde foi verificado que em 50% dos casos, existiu uma proporcionalidade inversa entre as duas características.

### 2.2.3 Dilatação Térmica

É uma característica relacionada à absorção ou perda de energia térmica por parte do revestimento.

A absorção de energia térmica condiciona o revestimento a um fenômeno de dilatação de suas dimensões. Em contrapartida, quando se perde energia térmica o revestimento pode vir a contrair suas dimensões.

Fatores que influenciam neste efeito são a face de insolação e as cores do revestimento. Sabe-se que as cores de tons mais fortes possuem maior absorção de calor e, portanto, sofrem mais com dilatações. As cores de tons mais claros acabam por refletir o calor e assim sofrem menos com dilatações. O **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta as diferenças de absorção solar em razão do tipo e cor do material.

Segundo Thomaz (1989) e Fiorito (1994), o efeito da dilatação térmica influencia na interação entre o revestimento e a base devido às tensões que são criadas.

### 2.2.4 Módulo de elasticidade

É a capacidade de deformação da placa cerâmica, que se expressa pela relação entre tensão e deformação, relação dada pela aplicação da tensão.

O Quadro 5 apresenta valores de módulo de elasticidade para alguns materiais.

Todas as características e propriedades dos revestimentos de argamassa e cerâmico devem ser conjugadas para que se trate do projeto do revestimento como um todo.

Superfície	Coefficiente de absorção solar
Concreto	0,65
Superfície colorida preta	0,95
Superfície colorida verde-escuro	0,80
Superfície colorida verde-clara	0,65
Superfície colorida branca	0,45
Mármore branco	0,58

Quadro 4 - Coeficiente de absorção solar (Fonte: ASTM C1472 (2006) apud Ribeiro e Barros (2010))



### **3 Projeto de Fachada**

O projeto de produção de fachada deve garantir o correto desempenho da fachada de tal forma que atenda suas funções de estanqueidade, conforto térmico e acústico e de estética. Para tal, o projeto deve definir os materiais que devem ser utilizados, os parâmetros de preparo dos materiais e as diretrizes de execução, incluindo a geometria das camadas.

#### **3.1 Revestimento de argamassa**

O preparo da argamassa é determinante para que se atinja o desempenho esperado para o revestimento. O Quadro 6 enumera três métodos principais de preparo da mistura.

Cada um dos três métodos possui características de impacto na logística e na produtividade. O Quadro 7 sintetiza os aspectos que devem ser considerados em cada um deles.

##### **3.1.1 Espessura da camada de argamassa**

A espessura da camada é determinante tanto na aderência do revestimento ao substrato (quanto maior a espessura, mais difícil a aderência) e também em relação à capacidade de acomodar deformações (quanto maior a espessura, maior a capacidade do revestimento em acomodar as deformações do substrato). Com situações contraditórias entre essas duas propriedades, é preciso que se tenham espessuras médias e máximas reguladas pelo projeto.

Material	Módulo de elasticidade E (GPa)
Porcelanato	50 a 70
Grês cerâmico	40 a 60
Semigrês	35 a 50
Cerâmica semiporosa	35 a 50
Cerâmica porosa	35 a 50
Litocerâmica	45 a 60
Argamassa colante comum	8 a 15
Rejunte comum	10 a 15
Rejunte flexível	8 a 20
Poliestireno expandido	1,7 a 3,1
Polietileno expandido	0,1 a 1
Selante elastomérico	0,05 a 0,1
Concreto denso	18 a 35
Concreto aerado	1,4 a 3,2
Concreto leve	8
Bloco de concreto	10 a 25
Bloco de concreto celular	4 a 16
Bloco cerâmico	4 a 25
Argamassa de cimento	8 a 18

Quadro 5 - Módulo de elasticidade de materiais de fachada (Fonte: Medeiros, 1999)

### 3.1.2

A norma ABNT NBR 13749 (2013) estabelece critérios para as espessuras tidas como ideais para a camada de revestimento de argamassa, conforme Quadro 8

ARGAMASSA	ATIVIDADES	EQUIPAMENTOS
<b>Preparada em obra</b>	Medição, em massa ou em volume, das quantidades de todos os materiais constituintes; transporte desses materiais até o equipamento de mistura; colocação dos materiais no equipamento; mistura.	Equipamento de mistura (betoneira ou argamassadeira); recipientes para a medição dos materiais (carrinhos-de-mão ou padiolas); pás, peneiras para eliminar torrões e materiais estranhos ao agregado.
<b>Industrializada (fornecida em sacos - materiais em estado seco e homogêneo)</b>	Colocação da quantidade especificada do material em pó no equipamento de mistura, seguida da adição da água.	Argamassadeira e os recipientes para a colocação da água.
<b>Industrializada (fornecida em silos - materiais em estado seco e homogêneo)</b>	Medição mecanizada. Um equipamento de mistura pode ser acoplado no próprio silo ou um outro equipamento de mistura específico, localizado nos pavimentos do edifício, efetua a mistura.	Equipamento de mistura específico.

Quadro 6 - Métodos de preparo da argamassa (Fonte: Baía e Sabbatini, 2002)

<p><b>ARGAMASSA PREPARADA EM OBRA</b></p>	<p><b>Central de produção</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• número de equipamentos de mistura adequado ao volume diário de consumo e próxima ao estoque dos materiais e ao equipamento de transporte vertical</li> </ul> <p><b>Estocagem individual de cada material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• maior área de estocagem</li> </ul> <p><b>Interferência com o transporte vertical de outros materiais</b></p>
<p><b>ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA FORNECIDA EM SACOS</b></p>	<p><b>Central de produção</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• caso não seja produzida nos próprios pavimentos do edifício</li> </ul> <p><b>Possibilidade de redução da ocupação do canteiro e interferência com o transporte vertical dos outros materiais</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• produção de pavimentos</li> </ul> <p><b>Diminuição das áreas de estocagem</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• estocagem em sacos de argamassa</li> </ul> <p><b>Maior facilidade e estocagem do material</b></p>
<p><b>ARGAMASSA FORNECIDA EM SILO</b></p>	<p><b>Dispensa a organização de uma central de produção</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• local para instalação do silo</li> </ul> <p><b>Diminuição das áreas de estocagem</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• todos os materiais constituintes da argamassa ficam armazenados no próprio silo</li> </ul> <p><b>Maior facilidade de controle e estocagem do material</b></p> <p><b>Mistura feita no equipamento acoplado no próprio silo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• podem existir interferências ou não com o transporte dos outros materiais</li> </ul> <p><b>Mistura no pavimento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• elimina-se a interferência do transporte dessa argamassa com outros materiais, otimizando a execução do revestimento</li> </ul>

Quadro 7 - Logística e produtividade dos métodos de produção de argamassa (Fonte: Baía e Sabbatini, 2002)

REVESTIMENTO	ESPESSURA (mm)
Parede interna	$5 \leq e \leq 20\text{mm}$
Parede externa	$20 \leq e \leq 30\text{mm}$
Tetos	$e \leq 20\text{mm}$

Quadro 8 - Espessuras ideais para a camada de revestimento de argamassa (Fonte: ABNT, 1996 *apud* Baía e Sabbatini, 2002)

Na impossibilidade de se atender às espessuras recomendadas acima, alguns cuidados devem ser considerados. Para o caso de espessuras mínimas, os seguintes parâmetros apresentados na Quadro 9 devem ser observados, para não haver perda de desempenho do revestimento.

TIPO DE BASE	ESPESSURA MÍNIMA (mm)
Estrutura de concreto em pontos localizados	10
Alvenaria em pontos localizados	15
Vigas e pilares em regiões extensas	15
Alvenarias em regiões extensas	20

Quadro 9 - Espessuras mínimas (Fonte: Baía e Sabbatini, 2002)

Para situações de espessuras superiores ao recomendado, Baía e Sabbatini (2002) consideram os seguintes parâmetros:

- Para espessuras entre 3 e 5 cm: Aplicação em duas demãos, com intervalo mínimo de 16h entre elas.
- Para espessuras de 5 a 8cm: Aplicação em três demãos, sendo as duas primeiras, encasquilhadas. O uso de telas metálicas deve ser analisado para este caso.

### 3.1.3 Juntas de Trabalho

O revestimento de fachada é constantemente exposto a tensões decorrentes de deslocamentos da estrutura; seja por efeitos de recalque, movimentações

térmicas ou por efeitos de segunda ordem atuantes na deformação lenta das estruturas. Muitas vezes essas tensões não podem ser evitadas e, assim, surgem fissuras que acabam por afetar negativamente as condições de desempenho do revestimento com infiltrações e deslocamentos da camada de argamassa. A junta de trabalho é um trecho fragilizado da camada pela diminuição da espessura gerando descontinuidade do revestimento. Esse ponto frágil tende a fissurar com mais facilidade que o restante do revestimento. Desta forma, com o adequado tratamento dessa junta, o resultado é um ponto de concentração das fissuras com as características de estanqueidade garantidas e o restante do revestimento com uma menor probabilidade de fissurar por efeito de tensões.

Para que a junta de trabalho seja eficiente, o projeto de fachada deve descrever a disposição horizontal e vertical destas juntas e também a discriminação do material que irá preenche-las. Como regra geral, Baía e Sabbatini (2002) estabelecem que a disposição das juntas deve seguir os seguintes parâmetros:

- Juntas horizontais a cada pavimento e verticais a cada 6m, para painéis superiores a 24m<sup>2</sup>
- Preferencialmente no encontro da alvenaria com a estrutura
- No encontro com 2 tipos de revestimento
- Acompanhando as juntas de trabalho do substrato
- Acompanhando as juntas estruturais

Na Figura 3 está apresentado o perfil genérico para o caso de uma fachada para pintura.

Na Figura 4 está o perfil genérico para o caso de uma fachada com revestimento cerâmico.

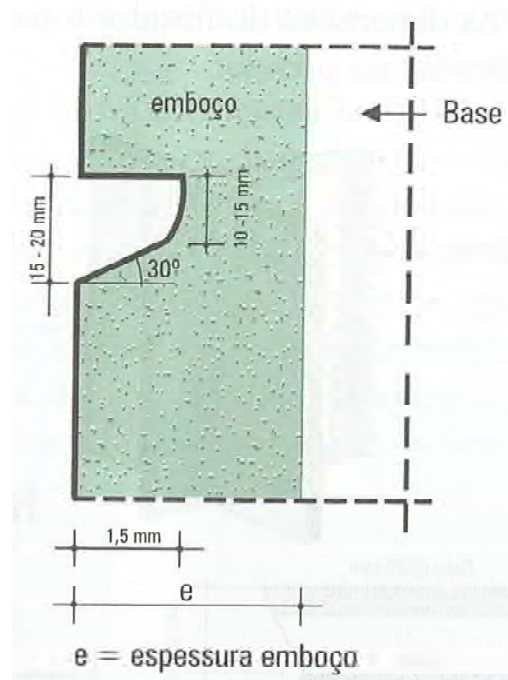


Figura 3 - Junta em massa, fachada para pintura. (Fonte: Baía e Sabbatini, 2002)

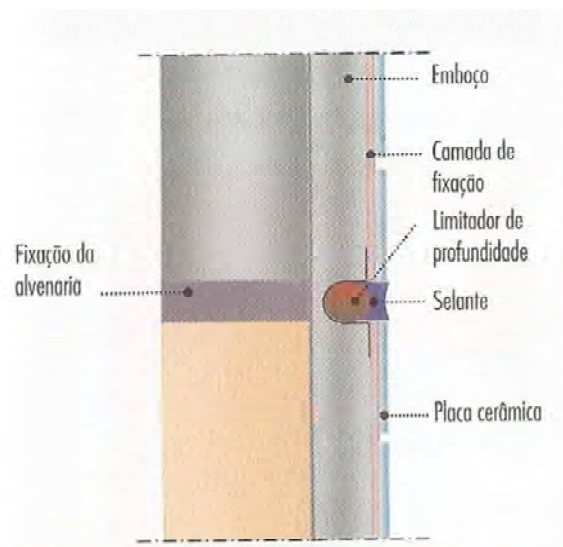


Figura 4 - Fachada para revestimento cerâmico (Fonte: Ribeiro e Barros, 2010)

### 3.1.4 Pingadeiras

As pingadeiras são anteparos que, usados devidamente, evitam manchas nas fachadas oriundas do carreamento, pela chuva, da poeira que se acumula nas partes planas da fachada, tais como os peitoris de esquadrias, topo de platibandas e molduras.

As pingadeiras devem estar afastadas da fachada de forma que a água pingue ao invés de escorrer pela superfície vertical.

Na Figura 5 são apresentadas duas possibilidades de pingadeiras, com argamassa e com faixa de cerâmica. Para o caso da argamassa, a pingadeira deve ter distanciamento de 4cm da face.

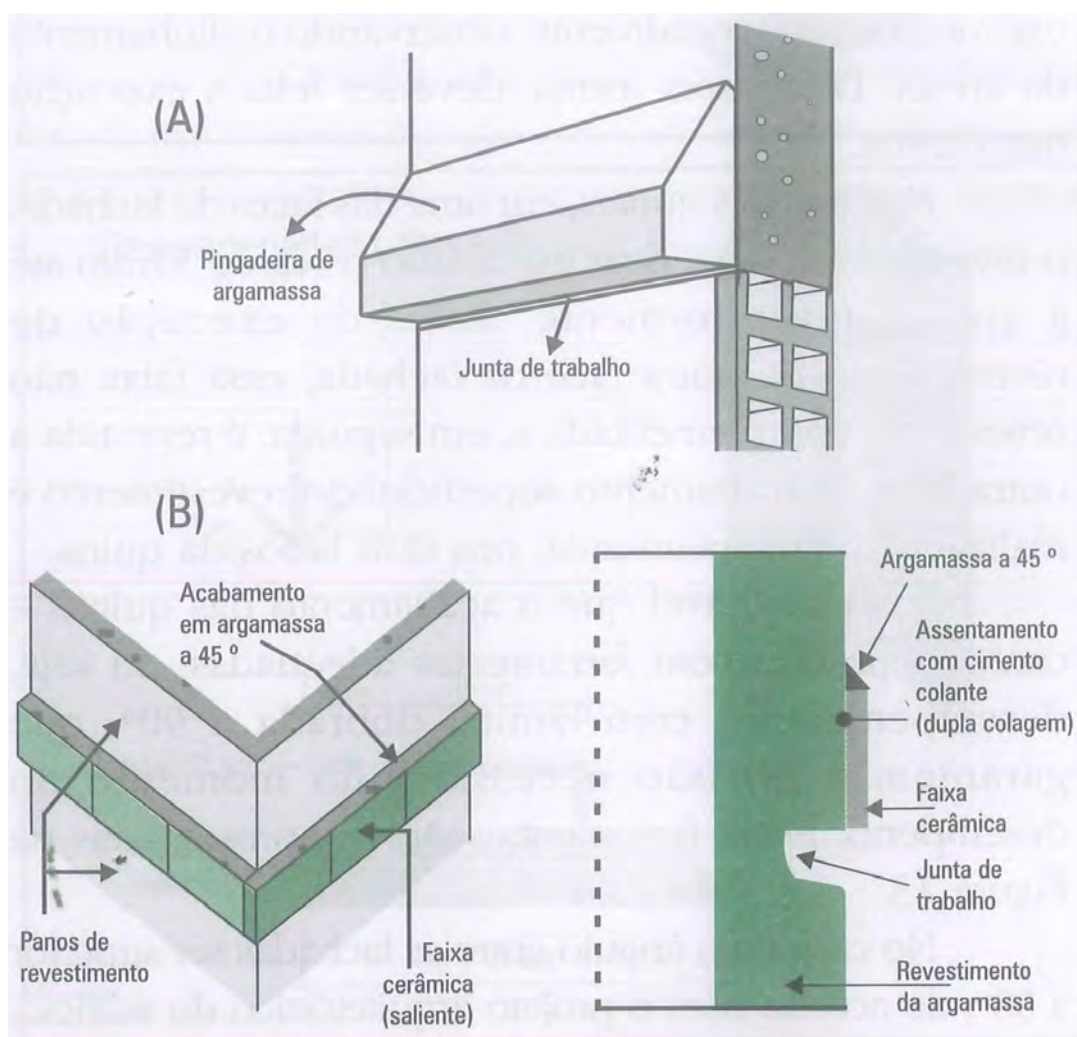


Figura 5 - Pingadeiras em cerâmica e argamassa (Fonte: Baía e Sabbatini, 2002)

### 3.2 Tensões sobre o revestimento

As principais tensões que surgem no revestimento têm origem nas movimentações que podem decorrer de ventos, variação de temperatura, umidade, e por movimentações nas camadas de base do revestimento, como por exemplo, as movimentações da estrutura.



As tensões que ocorrem na camada de acabamento (revestimento cerâmico) são basicamente de tração e compressão e, por consequência, de cisalhamento na interface com a base. São originadas por variações bruscas de temperatura e ou umidade. Segundo FIORITO (1994), as tensões ocorrem em cada uma das camadas e suas interfaces. Solicitando o revestimento de maneira não uniforme leva a base e as próprias camadas a movimentos diferenciais, que podem contribuir para o incremento de tensões.

A existência destas tensões são fenômenos naturais do revestimento e não podem ser evitadas. Elas serão absorvidas pelas características do revestimento até o limite de suas capacidades. É fundamental que se controlem estas tensões, pois, conforme Sabbatini (1990) e Fioritto (1994), quando as tensões originadas excederem a capacidade resistente da camada, poderá haver o comprometimento da estabilidade do conjunto, ocasionando fissuração ou perda de aderência e, conseqüentemente, o destacamento do revestimento.

A principal forma de se controlar as tensões é criando meios para que sejam dissipadas. Permitir que o revestimento se movimente é uma forma eficaz de dissipar tensões. Para isso, são criadas juntas de movimentação que permitem a movimentação (trocar essa palavra) do painel e impedem que a tensão seja transferida ao painel adjacente.

Para o correto dimensionamento das juntas, é necessário ter o conhecimento dos fatores geradores de tensão e suas magnitudes. O Quadro 10 classifica esses fatores de acordo com seus efeitos.

O efeito do vento sobre o revestimento, apesar de ser um gerador de tensão, conforme Quadro 10, na prática a determinação da sua real magnitude é bastante difícil e deve ser levando em conta apenas em projetos muito específicos com prédios muito altos com alto índice de esbeltes e com considerável exposição a ação do vento.

Natureza	Movimento	Reversibilidade
Variação da temperatura	Movimento térmico (contração ou expansão dos materiais por variação de temperatura)	Reversível
	Movimento higroscópico (retração ou expansão dos materiais por variação da umidade)	
Ação da umidade	Expansão por umidade de placas cerâmicas Retração por secagem da argamassa de emboço ou da argamassa colante da camada de fixação	Irreversível
Comportamento intrínseco dos componentes e elementos do edifício	Movimento da estrutura de concreto em razão das cargas permanentes: peso próprio, fluência, retração	
Ação do vento	Movimento do edifício por causa das cargas de vento	Irreversível ou reversível (avaliar cada caso especificamente)

Quadro 10 - Fatores geradores de movimentação (Fonte: Ribeiro e Barros, 2010)

### 3.2.1 Variação da Temperatura

Esse fenômeno natural é responsável pela expansão do material, quando exposto ao aumento de temperatura, e também pela retração, quando exposto a uma diminuição da temperatura. Os movimentos de expansão e retração são cíclicos, ao longo do dia e ao longo das diferentes estações do ano, sendo que a amplitude térmica também pode variar bastante de acordo com a latitude e/ou condições específicas de uma dada região.

A natureza cíclica destas deformações aliada às deformações diferenciais entre os variados materiais – acabamento, fixação e base – fazem com que as tensões resultantes venham a ocasionar fadiga na interface de fixação acarretando em problemas de perda de aderência.

Segundo a BS 5385: part2 (BSI, 2006) *apud* Ribeiro e Barros (2010) e a ASTM C1472 (ASTM, 2006) *apud* Ribeiro e Barros (2010), as deformações de origem térmica são as preponderantes e assim são determinantes para o emprego de juntas de movimentação.

Devido a isso, especial atenção deve ser dada aos fatores que contribuem para a absorção de energia térmica por parte do revestimento e que, conseqüentemente, causará maiores efeitos em termos de dilatação térmica. A escolha da cor do revestimento é um fator importante. Saraiva (1998) avaliou em estudo um aumento de 60% nas tensões da camada de acabamento quando esta fez uso de cerâmicas escuras, em contraposição às tensões observadas na camada de acabamento executadas com cerâmicas claras.

A variação dimensional que um painel pode sofrer pode ser determinada pela Equação 1:

Equação 1

$$\Delta L_x = L * \Delta t * \alpha_x$$

Onde

$\Delta L_x$  : Variação dimensional linear (mm)

L : Comprimento do painel. Distancia entre juntas

$\Delta t$  : Variação da temperatura no período considerado

$\alpha_x$  : Coeficiente de dilatação térmica linear (mm/mm/°C)

Para se determinar a variação de temperatura, as temperaturas máximas e mínimas devem ser as temperaturas de bulbo seco, que são definidas como: temperatura do ar, medida por um termômetro com dispositivo de proteção contra a influência da radiação ambiente, conforme Ribeiro e Barros, 2010.

O Quadro 11 apresenta a temperatura de bulbo seco para 14 cidades brasileiras.

Temperatura média das máximas e média das mínimas (°C)		
Cidade	T <sub>BSMax</sub> °C	T <sub>BSMin</sub> °C
Belém	27	15
Brasília	22,5	12
Curitiba	24,8	17
Florianópolis	30,2	23,4
Fortaleza	28,8	20,6
Maceió	29,7	22,4
Natal	28,5	23,5
Porto Alegre	25	14,5
Recife	28,5	23,5
Rio de Janeiro	27,3	20,5
Salvador	28,7	21,8
São Luís	31,2	23,4
São Paulo	23,8	15,1
Vitória	28,4	20

Quadro 11 - Temperatura de bulbo seco (Fonte: Goulart, Lamberts e Firmino, 1998 apud Ribeiro e Barros, 2010)

As temperaturas mínimas podem ser retiradas diretamente do Quadro 11. Já as temperaturas máximas devem ser obtidas de acordo com a Equação 2:

Equação 2

$$T_{\max} = T_{\text{SBMax}} + A_A(C_x)$$

Onde

T<sub>SBMax</sub> : Temperatura de bulbo seco máxima (°C)

A<sub>A</sub> : Coeficiente de absorção solar dos materiais

C<sub>x</sub> : Constante de capacidade de calor

O Quadro 4 apresenta valores para os coeficientes de absorção solar, de acordo com alguns materiais comumente usados.

A constante de capacidade de calor refere-se à capacidade do material de armazenar calor. As paredes condutoras, como os painéis metálicos, possuem baixa constante de capacidade de calor. Já as superfícies de concreto e alvenaria possuem alta capacidade de calor (ASTM C1472, 2006 apud Ribeiro

e Barros, 2010). O Quadro 12 apresenta valores para a constante de capacidade de calor.

Condições da superfície	Constante
Baixa	56
Baixa com reflexão	72
Alta	42
Alta com reflexão	56

Quadro 12 - Constante de capacidade de calor (Fonte: ASTM C1472, 2006 apud Ribeiro e Barros, 2010)

O coeficiente de dilatação térmica pode ser observado no Quadro 13.

Material	Coeficiente de dilatação térmica linear ( $\alpha$ ) °C <sup>-1</sup>
Porcelanato	4,5 a 13 × 10 <sup>-6</sup>
Grês cerâmico	5,9 a 12 × 10 <sup>-6</sup>
Semigrês	5,9 a 12 × 10 <sup>-6</sup>
Cerâmica semiporosa	8 a 10 × 10 <sup>-6</sup>
Cerâmica porosa	8 a 10 × 10 <sup>-6</sup>
Litocerâmica	8 a 10 × 10 <sup>-6</sup>
Argamassa colante	8 a 12 × 10 <sup>-6</sup>
Rejunte comum	9 a 13 × 10 <sup>-6</sup>
Rejunte flexível	9 a 13 × 10 <sup>-6</sup>
Poliestireno expandido	15 a 45 × 10 <sup>-6</sup>
Polietileno expandido	110 a 200 × 10 <sup>-6</sup>
Bloco cerâmico (2)	6,5 × 10 <sup>-6</sup>
Concreto (2)	9,0 × 10 <sup>-6</sup>

Quadro 13 - Coeficiente de dilatação térmica (Fonte: Medeiros, 1999)

Para se determinar a tensão atuante em cada camada consideram-se os materiais trabalhando em sua faixa elástica e equaciona-se a tensão pela lei de Hooke, conforme a Equação 3.

**Equação 3**

$$\sigma = E * \varepsilon$$

Sendo que

$$\varepsilon = \alpha * \Delta t$$

Onde

$\sigma$  : Tensão

E : Módulo de elasticidade

$\varepsilon$  : Deformação (movimento)

$\alpha$  : Coeficiente de dilatação térmica linear

$\Delta t$  : Diferença de temperatura

Os valores de módulo de elasticidade para diversos materiais estão sintetizados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, por Medeiros (1999).

### 3.2.2 Influência da Umidade

Umidade é definida pela presença de água, na sua forma líquida, sólida ou gasosa, nos poros dos materiais e na sua superfície.

Quando se trata de materiais porosos, que é o caso das argamassas e das cerâmicas, é importante entender como os efeitos da variação desta umidade no interior dos poros podem influenciar o comportamento do revestimento nas primeiras idades e também no decorrer da vida útil.

A retração dos materiais após a aplicação é ocasionada pela perda de água. No caso dos revestimentos, todas as camadas sofrem retração e de forma diferente, visto a composição diversa de cada uma delas. Alia-se a isso o fato de haver dois tipos de retração: a irreversível e a reversível.

A irreversível ocorre durante a secagem inicial do material, após a sua preparação úmida. Logo em seguida, os materiais não podem mais retornar ao seu estado inicial, mesmo sendo saturados. Porém, mesmo após a cura total, os materiais continuam a apresentar movimentos de contração e expansão, em uma menor magnitude. A Figura 6 ilustra estes efeitos.

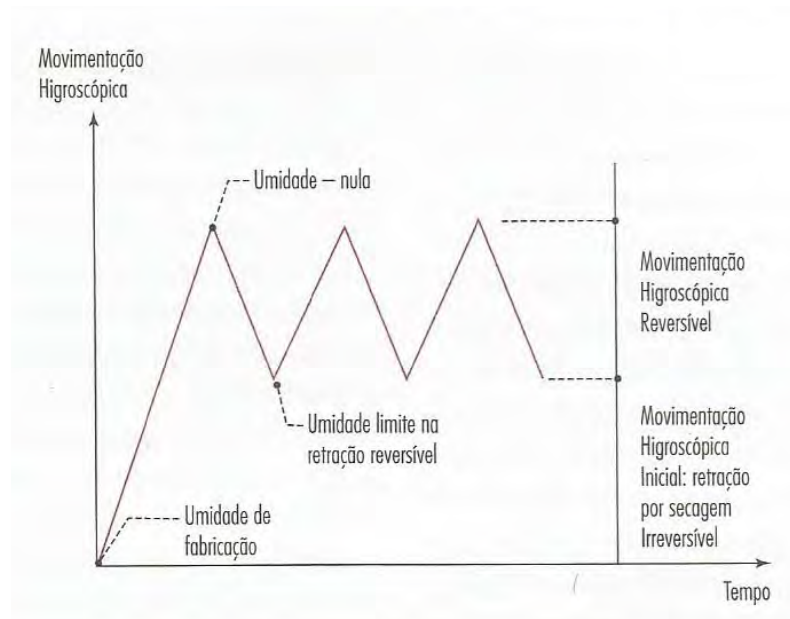


Figura 6 - Movimentação higroscópica dos materiais. Fonte: Sabbatini, 1984 apud Ribeiro e Barros, 2010)

Como se observa na Figura 6, a retração na sua fase irreversível é de maior amplitude. Daí a importância de se respeitar os prazos de produção e cura de cada camada. Para as argamassas de areia e cimento, o prazo de 28 dias é o ideal; para os produtos industrializados deve-se observar as indicações do fabricante. Segundo Ribeiro e Barros (2010), um movimento irreversível pode influenciar fortemente no destacamento do revestimento.

### 3.2.3 Deformações da estrutura

Todas as estruturas apresentam movimentações logo nas primeiras idades, bem como durante sua utilização.

Os movimentos estruturais ocorrem em função das características geométricas e de produção da estrutura e estão relacionados à deformação gerada pela retração e pela fluência do concreto, pela ação das cargas de ventos, além das deformações de origem térmica e higroscópica (RIBEIRO e BARROS, 2010) .

Segundo Ribeiro e Barros (2010), diversos autores afirmam que as estruturas modernas tendem a ter esbeltos elementos mais, mais deformáveis e com maiores flechas admissíveis. Estas características, apesar de não impor nenhum risco estrutural, podem originar deformações e, por consequência, tensões sobre as vedações e revestimentos que serão responsáveis por fissurações e destacamentos (RIBEIRO e BARROS, 2010).

A deformação lenta das estruturas ou efeitos de segunda ordem pode ser minimizado com cuidados durante a produção das peças. Dois procedimentos devem ser adotados:

#### **3.2.3.1 Escoramento e cura**

Garantir que a estrutura fique corretamente escorada durante o período de cura nos 28 dias iniciais. Para isso, é necessário haver um correto plano de escoramento que garanta o maior prazo possível de escoras permanentes e que sua quantidade esteja corretamente distribuída.

Especial atenção deve ser dada para que as escoras permanentes sejam dispostas no cimbramento antes da concretagem, assim se evita um erro muitas vezes comum no momento da execução: o posicionamento das escoras permanentes após a desmontagem do cimbramento. Neste caso, no momento da desmontagem do cimbramento a estrutura pode sofrer deformação e micro fissuração.

As escoras remanescentes têm como função principal proteger a estrutura na sua fase de ganho de resistência, para que não seja excessivamente solicitada acarretando deformações e micro fissurações que, por sua vez, potencializam a deformação lenta durante a vida útil da estrutura.

As micro fissuras também têm origem na falha de hidratação do concreto devido à perda de água para o ambiente. Este efeito é minimizado pela correta cura úmida do concreto por um prazo mínimo de sete dias (SABBATINI, 1998). Isto fará com que o concreto alcance os 28 dias com maior valor de módulo de elasticidade.

#### **3.2.4 Fixação da alvenaria**

A fixação da alvenaria logo na sequência da sua execução faz com que o duas situações indesejadas ocorram:

- A retração da argamassa durante a secagem faz com que haja uma retração da alvenaria na sua altura, o pode vir a resultar no descolamento da fixação da alvenaria na viga.

- A execução da alvenaria do andar subsequente irá gerar carga sobre a viga e conseqüentemente esta viga irá apresentar uma flecha por flexão.



Estando a alvenaria logo abaixo já fixada, ou seja, já aderida ao fundo da viga, fará com que tensões de compressão atinjam a alvenaria que por sua vez não é preparada para tal. Com isso surgirão fissuras ou até mesmo rompimento da alvenaria.

Portanto, deve-se adotar uma sequência construtiva que possibilite carregar a estrutura ao máximo antes de fazer a fixação da parte superior da alvenaria junto à estrutura. Por exemplo, pode-se executar o contrapiso e garantir que haja pelo menos quatro andares de alvenaria executados acima do andar a ser fixado. Isto garante que a deformação pelo carregamento ocorra sem que seja descarregada sobre a alvenaria.

E, por último, a fixação deve ser feita com argamassa de baixo módulo de elasticidade e alta aderência Ribeiro e Barros (2010).

### **3.3 Dissipação das tensões**

A forma mais eficiente de se evitar os efeitos nocivos das tensões geradas pelas diversas movimentações às quais o revestimento está sujeito é trabalhando no sentido de garantir a dissipação desta tensões. Ou seja, permitir que as movimentações ocorram, porém, de uma forma controlada quanto ao local e à forma.

Nas Figura 7, Figura 8, Figura 9, Figura 10, Figura 11 são ilustradas algumas movimentações que podem ocorrer no revestimento e também as tensões originadas.

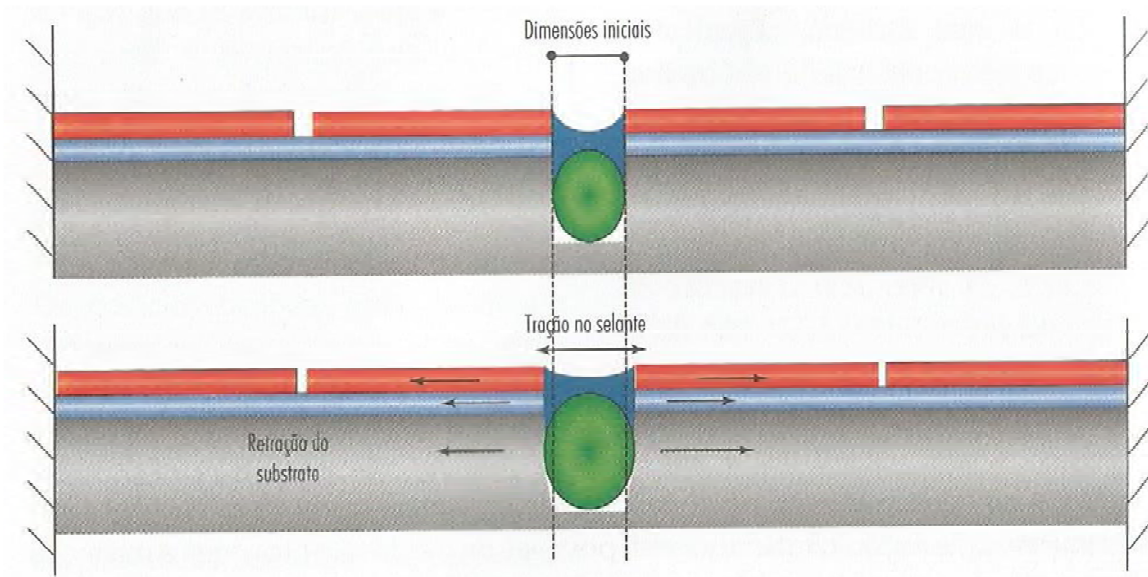


Figura 7 - Junta de trabalho. Movimento de tração causado pela retração do substrato. Fonte: Ribeiro e Barros (2010)

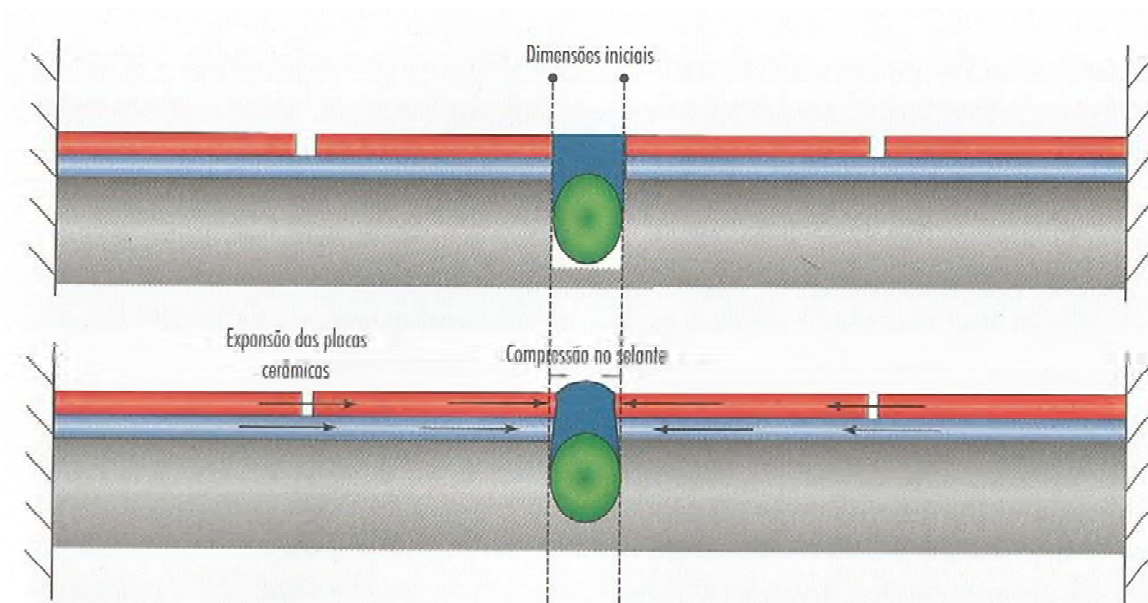


Figura 8 - Junta de trabalho. Movimento de compressão causado pela expansão das placas cerâmicas. Fonte: Ribeiro e Barros (2010)

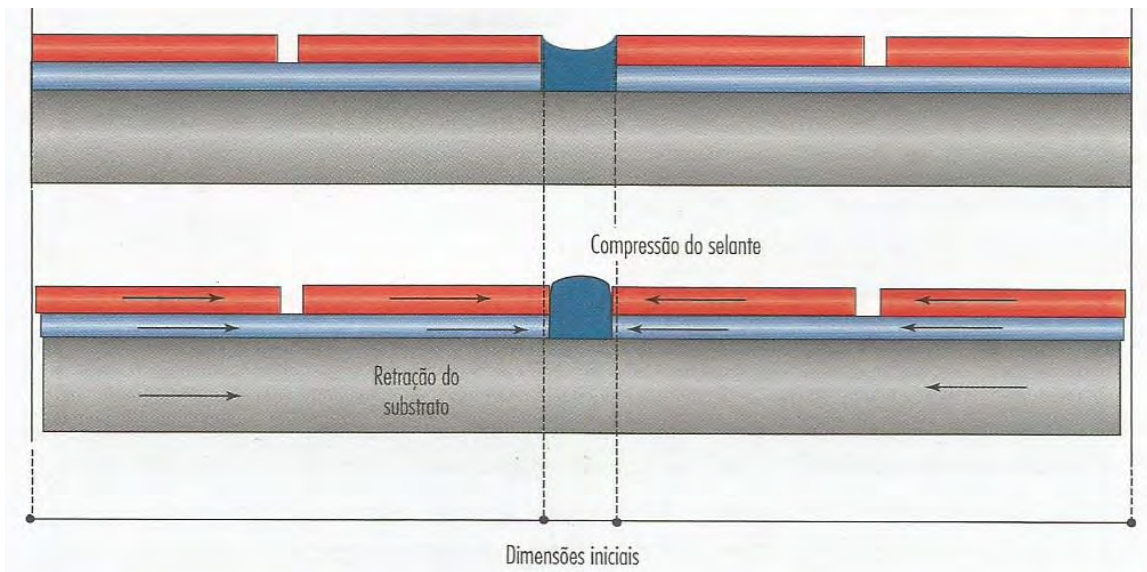


Figura 9 - Junta de dissoldarização. Movimento de compressão causado pela retração do substrato (Fonte: Ribeiro e Barros, 2010)

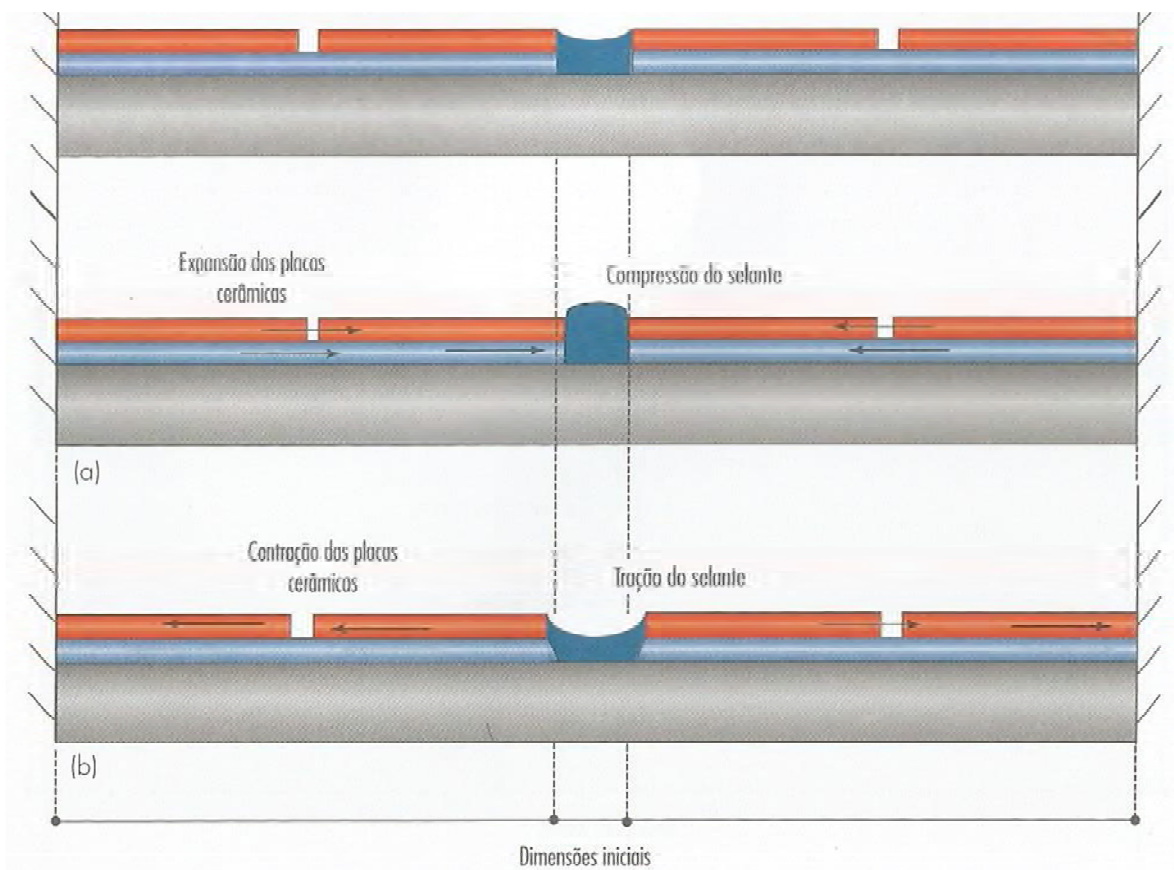


Figura 10 - Junta de dessoldarização. Movimento de compressão causado pela expansão das placas cerâmicas (a). Movimento de tração causado pela contração das placas cerâmicas (b). (Fonte: Ribeiro e Barro, 2010)

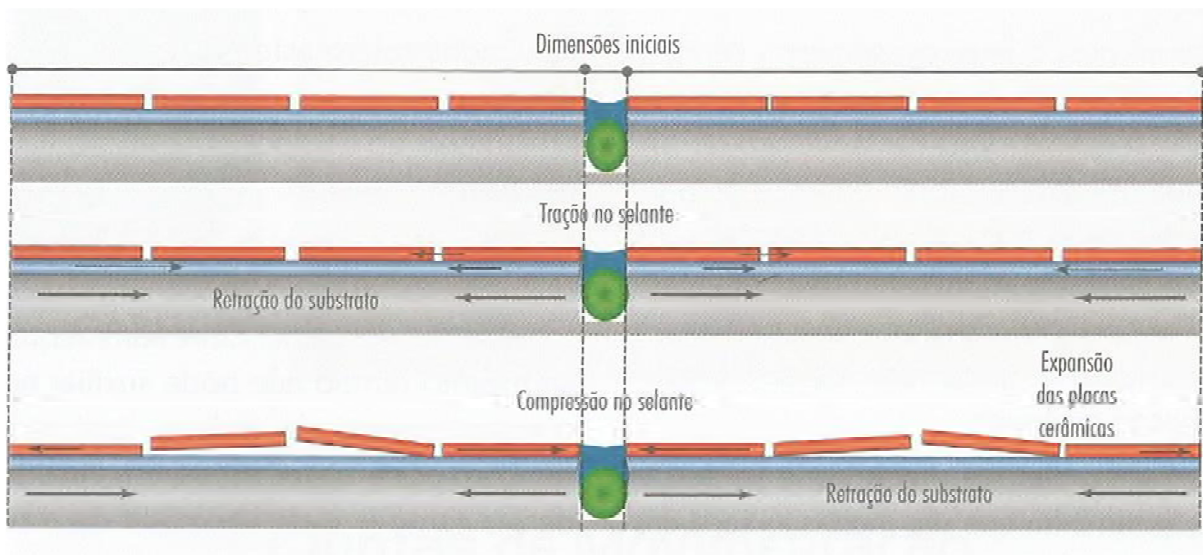


Figura 11 - Retração excessiva do concreto e da argamassa associada à expansão excessiva da placa. (Fonte: Ribeiro e Barros, 2010)

### 3.3.1 Juntas de movimentação em revestimentos cerâmicos

As diversas juntas possíveis de serem executadas em revestimentos cerâmicos podem ser classificadas segundo Ribeiro e Barros (2010) quanto a critérios de função, tratamento e acabamento.

#### 3.3.1.1 Função

##### (a) Juntas de trabalho

Utilizadas em situações de descontinuidade do substrato, ou seja, base composta por diferentes materiais interligados. Neste caso, a junta terá a função de acomodar as tensões resultantes da diferença de deslocamento que cada material apresentar e, para isso, deverá seccionar todas as camadas do revestimento; como exemplo, os encontros entre alvenaria e concreto. A Figura 12 apresenta o perfil típico deste tipo de junta.

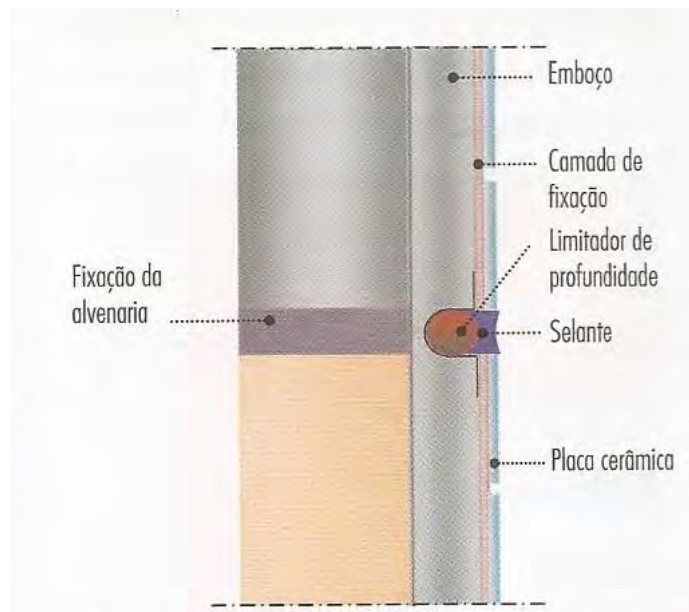


Figura 12 - Junta de Trabalho. Fonte: Ribeiro e Barros (2010)

### (b) Junta de transição

A junta de transição é utilizada em situações de descontinuidade do material de acabamento. Estes materiais apresentam diferentes características térmicas e devem ser separados. A Figura 13 apresenta o perfil típico deste tipo de junta.

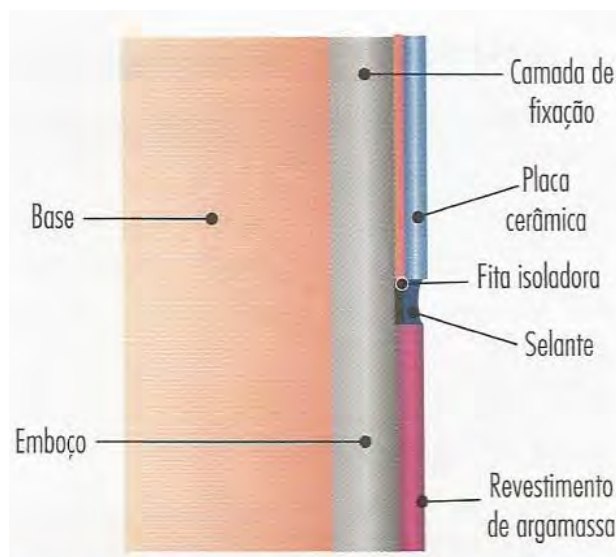


Figura 13 - Junta de transição. Fonte: Ribeiro e Barros (2010)

### (c) Junta de contorno

Esse tipo de junta é utilizado para fazer a separação do revestimento e os elementos construtivos adjacentes. Ela deve seccionar as camadas de acabamento e fixação, conforme indicado na Figura 14

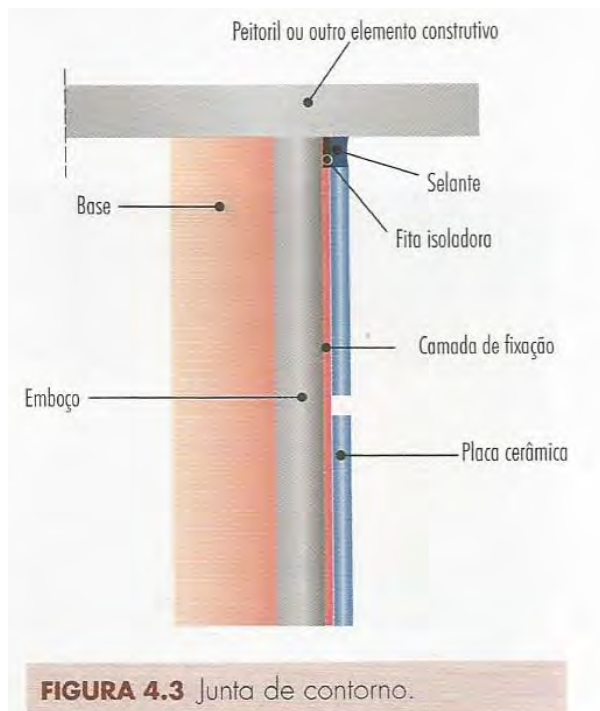


Figura 14 - Junta de contorno. (Fonte: Ribeiro e Barros, 2010)

(d) Junta de dessolidarização

Tem como função principal subdividir os painéis em painéis menores e assim minimizar a tensões devido a deformações com origem nas variações térmicas e higroscópicas.

Tanto podem ser utilizadas para subdividir painéis dispostos no mesmo plano, como também em cantos internos e externos do revestimento (Figura 15 e Figura 16).

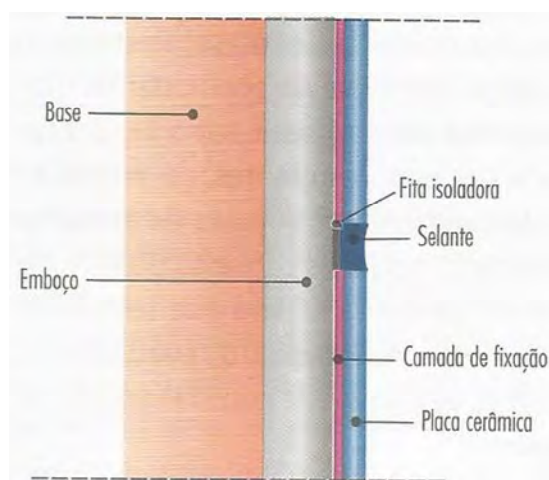


Figura 15 - Junta de dessolidarização. Fonte: Ribeiro e Barros (2010)

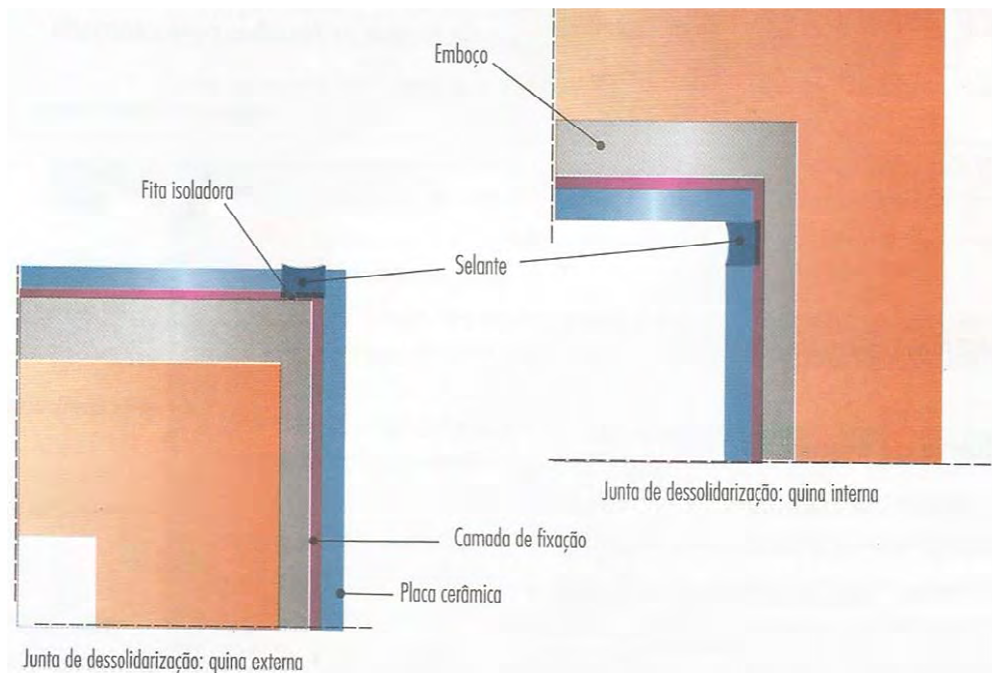


Figura 16 - Junta de dessolidarização. Mudança de planos do revestimento (Fonte: Ribeiro e Barros, 2010)

### 3.3.1.2 Tratamento

#### (a) Juntas Seladas

Juntas preenchidas com material selante em um estado não-curado.

#### (b) Juntas pré-formadas

Juntas preenchidas por material celular comprimido dentro da própria junta. Pode ser de material pré-formado extrudado ou pré-formado moldado.

### 3.3.1.3 Acabamento

#### (a) Junta côncava

O perfil externo da junta é moldado de forma a ter um formato côncavo, semelhante a uma ampulheta. É o formato mais usual e mais indicado.

#### (b) Junta nivelada

O perfil externo da junta é moldado de forma a ficar nivelado com o acabamento.

#### (c) Junta recuada

Neste caso, a junta fica recuada em relação ao nível do acabamento do revestimento.

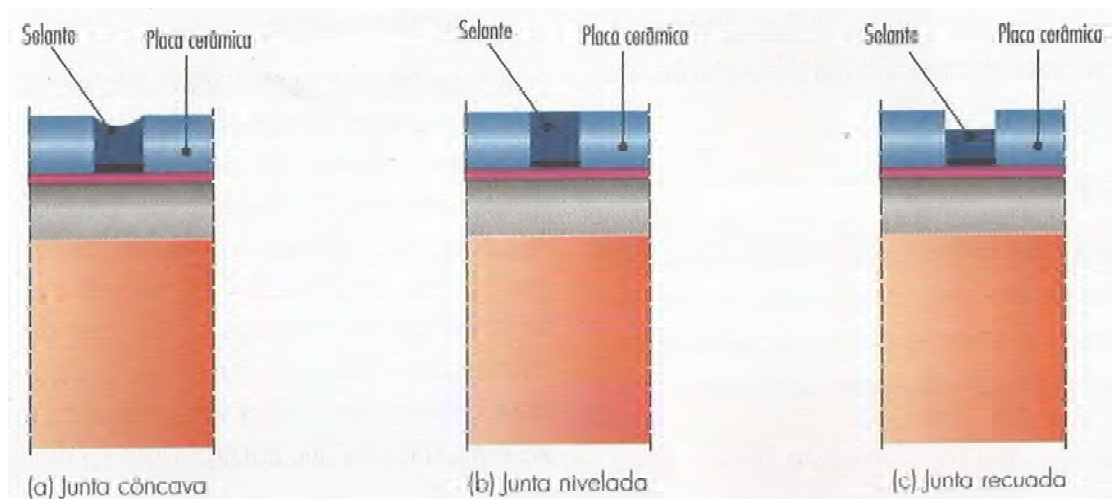


Figura 17 - Junta de dessolidarização. Diferentes acabamentos de superfície: a, b e c. (Fonte: Ribeiro e Barros, 2010)

### 3.3.2 Juntas Seladas – Composição, propriedades e projeto

As juntas seladas são compostas pelos seguintes elementos básicos: limitador de profundidade ou fita isoladora e o selante Figura 18.

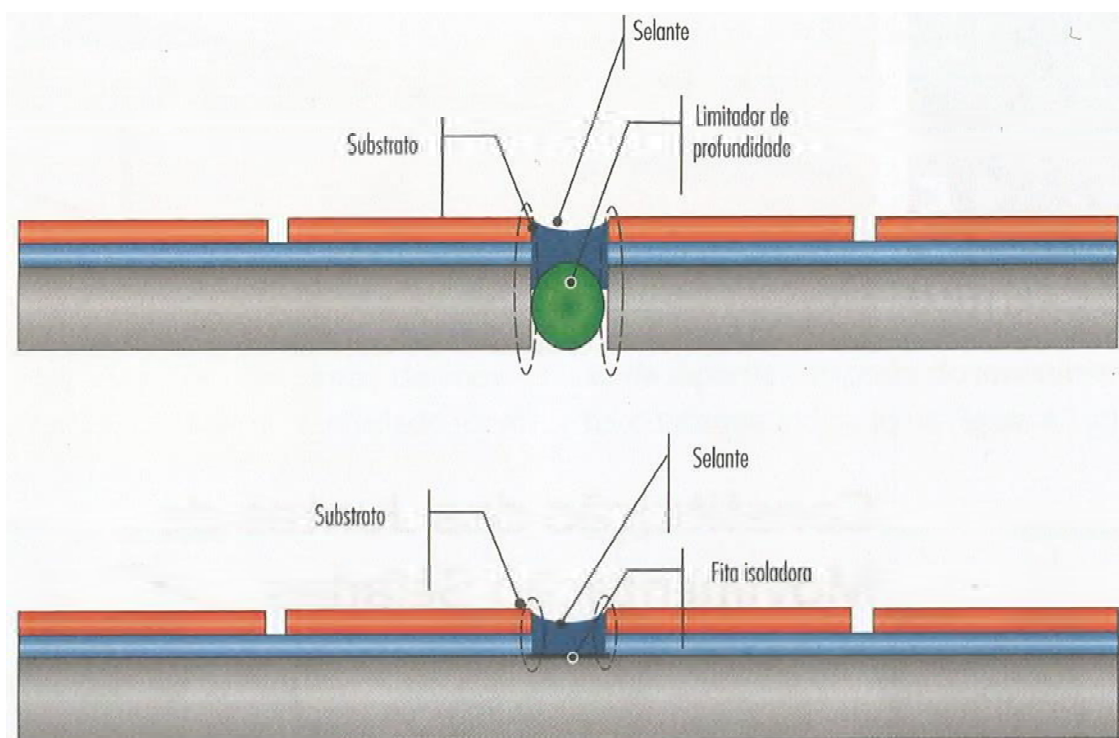


Figura 18 - Junta selada. Detalhe dos elementos de sua constituição. Fonte: Ribeiro e Barros, 2010)

O limitador de profundidade é composto por um material compressível, pré-fabricado e que não permite a aderência do selante sobre sua superfície, de acordo com Ribeiro e Barros (2010).



Ele tem como função principal garantir que o selante fique aderido apenas a dois pontos - no caso, as laterais - sem que haja aderência ao fundo da junta. Isso garante que o selante possua movimentação máxima junto com o revestimento sem que se rompa. Também será função do limitador de profundidade garantir a correta espessura do selante e servir de apoio durante a aplicação, fazendo com que o selante fique na profundidade correta. Processo apresentado na Figura 19.

O limitador de profundidade é normalmente encontrado no formato cilíndrico e é comumente chamado de “tarucel”, o nome de uma das marcas comerciais do produto.

A fita isoladora, semelhante ao limitador de profundidade, tem também a função de impedir que o selante fique aderido ao fundo da junta, ou seja, garante que a aderência ocorra somente em duas superfícies. Figura 20.

É importante observar a composição do limitador de profundidade e da fita isoladora e comparar com a composição do selante a ser utilizado. Os materiais devem ter características que garantam que não haverá aderência entre eles.

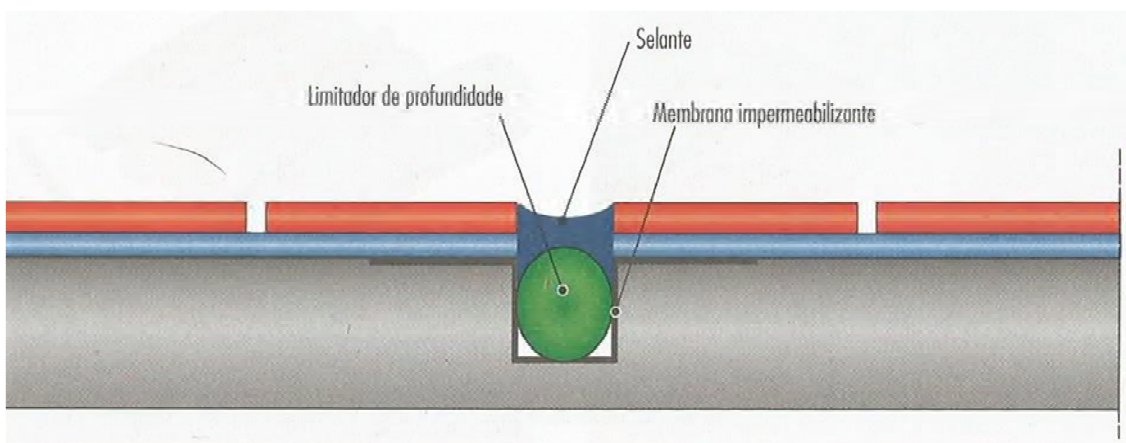


Figura 19 - Limitador de profundidade. (Fonte: Ribeiro e Barros, 2010)

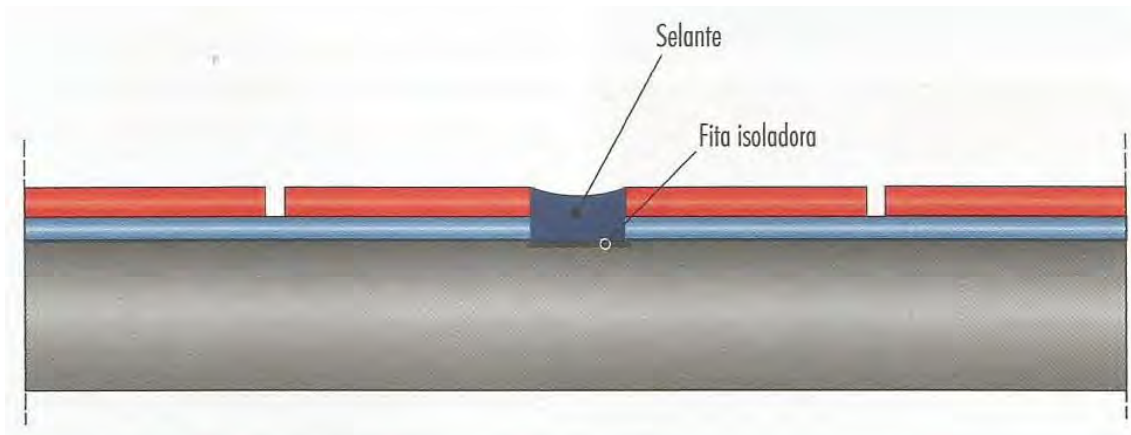

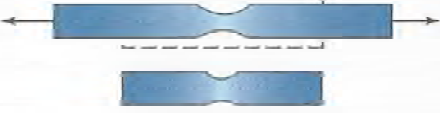




Figura 20 - Fita isoladora. (Fonte: Ribeiro e Barros, 2010)

Os selantes por sua vez têm a função efetiva de selar a junta. Para isso, devem apresentar características de adesão, coesão e deformabilidade que lhe permitam assegurar a estanqueidade em condições previamente estabelecidas seja em relação à agressividade do ambiente, seja de movimento da junta, apresentando durabilidade compatível com as exigências de projeto (RIBEIRO E BARROS, 2010)..

Os possíveis comportamentos dos selantes, depois de curados, estão sintetizados na Quadro 14.

Segundo ASTM (2008), os selantes podem ser classificados quanto ao tipo de aplicação e ao substrato de acordo com a Quadro 15, determinada pela ASTM C920.

Elástico	Apresentam comportamento elástico, ou seja, deformação proporcional à tensão e retornam ao estado original após a remoção dessa tensão.	
Elastoplástico	Comportamento predominantemente elástico, mas tendem a sofrer deformações plásticas quando solicitados acima do seu limite elástico e, nessa situação, após a remoção da tensão, não retornam totalmente ao seu estado original.	
Plastoelástico	Comportamento predominantemente plástico, ou seja, após a retirada do esforço a que foram submetidos, não retornam totalmente ao seu estado original, mas apresentam algum comportamento elástico quando solicitados abaixo do seu limite elástico.	
Plástico	Apresentam escoamento sob tensão, com deformações plásticas, não retornando ao estado original após a remoção da tensão.	

Quadro 14 - Comportamento dos selantes (Fonte:Ferme e Oliveira, 2003 apud Ribeiro e Barros, 2010)

		Classe	Descrição
Uso de Selantes Elastoméricos	Tipo de Aplicação	Use T	Selante designado para uso em áreas de tráfego de pedestres e veículos como calçadas, praças, deques, parques e garagens.
		Use NT	Selante designado para uso em áreas não-trafegáveis.
		Use I	Selante designado para uso em juntas que estão sujeitas continuamente a líquidos.
	Substrato	Use M	Selantes para uso em substratos de argamassa.
		Use G	Selantes para uso em substratos de vidro.
		Use A	Selantes para uso em substratos de alumínio.
		Use O	Selantes para uso em outros substratos

Quadro 15 - Classificação dos selantes elastoméricos quanto ao tipo de aplicação e ao substrato. (Fonte: ASTM C920, 2008 apud Ribeiro e Barros, 2010)

Os selantes devem ser analisados de acordo com as seguintes propriedades, sintetizadas a partir de Ribeiro e Barros (2010).

#### (a) Capacidade de movimentação

É dada pela amplitude máxima de movimento admissível após a cura, mantendo-se a eficácia do selante. Esta propriedade é expressa pelo fator de acomodação do selante que é, segundo Ferme e Oliveira (2003) *apud* Ribeiro e Barros (2010), “a taxa de movimentação total entre a máxima contração e o máximo alongamento que o selante vai suportar, expresso em percentual da largura inicial da junta”. Os selantes disponíveis no mercado são normalmente classificados de acordo com seu fator de acomodação.

#### (b) Recuperação elástica

Capacidade do selante de recuperar sua largura inicial após serem retiradas as tensões que geraram a deformação. Esta capacidade de retornar para a dimensão inicial é a recuperação elástica. Um selante cuja capacidade seja superior a 60% é classificado como elastomérico, segundo a norma ISSO 11600 (ISO, 2002).

#### (c) Módulo de elasticidade

Principal propriedade que deve ser observada no selante. O módulo de elasticidade de um selante deve ser sempre inferior ao módulo de seu substrato. Em outras palavras, os selantes de alto módulo não são recomendados nas aplicações em substratos de baixa integridade ou resistência, Ribeiro e Barros, 2010.

De acordo com a ISSO 11600 (2002) *apud* Ribeiro e Barros, 2010, selantes de baixo módulos são os que possuem módulo menor que 0,4MPa. Sendo os selantes com valores de módulo acima disto classificados como de alto módulo.

#### (d) Dureza

A dureza do selante após a cura está diretamente ligada ao desempenho do selante durante sua vida útil. Selantes que apresentam rápido endurecimento nos primeiros meses ou primeiros anos podem ter seu desempenho comprometido e diminuição da vida útil Ribeiro e Barros (2010).

De acordo com Ribeiro e Barros (2010), os selantes podem ser classificados quanto ao valor de módulo de acordo com a dureza Shore A. Selantes de baixo

módulo permanecem na faixa de 10 a 20 Shore A, os de médio módulo estão entre 20 e 35 Shore A, e os de alto módulo estão entre 30 e 65 Shore A.

#### (e) Adesão e Coesão

A adesão é a propriedade do selante de permanecer fixado ao substrato. Para que isto ocorra, o selante deve ser escolhido de forma a ser compatível com o substrato.

A coesão do selante é a propriedade que lhe confere capacidade de se manter homogêneo e íntegro, sem que haja ruptura interna quando ele é solicitado até o limite de suas propriedades.

Tanto a propriedade de adesão como coesão podem ser avaliados segundo o método de ensaio da ASTM C719-93 (ASTM, 2005) sob movimentação cíclica (Ciclo de Hockman), de acordo com Ribeiro e Barros (2010).

#### (f) Resistência ao envelhecimento

O selante estará durante toda a sua vida útil exposto à radiação solar, calor e as contaminações da atmosfera. Estes agentes causam a deterioração do selante e a capacidade de resistir a estes efeitos é dada pela resistência ao envelhecimento.

Esta resistência pode ser avaliada pelos ensaios C792-04 (ASTM, 2008) e pelo C793 (ASTM, 2005), de acordo com Ribeiro e Barros (2010).

#### (g) Manutenção da cor e compatibilidade

A alteração da cor do selante ou o manchas no revestimentos advindas do selante são problemas esteticamente indesejáveis.

As origens deste tipo de patologia, segundo a ASTM C1193 (ASTM, 2009) apud Ribeiro e Barros (2010), estão nas eflorescências, absorção de radiação ultravioleta e radiação visível, calcinação, poluentes na atmosfera, partículas, soluções de limpeza e pela absorção de materiais que estejam adjacentes às juntas.

A mudança de cor do selante pode ser um princípio de que alterações químicas estão ocorrendo no selante e que sua vida útil pode estar comprometida.

Há uma divergência quanto a forma de se avaliar esta propriedade do selante neste caso.

A ASTM C920 (ASTM, 2008), norma de especificação de selantes elastoméricos, indica o ensaio ASTM C510-05a (ASTM, 2005) como o indicado para determinar se o selante pode manchar o revestimento ou se ele pode vir a ter sua cor alterada, de acordo com Ribeiro e Barros (2010).

Já Ribeiro e Barros (2010) afirmam que, para o caso de revestimento cerâmico, o correto seria o emprego do ensaio ASTM C1248 (ASTM, 2008), o qual analisa a capacidade do selante de causar mancha em um substrato poroso devido a exsudação química. Os tipos de selantes disponíveis no mercado são sintetizados conforme o Quadro 16.

A determinação da posição das juntas deve-se a partir da análise do projeto de estrutura, principalmente. É através dela que poderão ser retiradas informações quanto a rigidez dos elementos que apoiam a alvenaria, situações em balanço, descontinuidades, concentrações de tensão, grandes vãos de vigas e grandes painéis de alvenaria. Todas essas informações contribuem para se determinar a localização de onde as juntas se fazem necessárias.

Ribeiro e Barros (2010), a partir da síntese de diversas referências, estipularam as seguintes recomendações quanto ao posicionamento das juntas.

#### **3.3.2.1 Juntas Horizontais**

As juntas horizontais devem estar posicionadas a cada pavimento, na região de encontro da alvenaria com a estrutura. As juntas podem ser de trabalho ou apenas de dessolidarização. A escolha entre uma ou outra é dada pela análise do potencial de movimentação da estrutura em cada local de uso da junta.

Para que haja correta dissipação da tensão pela junta, a mesma não deverá estar posicionada a mais do que 25mm do fundo da viga.

#### **3.3.2.2 Juntas Verticais**

Juntas verticais devem ser posicionadas em locais onde houver vigas ou lajes em balanço, e devem estar localizadas junto a face de encontro com o pilar de apoio.

Nas mudanças de direção também são recomendadas as juntas de dessolidarização, tanto nas mudanças internas como externas.

Nos casos onde houver painéis de revestimento com extensão superior a 6m, é recomendável que seja subdividido por juntas.

Para especificar a largura e a profundidade devem ser seguidas as seguintes indicações, conforme Ribeiro e Barros (2010).

#### a. *Largura*

Uma maneira de determinar a largura é estimar a quantidade de movimento máximo que poderá sofrer devido a movimentações. Desta forma, pode-se determinar a largura inicial da junta através da **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Equação 4

$$L_0 = \frac{M * 100}{MAF}$$

$L_0$  : Largura inicial da junta (mm)

M : Movimento máximo da junta (mm)

MAF : Fator de acomodação do selante

Há também recomendações de que a largura seja múltipla da magnitude do movimento, conforme o TCA (2008) *apud* Ribeiro e Barros (2010), em que recomenda a largura de quatro vezes o movimento previsto.

Já o DTU 44.1 (AFNOR, 2002) *apud* Ribeiro e Barros (2010) recomenda que os valores limites de largura para juntas de fachada estejam entre 8 mm e 30mm, e que o fator de acomodação do selante seja de no mínimo 25%.

O diagrama da Figura 21 foi elaborado de acordo com a recomendações de distância entre as juntas horizontais e verticais, entre 3 e 6 metros, analisando os efeitos das alterações de temperatura, dados pela equação Equação 1.

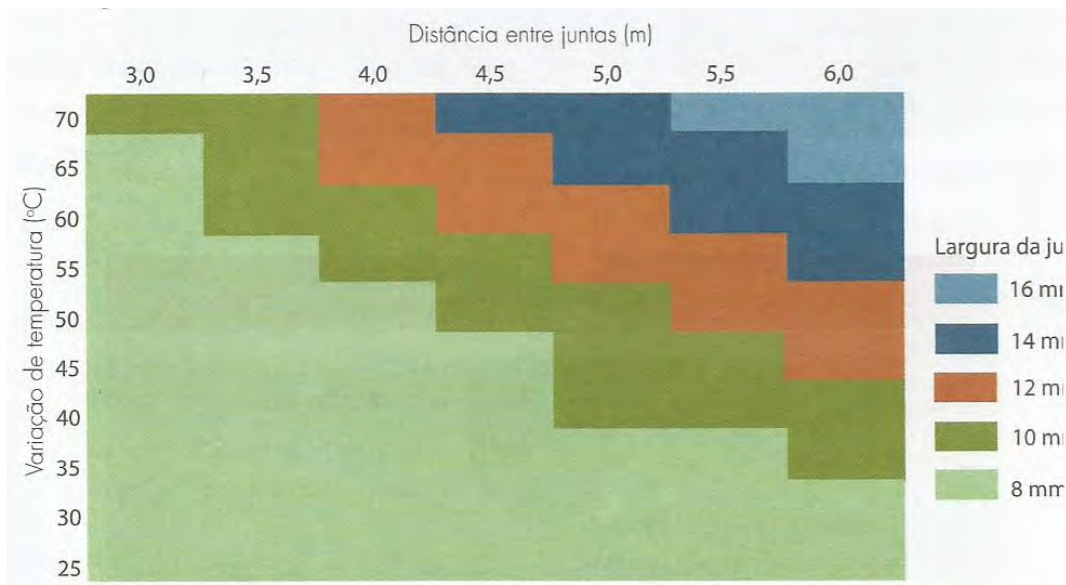


Figura 21- Diagrama para determinação da largura da junta em função da variação da temperatura. Fonte: Ribeiro e Barros (2010)

#### a. -Profundidade

De acordo com o Ribeiro e Barros (2010) a profundidade da junta deve ser tal que 1/3 da espessura do emboço seja preservada. Isto minimizará problemas de estanqueidade futuros no revestimento.

A profundidade do selante deve ser determinada pela análise do fator de forma, que é uma característica intrínseca de cada selante escolhido. As profundidades máximas recomendadas para alguns tipos de selante estão apresentadas na Quadro 17.



Tipo de selante	Comportamento	Fator de acomodação	Dureza	Tempo de cura após aplicado	Manutenção da aparência	Expectativa de vida	Vantagens	Desvantagens
Acrílico (base de água ou base de solvente)	Plasto-elástico/ Plástico	5% a 12,5%	25 a 30	3 a 14 dias (cura por secagem)	Média	10 a 20 anos	Excelente resistência aos raios ultravioletas. Elevada aderência sem necessidade de <i>primer</i> . Aceitam pintura sobre a superfície curada. Baixo custo. Facilidade de acabamento e limpeza. Permitem aplicação em presença de umidade (algumas formulações).	Podem apresentar retração. Quando solúveis em água, não oferecem resistência à inversão. Recuperação elástica lenta.
Poliuretano (monocomponente)	Elástico	25% a 35%	15 a 40	3 a 14 dias (taxa de cura depende da temperatura e umidade relativa)	Boa	20 anos	Apresentam ótima elasticidade e memória de retorno, excelente resistência ao intemperismo, elevada expectativa de vida útil. Não apresentam retração. Ótima aderência em diversos substratos (na maioria das vezes sem a necessidade de <i>primer</i> ).	Não recebem pintura.
Poliuretano (multicomponente)	Elástico	25% a 35%	15 a 40	Rápida	Boa	20 anos	Geralmente possuem maior disponibilidade de cores.	Exigem equipamentos mecânicos para mistura e limpeza rigorosa de aplicação.
Silicone	Altomódulo Baixomódulo	25% 50% a 100%	20 a 30 10 a 20	1 a 14 dias (cura depende da umidade relativa do ar)	Excelente	25 anos	Excelente resistência ao intemperismo e ao envelhecimento, tornando-os produtos de longa expectativa de vida útil. Possuem excelente alongamento e memória de retorno, excelente aderência, fácil aplicação e ampla disponibilidade de cores.	Os silicones tendem a atrair sujeira, não pela consistência "grudenta" antes da polimerização, mas sim por elasticidade elástica. Isso muitas vezes limita a sua utilização em fachadas de coloração clara.

Quadro 16 - Principais tipos de selantes de fachada (Fonte:Ledbetter, Hurler;Sheehan (1998) apud Ribeiro e Barros (2010))

Tipo de selante	Fator de forma (Largura: profundidade)	Profundidade máxima (mm)
Elásticos	2:1	20
Elastoplásticos	2:1 a 1:1	20
Plastoelásticos	1:1 a 1:2	20
Plásticos	1:1 a 1:3	25

Quadro 17 - Fator de forma para diferentes tipos de selantes (Fonte: Ledbetter, Hurley e Sheehan, 1998) apud Ribeiro e Barros, 2010)

Aqui também cabe a especificação do limitador de profundidade que, segundo a ASTM C1193 (ASTM, 2009) apud Ribeiro e Barros (2010), deve possuir diâmetro superior em 25% a 33% em referência à largura da junta, para assegurar uma correta compressão quando aplicado.

## 4 Apresentação do estudo de caso

### 4.1 O empreendimento

Empreendimento de uma torre, com 14 pavimentos. Apartamentos de alto padrão, num total de 6 unidades: 5 duplex e a cobertura triplex. Localizado no bairro de Higienópolis, na cidade de São Paulo.

Inicialmente a fachada era planejada para ser executada com as vigas e pilares em concreto aparente e os painéis de alvenaria seriam revestidos com cimento queimado pigmentado, numa distribuição de cores vermelho, azul e cinza. A interface das cores seriam feitas por perfis metálicos de alumínio.

A obra tinha como informações da fachada somente as constantes nos projetos de elevação da arquitetura, como ilustram as imagens da Figura 22.

Questões relativas às espessuras dos revestimentos não foram levadas em conta nestes projetos de arquitetura.

O cronograma inicialmente proposto, previa a execução da fachada iniciando-se no 19º mês de execução da obra e finalizando no 25º mês. No 6º mês de execução da obra houve a necessidade de se elaborar um cronograma mais estruturado. Para tal, uma consultoria de planejamento foi contratada.

O trabalho da consultoria foi finalizado em meados do 7º mês e foi apresentado um potencial de atraso de obra devido ao serviço de fachada que, ao invés dos 6 meses inicialmente estimados, possuía uma tendência de prazo de 10 meses, vide Figura 23.

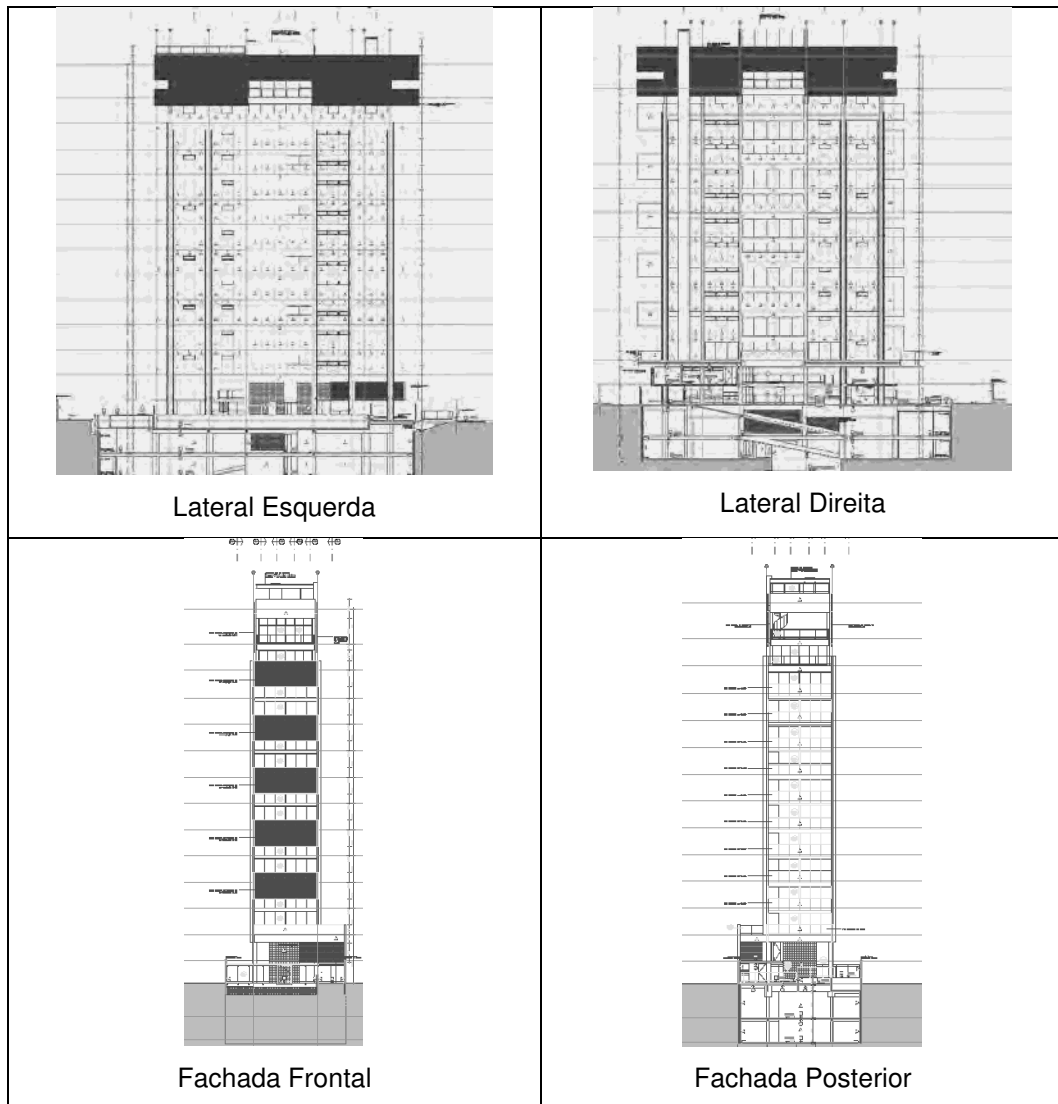


Figura 22 – Ilustrações dos projetos de arquitetura - fachadas

CRONOGRAMA														
Atividade	Mês													
	15°	16°	17°	18°	19°	20°	21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°
Revestimento Externo - Planejado	[Barra de planejamento]													
Revestimento Externo - Replanejado	[Barra de replanejamento]													

Figura 23 - Cronograma de execução. Planejado e replanejado

Somando a questão dos prazos, no decorrer dos meses seguintes, durante o processo de compra de material e contratação de mão-de-obra, surgiram questionamentos da engenharia da obra sobre a viabilidade técnica de se executar o revestimento de cimento queimado pigmentado em cores de tons

marcantes. Os fornecedores de material não se comprometiam com a obtenção da mesma tonalidade em panos diferentes.

Questões de estanqueidade da esquadria quando esta é fixada diretamente no concreto aparente eram questões recorrentes nas reuniões com os consultores de esquadrias. Tal preocupação era potencializada por existirem situações em que o contramarco da esquadria seria fixado em um elemento de concreto armado numa das laterais, enquanto na outra lateral seria fixado no revestimento de cimento queimado. A maneira diferente que cada um dos dois materiais trabalharia diante de intempéries poderia contribuir fortemente para surgimento de fissuras que, possivelmente, resultariam em infiltrações.

Como não há projeto de alvenaria para esta obra, não foi analisada a compatibilidade deste sistema com a estrutura de concreto. Desta forma, no momento de se iniciar o fechamento de alvenaria, foi necessário estudar a influência do alinhamento da alvenaria com a viga de concreto, visando minimizar o impacto o revestimento externo. A situação A, apresentada na Figura 24, ilustra como seria se a alvenaria fosse executada alinhada com a face da estrutura, como é usual. Nessa situação, seria criado um ponto de interferência indesejado, pois haveria um desnível de 2,5cm, relativo a espessura de revestimento da alvenaria, visto que a estrutura de concreto não possui revestimento.

A alternativa escolhida foi recuar a alvenaria em 2,5 cm da face das vigas, de forma a alinhar o revestimento externo da alvenaria com a face da viga. Assim, a interferência criada ficaria para o lado interno, não afetando o revestimento da fachada, como ilustra a situação B, Figura 24.

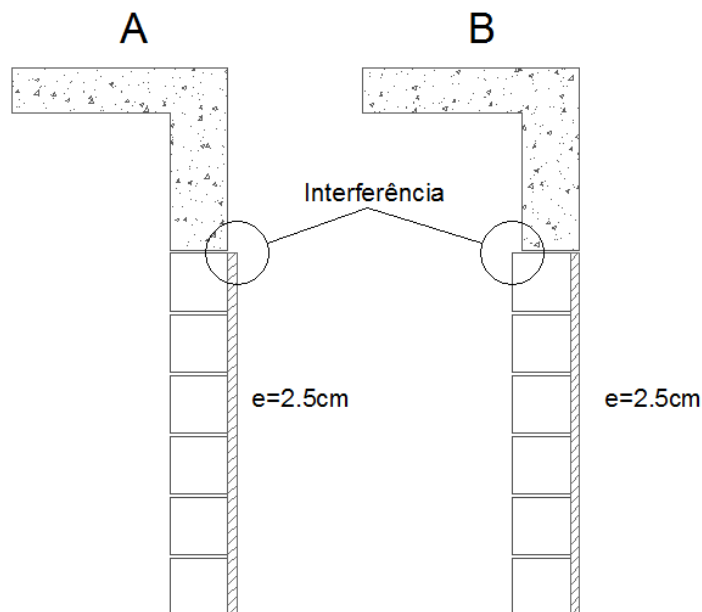


Figura 24 - Opção de alinhamento da alvenaria com o fôrdo de viga

## 4.2 Alteração do revestimento

As discussões sobre a viabilidade do revestimento da fachada, da forma como inicialmente projetada, seguiu até o 17º mês de execução da obra. Neste momento a consultoria de planejamento apresentou o planejamento da fachada onde o prazo de execução apontava não para os 6 meses do estudo de viabilidade mas sim para 10 meses. Os principais motivos das alterações de prazo seriam a dificuldade de se executar a fixação das cantoneiras metálicas que separavam as cores e a execução do cimento queimado pigmentado que exigem um rigoroso cuidado com o preparo de cada uma das cores, praticamente inviabilizando o uso de diferentes no mesmo dia, isso por si só já dificultaria o estabelecimento de qualquer ciclo racional de subidas e descidas do balancim.

Neste momento foi decidido fazer as alterações apresentadas no Quadro 18.

As alterações de acabamento determinadas pela arquitetura não foram acompanhadas por um detalhamento da fachada. Ficou a critério do engenheiro da obra determinar quais procedimentos técnicos deveriam ser seguidos.

Durante o 17º e 18º mês de execução da obra foram traçados os parâmetros, diretrizes e planejada a execução da fachada, como ilustra a Figura 25.

Projeto Arquitetônico Original	Projeto Arquitetônico Revisado
Peças de concreto (pilares e vigas) estucadas e envernizadas.	Peças de concreto (pilares e Vigas) revestidas em massa e posterior pintura na cor cinza
Alvenaria revestida com massa com acabamento em cimento queimado pigmentado em 3 diferentes cores	Alvenaria revestida com massa e cerâmica 10cm x 10cm em 3 diferentes cores
Utilização de cantoneira em “U” para separação das 3 diferentes cores e também para separar o revestimento do concreto aparente.	Não há cantoneiras separando as cerâmicas de diferentes tonalidades. Decisão tomada em conjunto com a engenharia, conforme apresentada nos capítulos seguintes.

Quadro 18 – Alterações propostas para o revestimento a partir das propostas iniciais

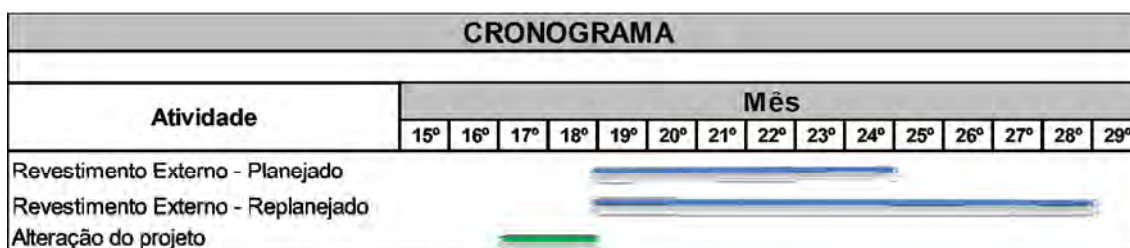


Figura 25 -Cronograma com o período de estudo das modificações

### 4.3 Consequências das mudanças

As alterações tardias no projeto, mesmo que sido feitas visando melhorar o desempenho final do sistema de revestimento, acabou por impactar em vários itens.

O fato de revestir a estrutura de concreto, exigindo-se que o revestimento da fachada possua o mesmo plano final fez com que houvesse um acréscimo de espessura no revestimento da alvenaria para que o mesmo pudesse ficar no mesmo plano do revestimento da viga (Figura 26). Desta forma, criou-se um ponto crítico, onde há o encontro de um revestimento de espessura 5cm com outro de espessura 2,5cm. Agrega-se a esta situação desfavorável o fato de cada camada estar aderida em um substrato diferente.

O uso de revestimentos cerâmicos exige cuidado especial quanto ao tamanho dos painéis, a fim de dissipar as tensões oriundas de movimentação do revestimento e do seu substrato. Para tal situação foi realizado estudo quanto ao uso de juntas de dilatação.

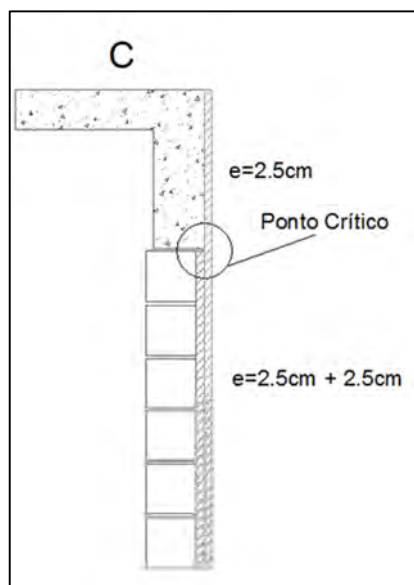


Figura 26 - Situação C

No geral, os seguintes impactos foram constatados e relacionados de forma direta ou indiretamente às alterações de projeto:

- Atraso na contratação de mão de obra
- Atraso na compra do material cerâmico
- Alteração do projeto de contramarco das esquadrias de janela
- Necessidade de detalhar pingadeiras de concreto
- Aumento de espessura na fachada
- Aumento no consumo de materiais
- Dificuldade de treinamento da mão-de-obra devido ao curto prazo para início

Após a decisão de se alterar o revestimento, a equipe de engenharia passou a analisar as soluções para que os impactos decorrentes fossem minimizados.

As dificuldades antes elencadas acabaram por levar a um replanejamento da execução. A figura apresenta as consequências das alterações sobre os prazos.



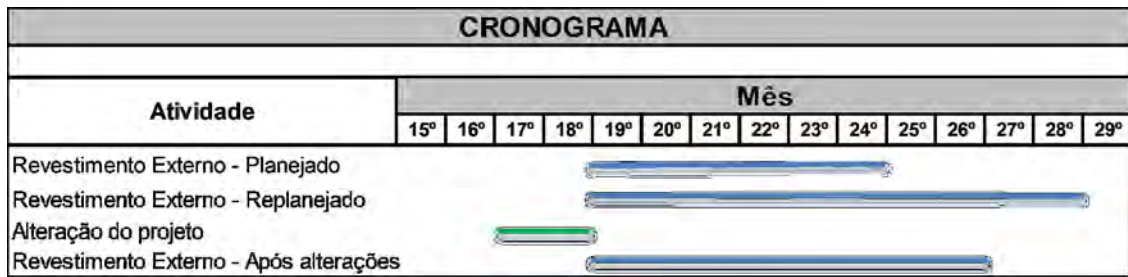


Figura 27 - Impactos das alterações no prazo

## 4.4 Projeto de produção

### 4.4.1 Revestimento de Argamassa

O desenvolvimento do projeto de fachada realizado pela equipe da obra partiu da análise de trabalhos já desenvolvidos sobre o tema.

As definições quanto ao revestimento de argamassa partiram da identificação do substrato e das interferências que este possuía. Como citado anteriormente, a alvenaria de fechamento foi executada baseando-se na informação de que os pilares e vigas seriam aparentes. A necessidade destas peças serem revestidas de argamassa, e terem o seu plano alinhado com a argamassa de revestimento da alvenaria, criou a necessidade de se analisar a região de interface entre estas duas áreas devido à diferença de espessura, região assinalada como ponto crítico na Figura 26.

O revestimento de argamassa possui uma espessura mínima recomendada. Com a necessidade de se ter um plano único na fachada, a espessura sobre a viga de concreto seria o limitante, pois deveria ter uma espessura tão mínima quanto o valor mínimo recomendado. A determinação desta espessura seguiu os parâmetros do Quadro 9.

Para caracterizar se a viga pode ser considerada como um ponto localizado ou uma região extensa é necessário analisar as dimensões da viga e a forma como a mesma está inserida na estrutura, Figura 28.

O fato de o plano externo da viga ser seccionado pelo pilar resulta que a maior dimensão longitudinal – maior espaçamento entre pilares – será de 4,55m. Esta dimensão, à primeira vista, não pode ser desprezada, pois não poderia ser classificada como pequena. Porém, ao se analisar a altura da viga, no seu pior

caso ou seja maior valor, chegará a 65cm, o que pode caracterizar, frente às dimensões da fachada, como uma área de pontos localizados.

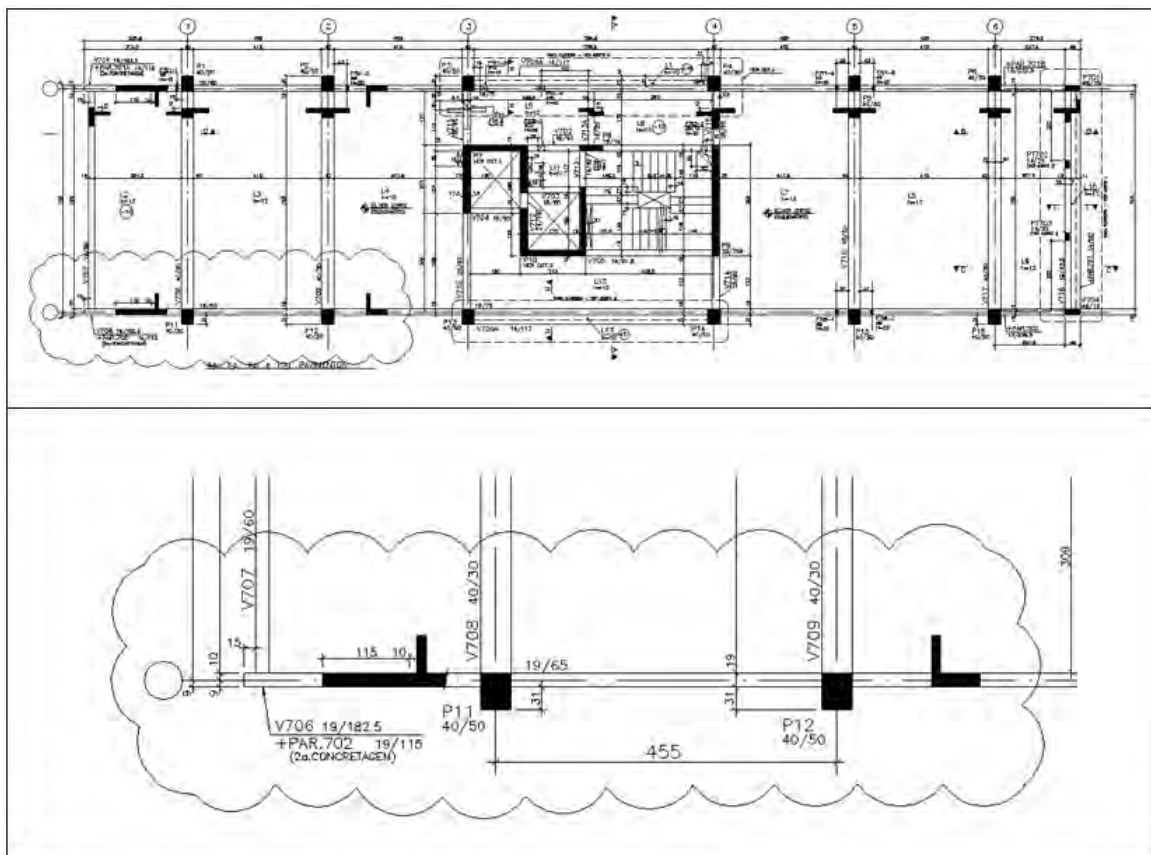


Figura 28 - Estrutura do pavimento tipo. Detalhe da dimensão da viga de fachada

Nesse íterim, estipula-se que a espessura mínima de revestimento sobre a viga será de 10mm. Consequentemente, a espessura mínima do revestimento sobre a alvenaria ficará entre 25mm e 35mm conforme mostra a situação D, Figura 29.

A determinação da espessura sobre a alvenaria, que pode chegar a 35mm ou mesmo superar este valor, a depender dos valores encontrados no mapeamento a ser realizado no momento da execução, deve ser analisado segundo a Quadro 8.

Com base no rigoroso acompanhamento que seria realizado na execução da fachada, assumiu-se que o valor de 35mm seria o máximo admissível para a execução em camada única. As situações em que o mapeamento mostrasse que a espessura da fachada seria maior que 35mm, até o limite de 50mm, o revestimento seria realizado em 2 camadas; respeitando um intervalo mínimo de 16h entre a aplicação.

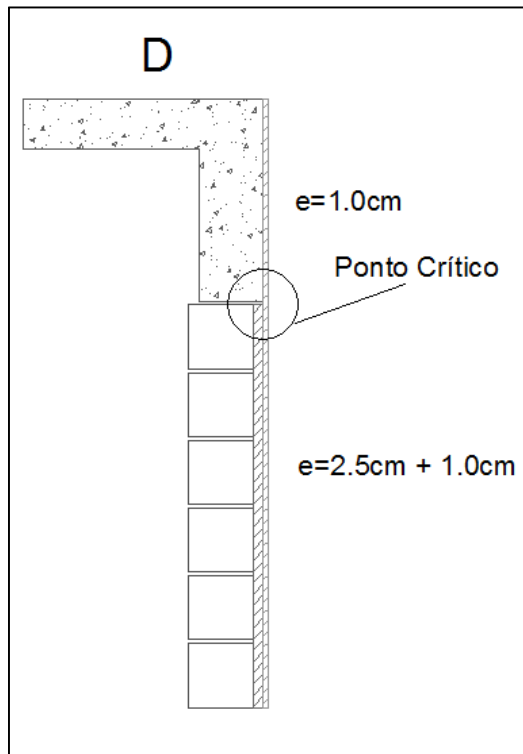


Figura 29 - Situação D

Os casos em que o revestimento viesse a superar os 50mm deveriam ser executados em 3 camadas. Para situações críticas, onde a espessura atingisse valores superiores a 8cm, seria obrigatório o uso de telas de reforço pinadas na estrutura de acordo com o indicado na Figura 30.

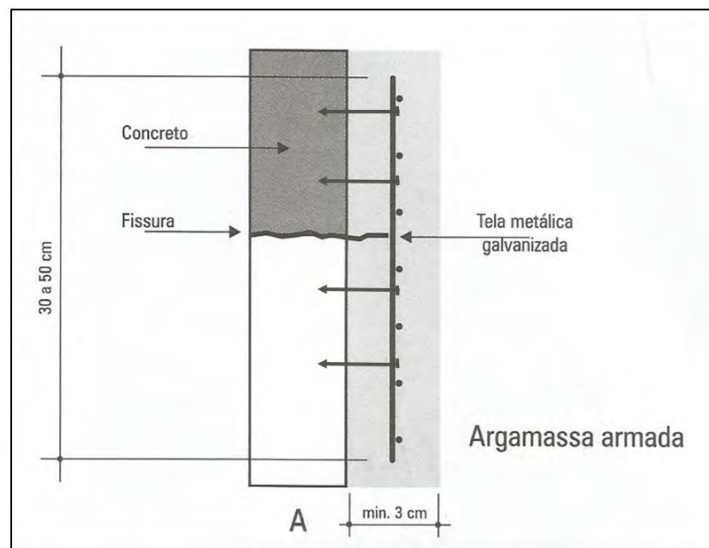


Figura 30 - Tela de reforço pinada na estrutura – Fonte: Baía e Sabbatini (2010)

Quanto à espessura do revestimento, é importante levar em conta o comportamento das camadas diante das situações de uso que ocorrerão durante a vida útil do revestimento.

Dois fatores são especialmente impactantes sobre o revestimento:

- Variação térmica diretamente sobre o revestimento, gerando tensões internas no próprio revestimento,
- Deslocamentos das estruturas, seja por efeitos de segunda ordem ou também por variações térmicas, os quais também causam tensões sobre o revestimento.

Em especial, a região de mudança de espessura será a mais fortemente atingida pelos efeitos destas tensões. Isso se deve à fragilidade que esta região possui e que, por consequência, tende a ser o ponto de alívio das tensões. Este alívio se apresentará no revestimento na forma de fissuras.

Entende-se que neste caso será inevitável o surgimento de tais fissuras. Diante disto, foi determinado o uso de juntas de trabalho que possuem a função de aliviar as tensões do revestimento, fazendo com que a fissura tenda a surgir no fundo da mesma de forma controlada e não aleatória o que poderia afetar a estanqueidade e a estética do revestimento. A Figura 31 ilustra as três situações típicas do uso das juntas de trabalho e de frisos com função de pingadeira.

Outro item não previsto no projeto inicial foram as pingadeiras em peitoris, muretas e platibanda.

Os peitoris de janela e topo de muretas e platibandas tendem a acumular sujeira que se depositam em sua superfície tipicamente plana. Na ocasião de chuvas, esta sujeira é carregada para a fachada, impregnando sobre sua superfície e, em consequência, causando efeitos estéticos indesejáveis.

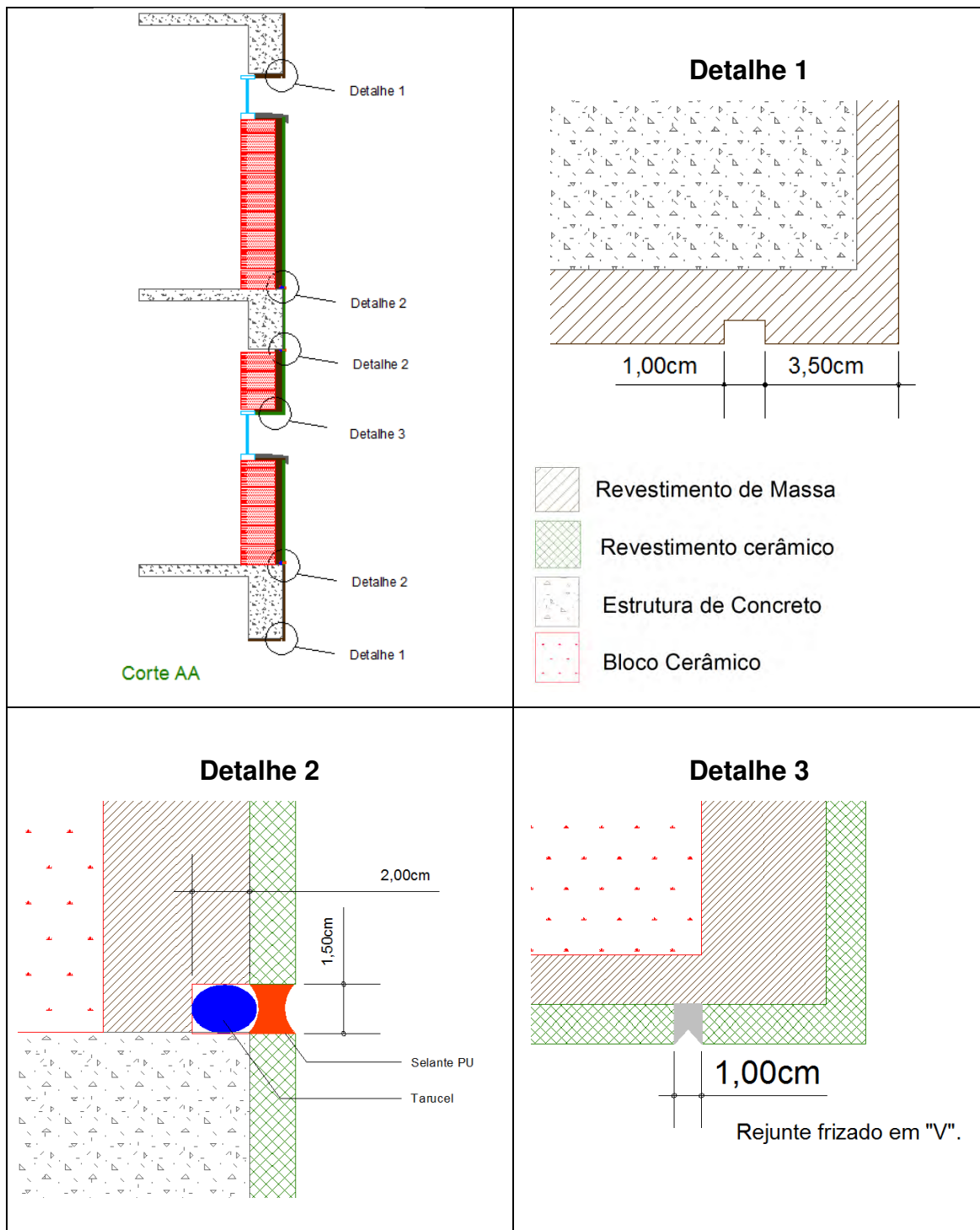


Figura 31 - Detalhes de juntas de trabalho e frisos com efeito de pingadeiras

Para este projeto, a pingadeira determinada em conjunto com a arquitetura é constituída por elemento de concreto pré-moldado. A seção típica dessas peças pré-moldadas são ilustradas na Figura 32.

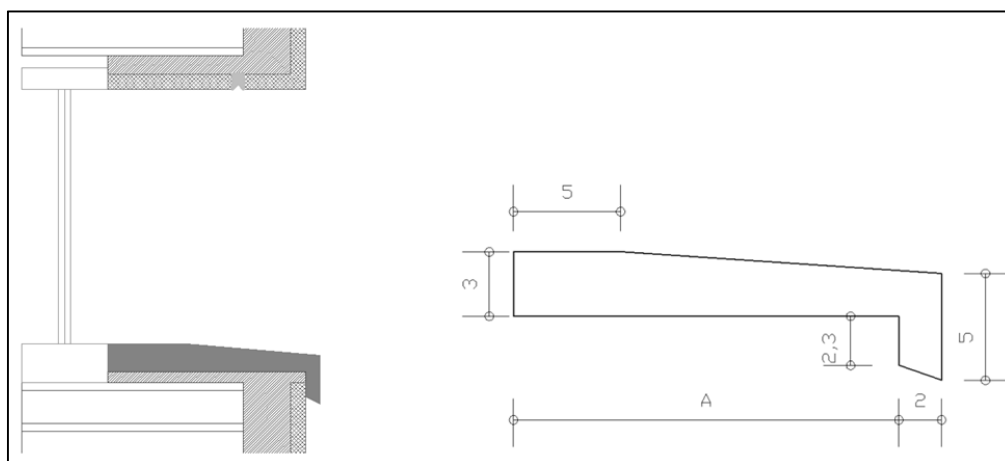


Figura 32 - Pingadeira pré-moldada utilizada no projeto

#### 4.4.2 Revestimento Cerâmico

O primeiro passo para iniciar o projeto do revestimento cerâmico foi analisar o material escolhido pela arquitetura. Seguindo o projeto original, as cores elas vermelha, azul e cinza foram mantidas.

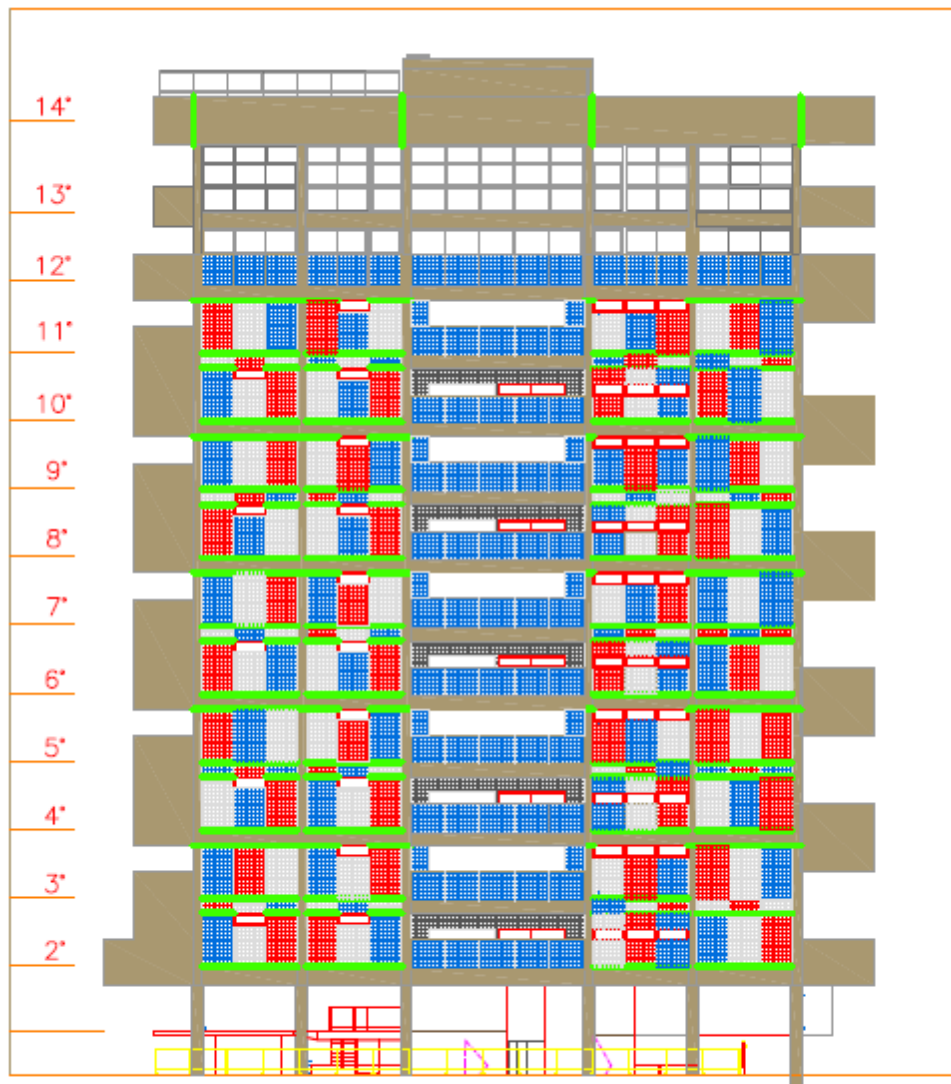
Baseado na maior capacidade de absorção de calor que as cores escuras possuem e analisando que a fachada possui 79% de sua composição baseada nas cores consideradas escuras – vermelho e azul – conclui-se que seria necessário um estudo criterioso quanto ao uso de juntas de dilatação.

Determinou-se, assim, a utilização de juntas de trabalho de forma a separar os painéis revestidos de cerâmica, dos painéis revestidos somente com argamassa. A escolha desses pontos, sendo necessário o uso de juntas, é resultado da diferença de espessura das duas camadas de argamassa já tratadas anteriormente.

Admitindo que os painéis de diferentes cores não podem ser considerados extensos, ao serem analisados individualmente; e, admitindo também o fato dessas tonalidades serem consideradas escuras - possuindo assim uma absorção de energia equivalentes entre si - não foi proposta a utilização de juntas de transição entre eles.

Seguindo as recomendações de posicionamento entre juntas verticais e juntas horizontais estipuladas nos itens 3.4.2.1 e 3.4.2.2, a distribuição final na fachada do prédio ficou de acordo com a Figura 33.

### VISTA LATERAL ESQUERDA R04



- |                     |                  |
|---------------------|------------------|
| ■ Pastilha Azul     | ■ Pastilha Preto |
| ■ Pastilha Vermelha | ■ Pintura Cinza  |
| ■ Pastilha Cinza    | ■ Junta Selada   |

Figura 33 - Distribuição de juntas de trabalho

Após a conclusão do projeto de fachada, foi alterado, ainda, o posicionamento de uma esquadria de janela, além de da inclusão de detalhes em cerâmica preta. Devido aos panos pequenos, no máximo 0,50m x 1,50m, os efeitos foram considerados pouco impactantes, o que contribuiu para a manutenção do projeto antes estabelecido.

#### 4.5 Sequência de execução planejada

Na maioria dos casos, a execução da fachada estará no caminho crítico do cronograma da obra. Neste estudo de caso, a situação não era diferente. Por

isso, era de extrema importância a determinação de uma sequência de execução clara, estruturada, factível e de fácil entendimento para que fosse possível a assimilação pela equipe durante os treinamentos.

A sequência de execução planejada foi estruturada com base nos movimentos de subida e descida do balancim, de forma a buscar a menor movimentação e, conseqüentemente, ganho de tempo.

A fluxograma da Figura 34 apresenta a sequência planejada. Ressalta-se que durante a execução esta sequência se mostrou ineficiente e acabou sendo alterada.

Segue-se a descrição de cada etapa.

#### **A. Montagem de balancim**

Montar os balancins de forma a ficarem numa distância de no máximo 40cm do pano da fachada.

Não apoiar as vigas do balancim diretamente sobre a platibanda, para que os serviços de massa, peitoril e rufo deste elemento não sofressem com a impossibilidade de realização.

As torres de sustentação das vigas do balancim devem ser ancoradas com cabos de aço conforme projeto do balancim.

Os ganchos para fixação do cabo de aço devem ser deixados na concretagem da laje e serem de no mínimo  $\Phi$  16mm.

#### **B. Posicionar arame para mapeamento**

Os arames deverão estar posicionados de forma a garantir o alinhamento de vãos de caixilhos e de cantos internos e externos do prédio. A locação dos arames deverá partir dos eixos principais do projeto.

Já a fixação deve ser realizada em pontos fixos, na estrutura do prédio, de preferência em ganchos metálicos com acesso pela platibanda ou cobertura. Não se deve utilizar a viga de sustentação do balancim, ou peças de madeira que podem se movimentar com o passar do tempo.



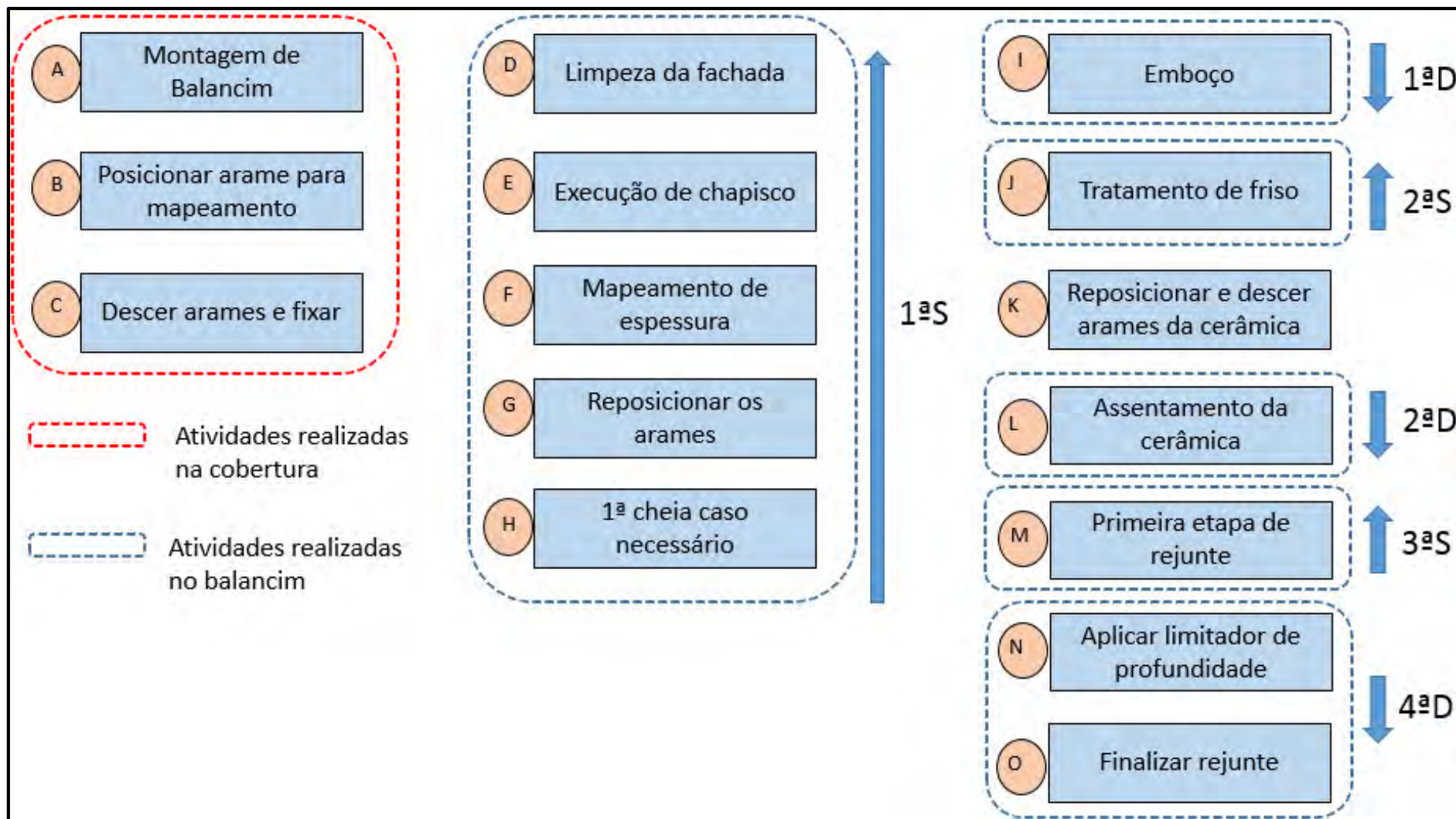


Figura 34 - Sequencia de execução inicialmente proposta

### **C. Descer arames e fixar**

Utilizar um peso cilíndrico de 10 x 25cm na ponta inferior do arame de forma a mantê-lo esticados. Em casos onde ventos sejam fortes, pode-se manter o peso cilíndrico totalmente imerso em um recipiente com água.

Após estabelecido o alinhamento, faz-se a amarração do arame na parte inferior, de forma que o arame não se mova durante a checagem do mapeamento.

### **D. Limpeza da fachada**

Escovar mecanicamente as peças estruturais e cortar as pontas de barras de aço, aplicando-se anticorrosivo.

Fixação pelo lado externo da alvenaria. Atentar para utilizar a mesma argamassa utilizada na fixação da face interna.

### **E. Execução do chapisco**

Chapisco executado com cimento e areia ensacados, no traço de 1:2. Após homogeneização da mistura, adicionar aditivo e água que deverão ser previamente preparados na proporção de 1:6 em volume.

### **F. Mapeamento da estrutura**

Para o mapeamento da planicidade da estrutura deve ser utilizado a planilha apresentado no Quadro 19.

### **G. Reposicionamento dos arames**

Feito o mapeamento, os arames devem ser reposicionados de acordo com a espessura determinada para o revestimento de argamassa somente. Deve-se atentar a posição dos arames nos requadros das janelas onde a posição do arame da argamassa esteja recuada em 1,5cm em relação ao contramarco, para que no momento de reposicionar o arame para a cerâmica, etapa K, o vão continue com folga em relação ao contramarco, permitindo a instalação do caixilho.

Este arame deve ser preso no térreo de forma a não oscilar durante a execução o que atrapalharia a execução.

É muito importante que se estabeleça um procedimento diário de checagem dos arames a fim de garantir que não haja nenhum objeto deslocando-o de sua posição correta, e também para garantir que não haja nenhuma alteração no ponto de amarração do arame, o que acarretaria em uma espessura incorreta.

		<b>BALANCIM 01</b>				
		<b>Distância ao arame</b>				
		<b>ARAMES Nº</b>				
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>N</b>
Cob.	ALVENARIA					
	ESTRUTURA					
13º	ALVENARIA					
	ESTRUTURA					
12º	ALVENARIA					
	ESTRUTURA					
11º	ALVENARIA					
	ESTRUTURA					
10º	ALVENARIA					
	ESTRUTURA					
09º	ALVENARIA					
	ESTRUTURA					
08º	ALVENARIA					
	ESTRUTURA					
07º	ALVENARIA					
	ESTRUTURA					
06º	ALVENARIA					
	ESTRUTURA					
05º	ALVENARIA					
	ESTRUTURA					
04º	ALVENARIA					
	ESTRUTURA					
03º	ALVENARIA					
	ESTRUTURA					
02º	ALVENARIA					
	ESTRUTURA					

Quadro 19 - Mapeamento de espessura

## **H. 1ª Demão caso necessário**

Os pontos que o mapeamento apontar como críticos e, para os quais seja necessário utilizar espessuras maiores que o ideal, devem receber a primeira demão nesta etapa e seguir conforme indicado no item “espessura de argamassa” no capítulo 2.

## **I. Emboço**

A operação deve ser executada com acabamento grosso, para facilitar a aderência da cerâmica.

Já a abertura dos frisos precisa ser feita com ferramentas corretas, conforme ilustra a Figura 35, evitando que sejam utilizadas ferramentas produzidas no canteiro de forma de forma improvisada.



Figura 35 - Régua para frisar argamassa – Fonte: [www.equipaobra.com.br](http://www.equipaobra.com.br)

É de suma importância manter ao alcance do pedreiro um croqui do pano que está sendo executado, no qual estejam contidas as informações quanto a localização e dimensão das juntas e frisos.

## **J. Tratamento de friso**

Tratar os frisos com material impermeabilizante. Neste caso, o material escolhido foi a pintura com membrana polimérica.

## **K. Reposicionar e descer arames para cerâmica**

Para o início da cerâmica, os arames devem ser reposicionados de forma a assimilar a nova espessura deste revestimento.

Atentar-se para a necessidade de dupla colagem em casos de placas cerâmicas com dimensões maiores que 900cm<sup>2</sup>.

## L. Assentamento da cerâmica

A argamassa colante deve ser preparada em misturador mecânico de eixo horizontal.

A superfície de aplicação necessita estar ser levemente umedecida, o que pode ser feito com o uso de uma brocha antes da aplicação da argamassa colante. Isso evita perda excessiva de água.

## M. Primeira etapa de rejunte

Deve-se fazer o rejunte de 30cm ou 2 peças de cerâmica - o que for maior – a fim de garantir que a região da junta não esteja úmida no momento de aplicação selante, o que atrapalharia a aderência , Figura 36.

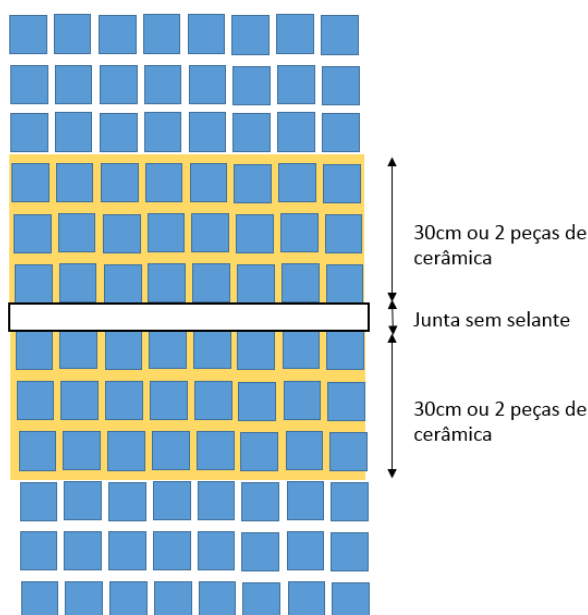


Figura 36 - Primeira etapa de rejunte

## N. Aplicar limitador de profundidade e selante

O limitador de profundidade deve ser colocado de forma a ficar sob pressão.

Para evitar que o selante fique impregnado na cerâmica, é importante proteger com fita crepe as bordas das juntas, de forma a garantir perfeito acabamento ao selante e manter a cerâmica limpa.

## O. Finalizar rejunte

Proceder o rejuntamento com atenção, para não permitir furos por falha de rejuntamento.

Fazer a limpeza retirando acúmulo de rejunte. Uma empresa especializada se encarregará de realizar a limpeza fina da cerâmica.

## 4.6 Fase de execução

### 4.6.1 Distribuição dos balancins

Ponto de partida para o planejamento da execução da fachada é a definição quanto aos balancins e o abastecimento de materiais.

A posição dos balancins deve ser determinada antes da concretagem da laje da cobertura. Desta forma, os ganchos poderão ser fixados na armação da laje, garantindo maior segurança e evitando a necessidade de se fazer furos na laje para transpassar os ganchos, o que pode vir a gerar inconvenientes para a impermeabilização dessa laje.

Existem dois sistemas básicos de balancins:

**Balancim pesado.** Executado basicamente com madeira e com sistema de catraca para operação de deslocamento vertical. Atualmente o sistema está em desuso por apresentar menor segurança.

**Balancim leve.** São gaiolas metálicas com sistema de catracas manuais ou elétricas para a operação de deslocamento vertical. São mais seguras e ágeis.

O meio escolhido para este estudo de caso foi o balancim leve de catraca manual.

A distribuição dos balancins seguiu o posicionamento dos pilares de fachada que, no caso deste projeto, faz a delimitação física dos panos. Desta forma, estão presentes na fachada, balancins de 3 dimensões: 8m (balancins 3 e 9), 4,5m (balancins 2, 4, 8 e 10) e 6,5m (balancins 1, 5, 6, 7, 11 e 12), conforme Figura 37.

O posicionamento dos ganchos segue a indicação do projeto desenvolvido especialmente para este caso.

Todo o sistema de ancoragem e sustentação dos balancins deve possuir ART de montagem. Os balancins e cabos devem possuir ART de montagem e as catracas ART de equipamento mecânico.

Na Figura 38 esta apresentada as vigas na cobertura e o balancim 3 na fachada.

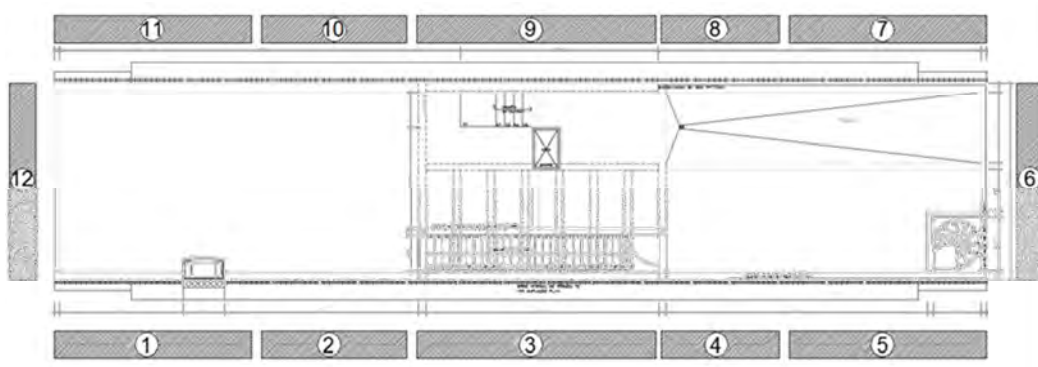


Figura 37 - Distribuição dos balancim pelo perímetro do prédio



Figura 38 - Vigas de sustentação e balancim leve na fachada

#### 4.6.2 Sequencia de execução realizada

Para o estudo de caso em questão, ter uma sequência executiva claramente delineada foi importante para que se respeitasse o prazo previamente estabelecido, o qual já havia sido bastante comprometido pelas alterações de projeto em outras etapas da obra.

A sequência de execução foi iniciada conforme o que havia sido planejada Figura 34. Porém, logo no primeiro balancim começaram a surgir problemas que inviabilizaram essa sequência. Assim, a partir da observação empírica foram realizadas alterações na sequência global de execução, conforme ilustrado na Figura 39.

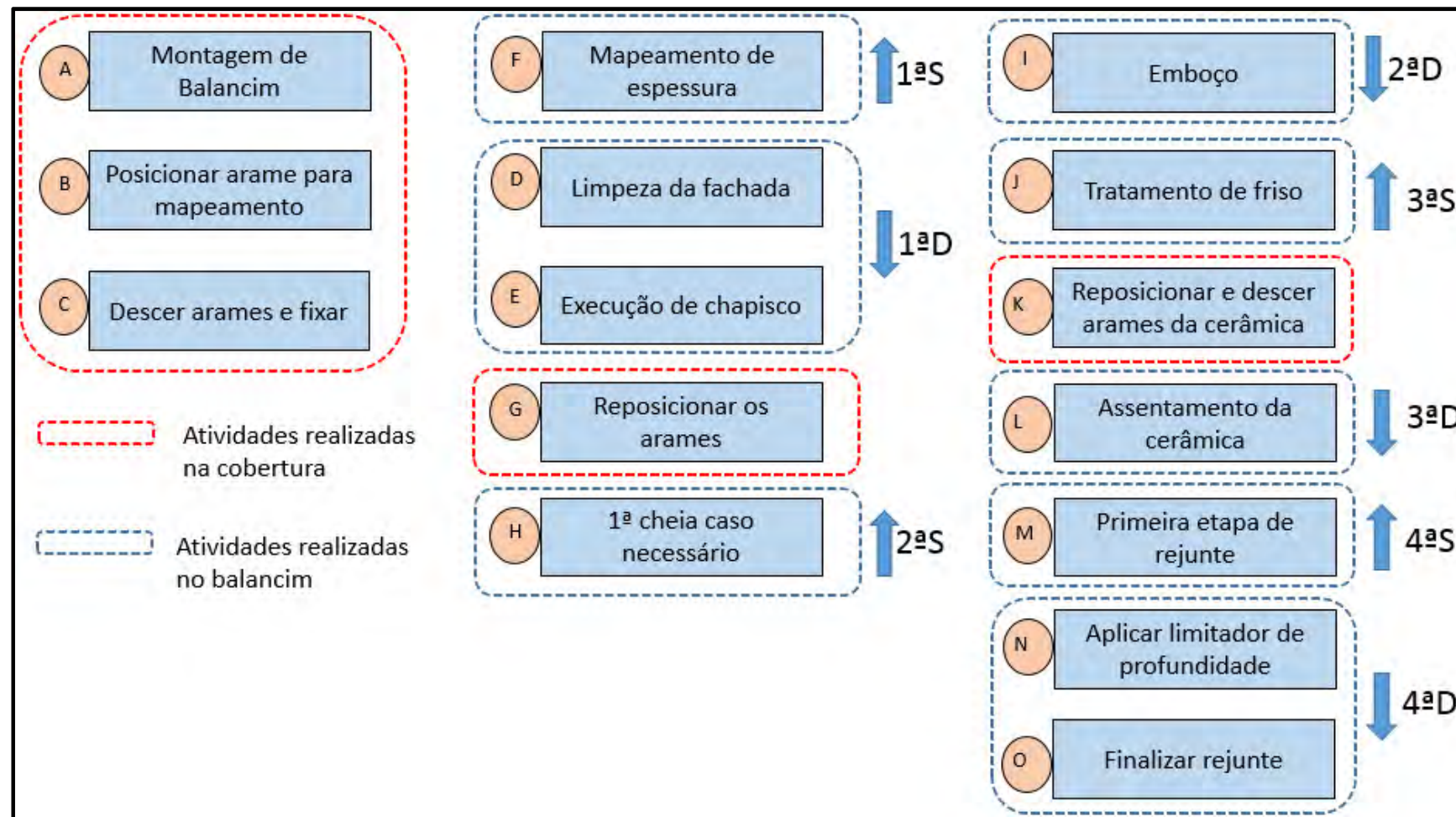


Figura 39 – Sequência de execução realizada



Esta sequência executiva se mostrou bastante eficiente, posto que minimizou a existência de arremates posteriores, garantiu um bom fluxo de execução, - atendendo o prazo estipulado - e, principalmente, levou a um resultado final considerado de muito boa qualidade.

As principais alterações, comparadas ao fluxo inicial, estão expostas a seguir:

**Total de movimentos** – O fluxo planejado previa 3 movimentos de subida e 3 de descida. O fluxo realizado foi com 4 movimentos de subida e 4 de descida.

**1ª Subida** – A realização das atividades D, E, F, G e H na mesma subida, do balancim - como previsto na Figura 34 - se mostrou inviável.

A realização da limpeza da fachada, Figura 40, durante a subida acaba por sujar a parte limpa localizada abaixo.



Figura 40 - Limpeza da fachada

O mapeamento fica comprometido uma vez que a limpeza da fachada pode deslocar o arame de lugar. Devido à importância da atividade de mapeamento o risco de se ter uma medida errada devido a um arame deslocado é inadmissível.

Desta forma, a única atividade realizada na primeira subida foi o mapeamento da fachada, atividade F (os arames foram previamente colocados pela platibanda).

**1ª Descida** – Na primeira descida foi realizada a limpeza da fachada e o chapisco. Nesta etapa também foi feita a escariação dos pontos que o mapeamento apontou o rebaixamento como necessário.

Na execução do chapisco também foi realizado a fixação da alvenaria na face externa.

Esta nova disposição de atividades também possibilitou maior tempo para a equipe da obra analisar o mapeamento e tomar a melhor decisão.

**Etapa G** – Importante retirá-la do fluxo dos balancins pois, na prática, esta atividade não foi executada do balancim e sim diretamente da platibanda. Sempre que for possível, é aconselhável que esta atividade seja realizada a partir da platibanda, pois evita o balanço natural do balancim, que dificulta a precisão necessária para a atividade.

A verificação diária do arame se mostrou de fundamental importância, pois foram observados por mais de uma vez acúmulo de massa próximo aos arames, o que poderia ter alterado a espessura do revestimento, caso não tivesse sido resolvido nas inspeções diárias.

**2ª Subida** – Esta etapa foi dedicada exclusivamente à aplicação da primeira cheia, etapa H, nos pontos que o mapeamento apontou como sendo necessária.

**Etapa J** – A 3ª subida, além de realizar o tratamento dos frisos, também foi aproveitada para o mapeamento da paginação da cerâmica.

Foi entregue para cada pedreiro um croqui da paginação que deveria ser seguida em cada balancim, além de um spray com as cores presentes na prumada em questão. À medida que o pedreiro fosse subindo com o balancim para realizar o tratamento do friso, ele deveria fazer uma marcação com as cores correspondentes à cerâmica que seria assentada em cada ponto.

Desta forma, após a chegada do balancim no topo do prédio, era feita a inspeção visual da paginação a partir do térreo e, havendo a confirmação de que tudo estava correto, a execução da aplicação da cerâmica era liberada.

**Etapa K** – Também retirada do fluxo de balancim por ser uma atividade não realizada a partir dele.

#### 4.7 Exemplo de análise do mapeamento

No Quadro 20, situação real de mapeamento encontrada na obra, o arame foi posicionado a uma distância de 10cm da fachada, conforme pode ser visto na linha “Cobertura” no topo da tabela. A partir desta medida, e entendendo que a

medida ideal de revestimento seria entre 2cm e 3cm, chega-se à seguinte regra para análise dos possíveis valores encontrados no mapeamento:

- Valores de 9cm a 10cm – Representariam espessuras finais entre 2cm e 3cm, respectivamente. Situação ótima.
- Valores entre 8cm e 9cm – Espessuras finais entre 1cm e 2cm. Casos abordados pelas especificações tratadas no Quadro 9.
- Valores abaixo de 8cm – Estariam fora da especificação por não atender espessura mínima.
- Valores de 10cm a 12cm – Espessuras finais entre 3cm e 5cm. Deveriam ser executado em duas camadas com intervalo de 16h entre elas.
- Valores de 12cm a 15cm – Espessuras finais entre 5cm e 8cm. Aplicação em 3 demãos, sendo as 2 primeiras encasquilhadas. O uso de telas metálicas deve ser analisado para este caso.
- Valores superiores a 15cm – Espessuras finais superiores a 8cm. Estes casos exigiriam soluções específicas a serem analisadas juntamente com um projetista de fachada pois, se faz necessária a utilização de pinos e vergalhões engastados quimicamente na alvenaria, e/ou na estrutura, para garantir o suporte deste revestimento.

Importante ressaltar que esse é um apanhado geral para o caso de se adotar 10cm como posicionamento do arame no topo da fachada. Nem todas as situações foram encontradas na prática, mas estão expostas para elucidar a dinâmica do uso da planilha de mapeamento.

De posse da planilha preenchida, o engenheiro da obra deverá fazer a análise técnica e financeira da situação encontrada. Analisando-se se o ponto crítico encontrado é localizado ou se ocorre de forma generalizada na fachada, é possível decidir se se faz necessário o escareamento e enchimentos pontuais ou se se assume uma alteração no posicionamento do arame e a modificação, por consequência, da espessura no pano como um todo.

Para o caso apresentado no Quadro 20, o mapeamento apontou o seguinte:

Verde: Espessura de 3cm

Amarelo: Espessura máxima de 5cm

Vermelha: Espessura máxima de 7cm

Mapeamento de Fachada						
		BALANCIM 01				
		Distância ao arame				
		ARAMES Nº				
		1	2	3	4	N
Cob.	ALVENARIA	10	10	10	10	10
	ESTRUTURA	10	10	11	11	11
13º	ALVENARIA	10	11	11	11	11
	ESTRUTURA	11	11	11	11	11
12º	ALVENARIA	12	12	12	12	12
	ESTRUTURA	12	11	12	12	12
11º	ALVENARIA	10	12	12	12	12
	ESTRUTURA	12	12	11	12	12
10º	ALVENARIA	12	12	12	10	12
	ESTRUTURA	12	10	12	12	12
09º	ALVENARIA	12	10	12	10	12
	ESTRUTURA	10	12	12	10	12
08º	ALVENARIA	12	10	12	10	12
	ESTRUTURA	10	12	10	10	12
07º	ALVENARIA	12	10	12	12	12
	ESTRUTURA	12	12	12	10	12
06º	ALVENARIA	10	12	10	12	12
	ESTRUTURA	12	12	12	12	12
05º	ALVENARIA	14	14	14	13	13
	ESTRUTURA	14	14	13	13	13
04º	ALVENARIA	14	14	14	14	13
	ESTRUTURA	15	15	15	15	14
03º	ALVENARIA	12	12	13	13	12
	ESTRUTURA	13	12	12	12	13
02º	ALVENARIA	10	12	12	12	12
	ESTRUTURA	13	12	12	12	12

Quadro 20 - Situação real de mapeamento

Diante destes resultados, optou-se por passar a região verde para 2cm, valor admissível para fachada, e assim as áreas amarela e vermelha passaram para espessura máxima de 4cm e 6cm, respectivamente. A região amarela foi executada em 2 demãos, e a região vermelha em 3 demãos.

#### 4.8 Logística de abastecimento

O primeiro passo para a determinação de toda a logística de abastecimento da produção, desde a chegada dos insumos no canteiro, passando pelo preparo

até a disponibilização no ponto de aplicação, teve como principal mandatário o espaço disponível no canteiro.

O canteiro de obra não permitia a entrada de caminhões basculantes, portanto a entrega de material a granel, no caso a areia, não era uma hipótese viável.

A instalação de silos no térreo também foi inviabilizada pela mesma dificuldade de entrega de material a granel, que aliada à falta de espaço e ao volume a ser utilizado, não se justificava a implementação desta solução no canteiro.

A decisão foi partir para o uso da argamassa industrializada ensacada. Os material escolhido após realização de ensaio de aderência à base foram:

Argamassa colante ACIII – Votorantim

Chapisco para concreto – Votorantim

3201 Chapisco para Alvenaria - Votorantim

A localização da central de preparo da argamassa foi definida a partir da análise da arquitetura do prédio e também por fatores de cronograma e comerciais.

- a) **Arquitetura:** O 12º, 13º não possuem fechamento em alvenaria, todo ele será feito em caixilhos. Desta forma, o consumo de argamassa nestes dois andares é mínimo, sendo aplicado apenas nos pilares e vigas.
- b) **Cronograma:** A cobertura, com serviços de impermeabilização, piscina e decks de madeira, configurava uma etapa do caminho crítico no cronograma. Com isso, a situação de instalação de uma central de preparo de argamassa nesta posição iria impactar no cronograma geral da obra, pois, todo o trabalho na parte central, livre dos balancins, estaria também comprometida.
- c) **Comercial:** Os andares 12º e 13º, referente à unidade 131, estava passando por alterações de projeto quanto ao seu layout. Esta situação acabou fazendo com que a unidade fosse retirada do lote de vendas num primeiro momento.

Através da análise dos itens a, b e c precedentes, decidiu-se pela instalação da central de preparo de argamassa no 12º andar.

O transporte vertical da argamassa é feito por elevador de carga.

Para a mistura da argamassa utilizou-se um misturador de eixo horizontal com capacidade de 160kg de argamassa, numa taxa de produção máxima de 3200Kg/h. Este equipamento foi escolhido pela sua capacidade de produção em atender o planejamento pretendido pela gerência de produção, baseando-se no trabalho de 12 balancins simultâneos. A Figura 41 é a foto ilustrativa de misturador de eixo horizontal.



Figura 41 - Misturador de eixo horizontal

Após a produção da argamassa, a mesma era encaminhada até os pontos de consumo, ou seja os balancins, por um sistema de dutos verticais por onde esta argamassa é conduzida por gravidade. No topo dos dutos são instalados funis para facilitar o abastecimento de massa para os dutos, Figura 42.



Figura 42 - Funil para abastecimento de argamassa pelo duto

A argamassa colante utilizada no assentamento da cerâmica foi do tipo ACIII. Os sacos eram distribuídos diretamente nos andares e o preparo realizado em caixotes. Os mesmos ajudantes que realizavam o preparo da argamassa abasteciam o balancim através das janelas.

## **5 Principais Diretrizes de projeto de revestimento**

Conforme abordado na introdução deste trabalho, a falta de um projeto de revestimento é a principal causa da dificuldade enfrentada para a execução da fachada.

Isso posto, como fechamento deste trabalho, seguem-se nos Quadro 21, Quadro 22 e Quadro 23 um apanhado de itens e procedimentos que devem ser observados para a criação de um projeto de revestimento em obras futuras. Tratam-se das principais diretrizes a ser seguidas para que seja obtido um projeto tanto geométrico - paginação, posicionamento de juntas, espessuras - quanto de produção do revestimento - sequencia, sistema de abastecimento, logística.

<b>Análise projeto de Arquitetura</b>	
<b>Item</b>	<b>Verificação</b>
<b>Previsão de frisos e juntas</b>	<p>Verificar se estão previstas juntas ou frisos. Analisar e propor inclusão de juntas de trabalho e/ou alterações de frisos em juntas de trabalho de acordo com:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Juntas horizontais a cada pavimento e verticais a cada 6m, para painéis superiores a 24m<sup>2</sup></li> <li>• Preferencialmente no encontro da alvenaria com a estrutura</li> <li>• No encontro com 2 tipos de revestimento</li> <li>• Acompanhando as juntas de trabalho do substrato</li> <li>• Acompanhando as juntas estruturais</li> </ul>
<b>Materiais de revestimento</b>	<p>Determinar com o arquiteto as especificações técnicas dos revestimentos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material</li> <li>• Cor</li> <li>• Dimensões</li> </ul>
<b>Espessuras</b>	<p>As espessuras de cada camada do revestimento e também as espessuras finais do revestimento, para o caso de haver mais um tipo de revestimento devem estar alinhadas com:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Detalhes arquitetônicos</li> <li>• Planos de revestimento. Diferentes espessuras são consideradas, formando-se planos diferentes numa mesma prumada ou as espessuras finais devem ser igualadas</li> <li>• Posicionamento dos contramarcos dos caixilhos</li> </ul>
<b>Peitoris</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar a previsão de pingadeiras e peitoris.</li> <li>• Propor utilização de peitoris e pingadeiras em regiões de acúmulo de sujeira com possível efeito negativo na estrutura por virtude de chuvas carreando esta sujeira para a fachada</li> </ul>
<b>Quantitativo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Checar quantitativo de material para cada revestimento</li> <li>• Levantar quantitativo de mão de obra*</li> </ul> <p>* Usualmente, para o quantitativo de mão de obra as seguintes considerações são adotadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vãos menores que 2m<sup>2</sup> = Considera-se que o vão não existe e paga se vão cheio.</li> <li>- Vãos entre 2 e 4m<sup>2</sup> = Paga-se 50% do vão.</li> <li>- Vãos acima de 4m<sup>2</sup> = Desconta-se 100% do vão e paga-se as faixas do requadro</li> <li>- Faixas = Panos em que uma das dimensões é menor que 0,50m.</li> </ul> <p>As considerações de vão são adotadas devido ao trabalho que o pedreiro tem de se realizar os requadros dos vãos.</p>

Quadro 21 - Analise quando aos projetos de arquitetura



<b>Proposta de Projeto Geométrico</b>	
<b>Item</b>	<b>Verificação</b>
<b>Espessuras recomendadas para revestimento de argamassa</b>	<p>Espessura ideal de revestimento de argamassa 2cm a 3cm</p> <p>Espessuras mínimas admitidas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Concreto em pontos localizados: 1,0cm</li> <li>• Alvenaria em pontos localizados: 1,5cm</li> <li>• Concreto em regiões extensas: 1,5cm</li> <li>• Alvenaria em regiões extensas: 2,0cm</li> </ul> <p>Considerações quanto a espessuras superiores a ideal</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entre 3 e 5 cm: Aplicação em duas demãos, com intervalo mínimo entre elas de 16h</li> <li>• 5 a 8cm: Aplicação em 3 demãos, sendo as 2 primeiras encasquilhadas. O uso de telas metálicas deve ser analisado para este caso.</li> <li>• Espessuras superiores a 8cm: Deve ser analisado juntamente com o projetista uma solução que pode envolver meios de ancoragem físicas e químicas.</li> </ul>
<b>Posicionamento de juntas de trabalho</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Juntas horizontais a cada pavimento e verticais a cada 6m, para painéis superiores a 24m<sup>2</sup></li> <li>• Preferencialmente no encontro da alvenaria com a estrutura</li> <li>• No encontro com 2 tipos de revestimento</li> <li>• Acompanhando as juntas de trabalho do substrato</li> <li>• Acompanhando as juntas estruturais</li> <li>• Abertura e profundidade</li> <li>• Diâmetro do limitador de profundidade</li> <li>• Caracterização e determinação do tipo de selante</li> </ul>
<b>Especificação dos materiais</b>	<p>Análise dos materiais escolhidos pela arquitetura sobre os critérios de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Absorção de água. Valor deve ser menor que 3% para locais com temperatura de congelamento e menor que 6% para demais localidades.</li> <li>• Dilatação térmica: Valores devem ser entre <math>4</math> e <math>8 \times 10^{-6}</math> mm/m/°C</li> <li>• Módulo de elasticidade: Atenção quanto ao uso de materiais com alto valor de módulo, acima de 40GPa. Estes necessitam de maior números de juntas de trabalho.</li> </ul>

Quadro 22 - Desenvolvimento do projeto geométrico

<b>Proposta de Projeto de Produção</b>	
<b>Item</b>	<b>Verificação</b>
<b>Produção da Argamassa</b>	<p>Para argamassa produzida na obra:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir traço padrão</li> <li>• Definir procedimento de dosagem</li> <li>• Treinar equipe para dosagem</li> <li>• Montar central de dosagem</li> <li>• Definir procedimento para checagem da qualidade da areia no momento da entrega</li> </ul> <p>Para ambas as argamassas, produzidas em obra ou industrializadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir local de estocagem</li> <li>• Definir local da central de preparo da argamassa</li> <li>• Definir sistema de transporte dos ensacados até a central de preparo da argamassa</li> <li>• Definir sistema de abastecimento do ponto de aplicação</li> </ul>
<b>Sequencia de execução</b>	Adotar sistema de produção de acordo com o fluxo da Figura 39
<b>Itens de controle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Garantir que os períodos de cura da estrutura e de permanência do escoramento sejam respeitados</li> <li>• Seguir a indicação de realizar a fixação da alvenaria somente quando houver pelo menos outros quatro de alvenaria executados acima. Estar com o contrapiso executado nos andares superiores também é desejável.</li> <li>• Garantir planicidade do revestimento de argamassa. Tolerância de 3mm</li> <li>• Nivelamento dos frisos e juntas. Medido entre as extremidades com mangueira de nível com tolerância de 3mm</li> <li>• Requadração de vãos de caixilhos. Checar caimentos e folga de 5mm para entrada do caixilho.</li> <li>• Para trechos com previsão de pintura checar existência de fissuras ou esfrelamento</li> <li>• Garantir alinhamento vertical e horizontal das peças cerâmicas</li> <li>• Acompanhar paginação determinada no projeto</li> <li>• Checar a existência de ressaltos nos encontros de peças</li> <li>• Conferir rejunte. Não deve haver falhas ou excessos</li> <li>• Checar se as juntas de movimentação estão bem seladas e se o selante esta com aspecto homogêneo, sem imperfeições ou excessos</li> <li>• Checar limpeza dos contramarcos quanto a argamassa de assentamento e rejunte</li> <li>• Verificar resistência da cerâmica ao arrancamento <math>\geq 0,30\text{MPa}</math></li> </ul>

Quadro 23 - Desenvolvimento do projeto de produção

## 6 Fotos do edifício

As figuras 43, 44 e 45 mostram o aspecto final da fachada após o término da obra.

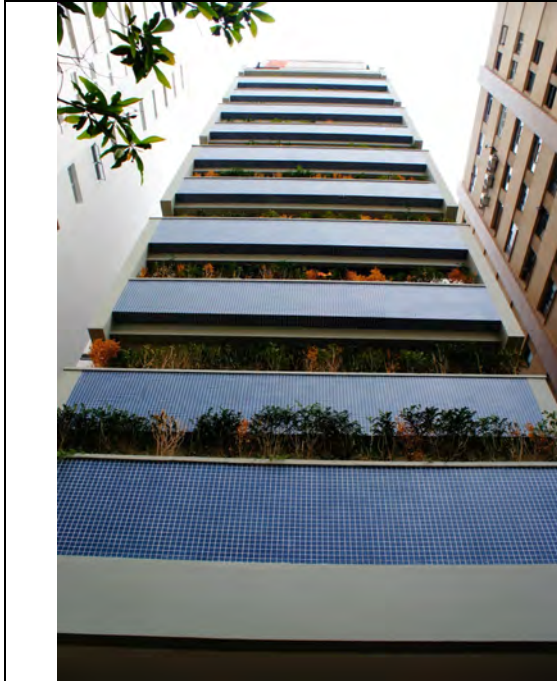


Figura 43 - Vista frontal



Figura 44 - Vista lateral esquerda



Figura 45 - Vista lateral direita

## 7 Conclusão

Após o término da execução dos serviços da fachada, analisando-se as demandas que foram geradas durante o período de execução quanto a replanejamentos, alteração de materiais de revestimento, riscos de atraso de cronograma e de perda da qualidade e toda a demanda de equipe gerada por estes riscos ficou clara a importância que deveria ter sido dada à etapa da execução de fachada ainda no período de pré-obra.

Desta forma, este estudo de caso fica como exemplo da dificuldade que a falta de um estudo prévio e o não desenvolvimento de um projeto detalhado pode gerar ao desenvolvimento da execução e do revestimento de argamassa e cerâmica, bem como em problemas durante a sua vida útil.

A importância de se controlar as etapas de estrutura e alvenaria fica evidenciada no problema de aumento de espessura ocorrido em alguns pontos da fachada em decorrência de falhas nestas duas etapas, conforme evidenciado no mapeamento apresentado no Quadro 20.

E por fim, são propostas as diretrizes de projeto, que são um apanhado geral de como se determinar um projeto de revestimento de argamassa e cerâmica e de como executá-lo da melhor forma numa situação em que não haja um projeto específico pré-desenvolvido.

## Referências Bibliográficas

NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: especificação. Rio de Janeiro, 2013.

NBR 13181: Placas cerâmicas para revestimento: especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 1997.

NBR 14.081-1: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas Parte 1: Requisitos Rio de Janeiro, 2012.

Baía, L.L.M; Sabbatini, F.H. Projeto e execução de revestimento de argamassa. 83p. Nome da Rosa, São Paulo, 2002.

MEDEIROS, J.S. Tecnologia e projeto de revestimento cerâmicos de fachadas de edifícios. Tese (Doutorado). 457p. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

RIBEIRO, A.R.; BARROS, M.M.S.B. Juntas de movimentação em revestimentos cerâmicos de fachadas. 142p. Pini, São Paulo, 2010.