

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

Dissertação de Mestrado

**ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA EM SACOS  
VERSUS ARGAMASSA PRODUZIDA NO CANTEIRO  
DE OBRA: LOGÍSTICA, CUSTO E DESEMPENHO DO  
MATERIAL APLICADO**

Autor: Leonardo Calcagno Ribas

Orientador: Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Belo Horizonte

2008

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Leonardo Calcagno Ribas

**ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA EM SACOS  
VERSUS ARGAMASSA PRODUZIDA NO CANTEIRO  
DE OBRA: LOGÍSTICA, CUSTO E DESEMPENHO DO  
MATERIAL APLICADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Área de concentração: Construção Civil

Orientador:

Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Belo Horizonte

2008

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Escola de Engenharia**  
**Programa de Pós-Graduação em Construção Civil: Materiais de Construção**

Dissertação intitulada “Argamassa industrializada em sacos versus argamassa produzida no canteiro de obra: logística, custo e desempenho do material aplicado”, de autoria do mestrando Leonardo Calcagno Ribas, defendida em 07 de abril de 2008 e submetida à banca examinadora constituída pelos professores:

---

**X**

---

Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior  
Orientador-Escola de Engenharia/UFMG

---

**X**

---

Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva  
Escola de Engenharia/UFMG

---

**X**

---

Prof. Dr. Eduardo Romeiro Filho  
Escola de Engenharia/UFMG

---

**X**

---

Prof. M. Sc. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco  
FEA/FUMEC

## AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente a Deus, porque é Dele que me vem à mansidão, o amor e toda a minha força para a conquista de tudo que necessito, tornando a felicidade um alvo possível a ser alcançado.

Aos meus pais, Aloísio e Alcione, por todo apoio que têm me dado, sendo isso primordial para as primeiras grandes conquistas, além da paciência para comigo.

Ao meu pai em especial, como um ótimo profissional de engenharia civil que ele é, agradeço por tudo que me ensinou no setor da construção civil, pois é graças a ele que aprendi muito na minha vida profissional.

À minha irmã, por ter sempre me apoiado em muitas das minhas idéias.

À minha madrinha Aparecida, por ser para mim um claro instrumento de Deus, conduzindo-me a Ele.

Ao Prof. Antônio Neves de Carvalho Júnior, por confiar plenamente em minha capacidade profissional, por contribuir para que eu ampliasse os meus conhecimentos na área de materiais e pela amizade sincera.

Ao Prof. Paulo Roberto Gomes Brandão do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas – CPGEM. EE.UFMG, em separado por não ser membro do DEMC, por proporcionar uma oportunidade para que eu me aprofundasse mais ainda no assunto sobre comportamento dos materiais.

Ao Departamento de Materiais e Construção da Universidade Federal de Minas Gerais, na pessoa de todos os professores, sem exceção, que colaboraram para que eu aumentasse os meus conhecimentos na área da construção civil e materiais, além de todos os funcionários que colaboraram direta e indiretamente para a conclusão deste trabalho.

Às construtoras que abriram seus canteiros de obra para a realização deste trabalho, e que, por razões éticas, não serão identificadas.

## RESUMO

No cenário mundial, a indústria da construção civil ocupa posição de atraso em relação aos aspectos organizacionais e de controle de seus processos produtivos se comparada à indústria seriada. Para se tirar conclusões em termos de custo de produção, desempenho logístico e do material, foi feito um estudo comparativo entre as argamassas rodadas no canteiro e as industrializadas ensacadas utilizadas para revestimento de reboco de edifícios. As argamassas rodadas no canteiro de obras apresentaram os melhores e piores resultados no quesito resistência de aderência, avaliado através de teste de arrancamento, denotando a maior variabilidade e incerteza deste procedimento. Já no aspecto custo dos materiais e da mão de obra para produção e aplicação, a argamassa rodada no canteiro apresentou o melhor resultado (observando-se a não inclusão nesta análise do custo logístico, devido a elevada dificuldade de sua apropriação face as peculiaridades de cada obra). Apesar de não ter sido possível quantificar o custo logístico da produção das argamassas, ficou evidente que a argamassa industrializada ensacada, embora associada ao maior custo do produto, pode vir a reduzir o custo de produção e o risco de falhas produtivas (que geram desperdício e retrabalhos), sendo sua utilização associada a ganhos potenciais produtivos.

Palavras-chave: argamassa industrializada, argamassa rodada em canteiro, cadeia de suprimentos, logística, construção enxuta.

## ABSTRACT

In the world-wide scene, the industry of the civil construction occupies position of delay in relation to the organizational aspects and of control of its productive processes if compared with the serial industry. To take off conclusions in terms of production cost, logistic performance and of the material, was made a comparative study between local mixed mortars in constructions and the industrialized in bag ones for finishing coat of buildings. Local mixed mortars had presented the best and the worse performances in the question of the bond strength, evaluated through pull-off tests, denoting the biggest variability and uncertainty of this procedure. In relation of cost of the materials and the man power for production and application, the local mixed mortar presented the best performance (observing it not inclusion in this analysis of the logistic cost, had the raised difficulty of its appropriation face the peculiarities of each workmanship). Although not to have been possible to quantify cost logistic of mortar production, was evident that the industrialized mortar in bags, even so associated to the biggest cost of the product, can come to reduce the cost of production and the risk of productive imperfections (that they generate wastefulness and reworks), being its use associated to the productive potential profits.

Keywords: industrialized mortar, local mixed mortars, supply chain, logistic, lean construction.

## SUMÁRIO

<b>I</b>	<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>II</b>	<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>III</b>	<b>LISTA DE NOMENCLATURAS.....</b>	<b>xii</b>
<b>1</b>	<b>JUSTIFICATIVAS.....</b>	<b>01</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>02</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVO.....</b>	<b>08</b>
<b>4</b>	<b>LOGÍSTICA APLICADA À CONSTRUÇÃO CIVIL.....</b>	<b>09</b>
4.1	PROJETO DE PRODUÇÃO.....	09
4.2	O PLANEJAMENTO PRODUTIVO E A TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E SUAS FERRAMENTAS.....	13
4.3	A EVOLUÇÃO LOGÍSTICA.....	20
4.4	A GESTÃO INTEGRADA DA CADEIA DE SUPRIMENTOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	23
4.5	AS FUNÇÕES LOGÍSTICAS NA CADEIA DE SUPRIMENTOS E SEUS FATORES DETERMINANTES.....	28
4.6	A TÉCNICA “JUST-IN-TIME” APLICADA À LOGÍSTICA.....	37
4.7	PECULIARIDADES DO SISTEMA PRODUTIVO DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	40
4.8	A NOVA ORDEM NO RELACIONAMENTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	42
4.9	A TERCEIRIZAÇÃO DE PRODUTOS E SERVIÇOS.....	49
4.10	QUALIDADES LOGÍSTICAS E DO PRODUTOS SEGUNDO MEDIÇÕES .....	54
4.10.1	O DESEMPENHO LOGÍSTICO.....	55
4.10.2	O DESEMPENHO DO PRODUTO.....	61
4.10.3	ENSAIO DE ARRANCAMENTO NA ARGAMASSA DE REBOCO.....	66
4.11	FATORES PROPULSORES DO MERCADO IMOBILIÁRIO.....	67
<b>5</b>	<b>ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO DE REBOCO QUANTO AOS MATERIAIS COMPONENTES.....</b>	<b>70</b>
5.1	ARGAMASSAS.....	70
5.2	OS MATERIAIS UTILIZADOS NA ARGAMASSA.....	71

5.2.1	Os agregados para argamassa.....	71
5.2.2	O cimento.....	76
5.2.3	A Cal.....	102
5.2.4	Água de amassamento.....	114
5.2.5	Aditivos.....	117
5.2.6	Adições.....	125
<b>6</b>	<b>COMPARATIVO LOGÍSTICO ENTRE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO DE REBOCO RODADA EM CANTEIRO DE OBRA E A INDUSTRIALIZADA EM SACOS – ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>127</b>
6.1	OBJETIVO.....	127
6.2	METODOLOGIA.....	127
6.3	COMPREENSÃO DOS PROCESSOS.....	128
6.4	RECEBIMENTOS DOS MATERIAIS.....	132
6.5	ARMAZENAMENTO DOS MATERIAIS.....	135
6.6	MEDIÇÃO DOS MATERIAIS.....	136
6.7	MISTURA DA ARGAMASSA.....	138
6.8	TRANSPORTE DOS MATERIAIS E LOCAL DE PREPARO DAS ARGAMASSAS.....	139
6.9	RENDIMENTO E CUSTO.....	141
6.10	ENSAIO DE ARRANCAMENTO.....	146
	6.10.1 Procedimentos para realização e análise dos resultados.....	146
	6.10.2 Quadros de resultados dos ensaios de arrancamento.....	148
6.11	AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO LOGÍSTICO.....	149
6.12	RESUMO DOS RESULTADOS FINAIS.....	152
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>153</b>
<b>8</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>155</b>
<b>9</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>156</b>

## I - LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Flexibilidade e custo de alteração no projeto.....	09
FIGURA 2 - Cadeia de suprimentos da indústria seriada - logística com estrutura escalonada.....	26
FIGURA 3 - Cadeia de suprimentos na construção civil - logística com estrutura escalonada.....	27
FIGURA 4 - Análise de perdas e ganhos no nível de serviço no custo total em diversos cenários.....	32
FIGURA 5 - Ciclos de atividades ou de desempenho logístico.....	34
FIGURA 6 - Fluxos logísticos na cadeia de suprimentos integrada da construção civil.....	36
FIGURA 7 - Fluxograma dos processos para argamassa mista rodada na obra “A”.....	129
FIGURA 8 - Fluxograma dos processos para argamassa mista rodada na obra “C”.....	129
FIGURA 9 - Fluxograma dos processos para argamassa industrializada em sacos da obra “B” .....	130
FIGURA 10 - Fluxograma dos processos para argamassa mista preparada em obra - diferente das obras estudadas.....	131
FIGURA 11 - Transporte horizontal de argamassa industrializada com carrinho plataforma.....	134
FIGURA 12 - Sistema de descarga e armazenamento de areia industrial da obra “A”.....	135
FIGURA 13 - Transporte da argamassa fresca para os andares superiores.....	140

## II - LISTA DE TABELAS

TABELA 1- Componentes de um modelo logístico de gestão.....	39
TABELA 2- Medidas de desempenho típicas para a indústria seriada.....	57
TABELA 3 - Influência das características granulométricas das areias nas propriedades das argamassas de assentamento.....	73
TABELA 4 - Reações químicas no forno rotativo para obtenção do clínquer do cimento Portland.....	78
TABELA 5 - Influência de variação do teor de óxidos no teor de compostos.....	79
TABELA 6 – Características dos principais componentes do clínquer Portland obtido no forno rotativo.....	82
TABELA 7 - Tipos de cimento Portland comercializados no Brasil em função de suas composições.....	94
TABELA 8 - Exigências físicas dos cimentos segundo as normas brasileiras.....	100
TABELA 9- Exigências químicas dos cimentos segundo as normas brasileiras.....	101
TABELA 10 - Variação das propriedades com origem na variação da proporção de utilização do aglomerante cal (argamassa de cimento, cal e areia).....	108
TABELA 11 - Exigências químicas.....	111
TABELA 12 - Exigências físicas.....	111
TABELA 13 – Controles de recebimento de materiais.....	133
TABELA 14 - Ensaio de rendimento feitos em laboratório da argamassa industrial.....	142
TABELA 15 - Ensaio de rendimento feitos em laboratório.....	143
TABELA 16 - Preço unitário de produção e aplicação da argamassa rodada no canteiro utilizada pela obra “A”.....	145
TABELA 17 - Preço unitário de produção e aplicação da argamassa industrial utilizada pela obra “B”.....	145
TABELA 18 – Preço unitário de produção e aplicação da argamassa rodada no canteiro utilizada pela obra “C”.....	146
TABELA 19 - Resultados dos ensaios de arrancamento da obra “A”.....	148
TABELA 20 - Resultado do ensaio de arrancamento da obra “B”.....	148
TABELA 21- Resultado do ensaio de arrancamento da obra “C”.....	149
TABELA 22 – Quadro avaliatório da logística de canteiro das obras estudadas.....	150
TABELA 23 - Quadro de resumo de resultados.....	152

### III - LISTA DE NOMENCLATURAS

ABML	Associação Brasileira de Movimentação e Logística
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CH-I	Cal hidratada tipo I
CH - II	Cal hidratada tipo II
CH - III	Cal hidratada tipo III
Cl <sup>-</sup>	Cloretos expressos em íons
CP II-E	Cimento Portland composto, com a adição de escória granulada de alto forno (Classes de resistências à compressão de 25, 32 ou 40 MPa)
CP III	Cimento Portland de alto-forno com escória (Classes de resistências à compressão de 25, 32 ou 40 MPa)
CP I	Cimento Portland comum (Classes de resistências à compressão de 25, 32 ou 40 MPa)
CP I - S	Cimento Portland comum (Classes de resistências à compressão de 25, 32 ou 40 MPa)
CP II - Z	Cimento Portland composto, com a adição de material pozolânico (Classes de resistências à compressão de 25, 32 ou 40 MPa)
CP II-F	Cimento Portland composto, com a adição de material carbonático – filer ou mineral moído – (Classes de resistências à compressão de 25, 32 ou 40 MPa)
CP IV	Cimento Portland pozolânico – (Classes de resistências à compressão de 25 ou 32 MPa)
CP V ARI	Cimento Portland CP V ARI (Alta resistência inicial)
$C_3S - 3CaO \cdot SiO_2$	(Alita - Silicato tricálcico)
$C_2S - 2CaO \cdot SiO_2$	(Belita - Silicato dicálcico)

$C_4AF - 4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$  (Brownmillerita - Ferroaluminato tetracálcico)

$C_3A - 3CaO.Al_2O_3$  ( Celita - Aluminato tricálcico)

$Ca(OH)_2$  Hidróxido de cálcio.

$CaO$  Cal virgem ou Cal livre ou Cal viva

$CaCO_3$  Carbonato de cálcio - (Pedra calcária)

CLM Council Logistic Management ( Conselho de administração logística )

C-S-H Silicato de cálcio hidratado

CP Corpo de prova

CPM Critical path method (método do caminho crítico)

DRX Difração de raios-x

EDS Espectrômetro de dispersão de energia de raios-x

EDI Electronic data interchange (intercâmbio eletrônico de dados)

ERP Enterprise resource planning (planejamento de recursos empresariais)

ECR Efficient consumer response (resposta eficiente ao consumidor)

FRX Fluorescência de raios x

GQT Gestão da qualidade total

$H_2O$  Água

IBRACON Instituto Brasileiro do Concreto Armado.

JIT- Just-in-time (Sistema sincronizado de produção).

$K_2O$  Óxido de potássio (álcalis)

LIB Lean Institute Brasil

RFID Radio frequency identification (tecnologia de identificação por etiquetas inteligentes por radiofrequência)

MEV Microscopia eletrônica de varredura

MRP	Materials requirements planning ( planejamento das necessidades de materiais)
MRPI	Materials requirements planning ( planejamento das necessidades de materiais por meio de softwares)
MRPII	Manufacturing resource planning (planejamento dos recursos empresariais por meio de softwares)
Na <sub>2</sub> O	Óxido sódio (álcalis)
PERT	Program evaluation and review technique (técnica de revisão e avaliação de programa)
RS	Cimento Portland RS (Resistente a sulfatos)
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Sulfatos (expressos em íons)
TI	Information technology (tecnologia da informação)
WEB ou WWW	World wide web (rede de alcance mundial)
WMS	Warehousing management system (sistema de gerenciamento de armazéns)

## **CAPÍTULO 1 - JUSTIFICATIVAS**

O planejamento e o controle dos processos produtivos são imprescindíveis para o sucesso de um empreendimento, atendendo aos prazos de execução dos serviços de acordo com a disponibilidade financeira prevista. Quando isso é feito respeitando a qualidade técnica dos serviços no canteiro de obras, se torna possível a execução de uma edificação com o aumento da sua durabilidade aliada à redução do seu custo produtivo, podendo assim originar um orçamento mais adequado.

A enorme carência na área de gestão e logística nos canteiros de obras devido à falta de conhecimento técnico do profissional de engenharia civil acerca desse assunto, tendo grande parcela de culpa a pouca importância dada a essa área e muitas vezes a inexistência de disciplinas que abordam sobre esse tema na graduação, embora ele seja de grande relevância e muito ligado ao custo e prazo das construções civis, foi a grande motivação deste trabalho dissertativo.

## CAPÍTULO 2 - INTRODUÇÃO

A logística surgiu e foi amplamente utilizada durante a segunda guerra mundial, para assegurar de que os insumos, como por exemplo, as tropas, os equipamentos bélicos, os suprimentos e víveres estivessem posicionados nos lugares e nos momentos certos para as suas utilizações.

A produção enxuta ou “lean production” surgiu na Toyota, em 1950, contrastando com os antigos métodos de produção em massa que vinham sendo praticados. Esse novo método de produção enxuta, segundo o Lean Institute Brasil (LIB), colaborava para diminuição dos gastos com recursos humanos, pela exigência de menores espaços para produção e armazenamento de materiais, para redução do tempo de produção, resultando em produtos com maiores variedades, em menores volumes, com menos defeitos e de acordo com as especificações precisas dos desejos dos clientes.

Então, com os avanços tecnológicos e de comunicação ocorridos em consequência da guerra, as grandes pressões para a redução de custo e prazo de produção e as alterações nos padrões do produto acabado e exigências dos consumidores mostraram que a logística integrada desenvolvida para fins militares tinha extrema afinidade com as atividades industriais, passando a ser utilizada como uma estratégia capaz de criar dentro das empresas uma sincronização entre todas as suas atividades.

Na década de 90, muitos pedidos de mercadorias eram feitos por telefone, fax, intercâmbio eletrônico de dados (“Electronic data interchange” - EDI) ou correio público. Em seguida, os pedidos eram processados com o uso de sistemas manuais ou computadorizados, seguidos de uma autorização de crédito e transmissão do pedido a um depósito para o processamento. Finalmente havia o embarque do produto para o cliente. O “lead-time”, que é o tempo médio para atender ao pedido de um cliente, era longo. Isso se não ocorressem alguns problemas, tais como: falta de estoque, uma ordem de serviço perdida ou preenchida de forma errada, ou ainda um embarque de um produto para um local errado, o que ocorriam com frequência, aumentando ainda mais o tempo total para atendimento ao pedido (BOWERSOX; COOPER; CLOSS, 2007).

Essas falhas de gerenciamento e planejamento eram camufladas pelos altos níveis de estoque de materiais e componentes realizados pelos varejistas, atacadistas e fabricantes. Apesar disso, devido ao grande número de variações nos produtos, a falta de estoque e os atrasos nas entregas eram ainda comuns.

Então, ainda durante a década de 90, conforme constatam Bowersox et. alii, op. cit., com o advento do computador, se criou uma conectividade ainda maior entre as empresas que impulsionou uma nova ordem de relacionamentos denominada gestão da cadeia de suprimentos, com o conseqüente fortalecimento logístico. Essa nova forma de atuar no mercado foi desenvolvida para reduzir os custos de produção com a racionalização dos estoques, transportando-os e posicionando-os no momento e no lugar certo, por meio da logística, ao longo da cadeia de suprimentos. Com isso, o processo de produção tornou-se mais eficaz, além dos produtos passarem a atender melhor às constantes mudanças de perfil do consumidor.

As operações da cadeia de suprimentos exigem processos gerenciais que atravessam as áreas funcionais de cada empresa e conectam parceiros comerciais e clientes para além das fronteiras organizacionais da empresa. Por isso, houve uma evolução da cadeia de suprimentos que consistiu no aumento do nível de colaboração entre empresas que se inter-relacionavam nessa cadeia, dando um enfoque estratégico na sua gestão.

Atualmente, com o advento da maior rede de computadores, a internet, e conseqüentemente o surgimento da globalização, os mercados regionais abriram as fronteiras da competição para o mundo, surgindo um mercado globalizado, com consumidores bem mais informados e exigentes do que no passado. Assim cresceu-se a busca por serviços e produtos com melhores qualidades e preços, além de aumentar ainda mais o mix de produtos, ou as suas variedades oferecidas, surgindo então à necessidade de atender a consumidores específicos, antes sempre relegados a um segundo plano. Ainda se isso tudo não bastasse, os melhores prazos de entrega dos produtos também passaram a fazer parte dos itens de exigências dos consumidores.

Então, de acordo com Novaes (2007), Vieira (2006) e Bowersox et alii, op. cit., a indústria seriada, a qual esteve até então sempre à frente da indústria da construção civil, passou a se concentrar em suas atividades específicas, terceirizando as demais, a fim de se obter produtos finais com melhores qualidades e preços bem mais competitivos do que antes. E o grande propulsor disso tudo foi a tecnologia da informação (“information technology” - TI) utilizada em larga escala, facilitada pela tecnologia de computadores já bem desenvolvida. É bom atentar-se para o fato de que antes do surgimento da TI, os fluxos de informações, quando registrados, eram realizados por meio de processos manuais, que eram muito burocráticos e ineficientes, além de muito susceptíveis a erros. Isso quando as informações não eram perdidas devido à falta de registros dos procedimentos adotados nas operações e das soluções eficazes de problemas em geral.

“A TI é a tecnologia que envolve a introdução, armazenamento, processamento e distribuição da informação por meios eletrônicos, compreendendo a computação (hardware e software), a eletrônica, a automação e os meios de telecomunicação” (VIEIRA, op. cit.).

Além disso, ainda de acordo com Novaes, op. cit., Vieira, op. cit., e Bowersox et alii, op. cit., foi preciso estabelecer parcerias entre as empresas envolvidas numa mesma cadeia de suprimentos, quebrando aos poucos as barreiras da desconfiança pois, só por meio do intercâmbio de informações a respeito dos processos da cadeia, sejam eles operacionais ou estratégicos, poder-se-ia aumentar a eficiência e a qualidade dos produtos finais, obtendo-se os menores custos de produção, o que colaborava para a sobrevivência das empresas no atual cenário de mercado mundial, o qual é extremamente competitivo. Dessa forma, com o desenvolvimento da TI criou-se o ambiente mais propício até então para a maximização das potencialidades logísticas, tão necessárias à subsistência das empresas no atual cenário. Hoje é possível agregar o máximo de valor ao produto final por meio da TI, reduzindo ou eliminando os desperdícios, reduzindo os estoques e aumentando a eficiência produtiva, para assim poder reduzir o custo total de produção. Esse é o maior objetivo das empresas atuais, as quais buscam a satisfação do consumidor final e a lucratividade em seus negócios. Também, com a TI é possível visualizar mais a integração entre os processos de uma mesma cadeia de suprimentos, facilitando a percepção de que muitas vezes é melhor aumentar o custo de uma determinada operação, para que assim se obtenha um ganho econômico global maior, com a redução do custo total da cadeia de suprimentos. Isso tudo é possível com a integração logística, sem que se tenha que perder na qualidade esperada pelo consumidor final. É isso que interessa ao mercado e às empresas: redução do custo total, sem perder na qualidade do produto. Isso faz com que todos os colaboradores de uma cadeia de suprimentos foquem a sua atenção na melhor qualidade e no menor preço final do produto, sendo que o esforço sistemático e continuado das empresas nesse sentido passou a ser uma questão de sobrevivência no cenário de hoje. Então, todos os participantes da cadeia de suprimentos devem concentrar as suas atenções no consumidor final, cliente que irá usufruir do produto final, buscando assim a compreenderem o seu perfil, para que as suas expectativas possam ser atendidas. Isso foi finalmente compreendido por muitas empresas que ainda subsistem no mercado atual. Todo o sistema de produção foi criado devido à demanda do consumidor final, seja pela real necessidade de compra do cliente ou pela implantação da necessidade pelo marketing da empresa. Mas, o que importa é atender as exigências do consumidor final, o qual aprendeu a cobrar por maiores qualidades dos produtos e serviços prestados pelas empresas, punindo-as com a não compra de seus produtos quando não atenderem aos seus

requisitos. A ausência da compra dos seus produtos finais ou a redução desta pode significar a falência de toda a cadeia de suprimentos de uma empresa.

Porém, antes de procurar atender a todas as exigências desse consumidor, a empresa deve fazer um estudo de viabilidade econômica de produção, visando determinar qual o perfil de consumidor é mais viável financeiramente ser atendido. Isso, ao se considerar que não é possível suprir todas as necessidades de um mercado consumidor, caso não haja demanda suficiente que o justifique, em termos de custo.

O desenvolvimento da gestão da cadeia de suprimentos na indústria da construção civil por meio da logística ocorre de forma muito mais lenta do que na indústria seriada, estando esta última na vanguarda desse processo. Isso é confirmado pelo fato dos empresários da construção civil sempre focarem as suas atenções na área técnico-estrutural, arquitetônica e de marketing da construção de edifícios, sendo os problemas relacionados à administração da cadeia de suprimentos, que na construção de edifícios englobam apenas as etapas de gestão de materiais e da produção, relegados a um segundo plano (VIEIRA, op. cit.). Assim, eles contabilizavam toda ineficiência produtiva e falta de qualidade dos serviços executados, oriundos da desorganização do canteiro, no orçamento da obra, pois, as altas margens de lucro dessas empresas no passado colaboravam para isso. Isso era feito ao invés de se buscar alternativas eficazes de racionalização de todas as atividades produtivas e melhoria da gestão da cadeia de suprimentos por meio da logística.

Porém, atualmente, dois fenômenos finalmente chegaram ao mercado da indústria da construção civil: A maior exigência por parte dos consumidores por melhores preços, pois ficou muito mais fácil para eles fiscalizarem os preços devido à queda da inflação com a adoção do plano real (que gerou certa estabilidade dos preços dos produtos e serviços), e a busca dos consumidores por melhores qualidades dos produtos e serviços prestados. Soma-se a isso o aumento da competição entre as empresas no novo cenário.

Assim, para sobreviver em tal mercado é necessário que as empresas de construção sejam muito mais eficientes do que no passado, época em que os gastos com os desperdícios e erros na produção eram camuflados pela alta inflação, o que se criava um cenário perfeito para o aumento dos preços. Essa eficiência pode ser conseguida através de uma atuação consciente quanto à qualidade e à produtividade nos métodos, processos e sistemas construtivos.

A crescente introdução de novas tecnologias de componentes pré-fabricados na construção civil, com nível considerável de padronização tem possibilitado ganhos potenciais em produtividade e qualidade, passando a administração da produção a ganhar maior importância. Ressalta-se, entretanto, a necessidade da realização de uma análise apurada antes da

implantação de uma nova tecnologia, considerando os aspectos logísticos, de interdependência entre tarefas, de planejamento e de custos dos insumos (mão-de-obra, materiais e equipamentos), englobando assim todos os fatores relevantes na análise de procedência tecnológica, para finalmente se poder tirar uma conclusão realista a cerca de sua viabilidade econômica.

Porém, antes disso se deve fazer uma análise da aplicabilidade de tais tecnologias à construção civil. Caso sejam, é preciso também fazer uma adaptação dessas tecnologias para as suas utilizações no canteiro de obras. Isso, porque a indústria seriada é diferente da indústria da construção civil, além de uma obra civil poder ser executada em diferentes partes do mundo, com climas locais peculiares à região.

A indústria seriada, cujos processamentos dos materiais são repetitivos, seguindo uma linha de produção com muita previsibilidade, ganha assim vantagens em relação à indústria da construção civil. Então, devido às particularidades de produção da construção civil, antes de ser utilizada uma tecnologia aplicável à indústria seriada, devem ser analisadas as possibilidades de aplicá-la também à construção civil, adaptando-a caso seja viável.

Dessa forma, o planejamento das etapas de fabricação na indústria da construção civil é muito mais imprevisível e complexo do que na indústria seriada, pois, esta segue uma linha de produção que acontece sempre num mesmo espaço físico preestabelecido, enquanto aquela está sujeita às condições climáticas e as características peculiares ao processamento de cada tipologia de obra. Por isso, não existem soluções prontas e rápidas para as organizações e planejamentos logísticos num canteiro de obras, pois, existe um grande número de variáveis envolvidas no processo, além de cada obra contar com a sua própria particularidade.

Então, para que seja elaborado um planejamento adequado, recorrendo à logística de canteiro, tomando partido das tecnologias existentes, é preciso recorrer a alguns princípios e diretrizes básicas consagradas na logística, somadas a experiência técnica, a criatividade e a uma boa dose de bom senso dos envolvidos no processo produtivo da construção civil.

Ocorrem muitos problemas com argamassas de revestimento que podem estar ligados às atividades produtivas e de gestão dos processos em canteiro de obras, tais como patologias, desperdícios de materiais, de mão-de-obra, de tempo, elevando assim o custo de produção. O tipo de argamassa (que conta com diversos materiais constituintes), quanto à forma de produção, interfere nas atividades de produção e na logística de canteiro, assim como na escolha das ferramentas e equipamentos necessários à execução dos serviços.

Dessa forma, foram aqui analisados os procedimentos que envolvem o preparo e a produção da argamassa industrializada e da preparada em obra, incluindo desde o recebimento das matérias-primas no canteiro de obras até a aplicação das misturas prontas, buscando seguir as diretrizes básicas da logística integrada. Como é sabido ser necessário praticar uma análise de cada processo que compõe uma cadeia de suprimentos na produção de edifícios, sem que se perca a visão do conjunto, a análise neste trabalho foi realizada sobre a ótica da logística integrada, para que assim se pratique um correto planejamento de todos os serviços que envolvam a construção de um edifício de pavimentos tipo. Isso, buscando sempre racionalizar a produção, atendendo ao máximo de exigências possíveis dos consumidores ou clientes, aliado a um menor custo total.

## **CAPÍTULO 3 - OBJETIVO**

Mostrar como a escolha do tipo de argamassa interfere na logística de canteiro de obras, considerando também o aspecto custo e desempenho do material aplicado.

Para melhor compreenderem-se como as diretrizes básicas da logística interferem no processo produtivo de edifícios, foi realizado um estudo de caso em canteiros de obras da produção da argamassa de reboco, utilizando-se argamassa industrializada ou ensacada e argamassa rodada no canteiro de obras, sem desconsiderar a sua interdependência, interação ou interferência com todos os demais processos produtivos de edifício.

Para atestar a qualidade da argamassa, foi realizado o ensaio de arrancamento, considerado como um bom teste para indicação da qualidade do material, quanto a sua aderência, assim como para sinalizar indiretamente se os serviços foram ou não executados de acordo com a boa técnica.

## CAPÍTULO 4 - LOGÍSTICA APLICADA À CONSTRUÇÃO CIVIL

As áreas de trabalho e de fluxo de materiais e operários são variáveis no decorrer das etapas construtivas numa edificação, tendo que serem corretamente previstas devido ao espaço normalmente escasso no canteiro de obras. Por isso a logística é extremamente importante na organização do canteiro de obras e controle da produção, considerando a imensa variabilidade dos processos produtivos na indústria da construção civil.

### 4.1 - Projeto de produção

Primeiramente, para que haja um perfeito desempenho do processo produtivo de edifícios, na fase de elaboração dos projetos executivos ou do produto e dos projetos de produção, deve-se haver uma interação entre todos os colaboradores, projetistas e executores dos serviços de construção civil. Essa interação é necessária para que não seja preciso futuras intervenções corretivas por incompatibilidade entre projetos, o que é dificultado à medida que se passa o tempo. Isso porque assim se torna cada vez mais cara uma intervenção corretiva, conforme se pode verificar na figura 1 a seguir.

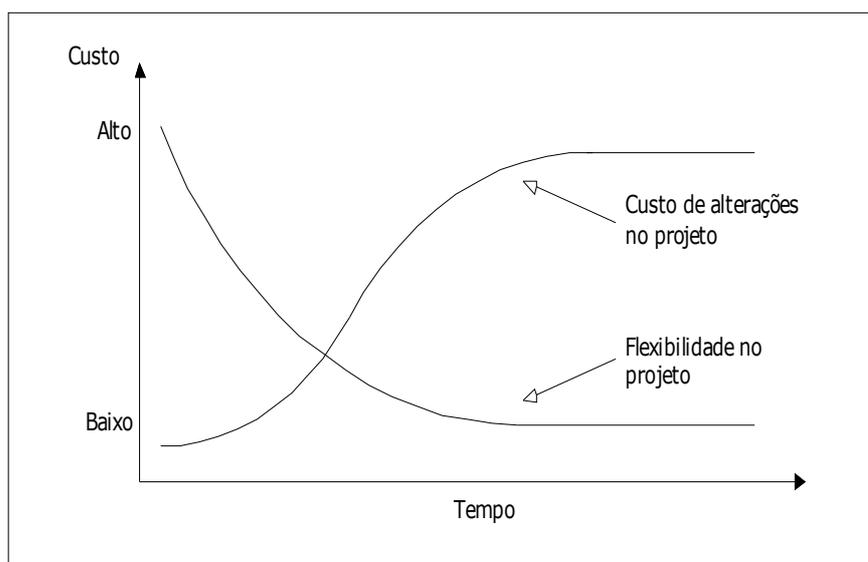


Figura 1 – Flexibilidade e custo de alteração no projeto (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2007).

Por isso, também é importante que se compreenda que os aspectos administrativos devem ser discutidos numa fase muito anterior ao efetivo início da construção de edifícios, antes mesmo até da fase de concepção de projetos. Isso para que a execução dos serviços seja planejada com sucesso.

Dessa forma, é de suma importância desenvolver, por meio da logística de canteiro de obras, projetos de produção bastante detalhados, os quais consideram o planejamento espacial e o de transporte e movimentação de materiais prévios e adequados a todas as atividades, organizando e estruturando toda a cadeia de suprimentos do processo produtivo de edifícios. Esses planejamentos partem de desenhos das diversas fases construtivas da obra, chamados de “layout”, nos quais se posicionam os locais de armazenagens de materiais, de equipamentos e máquinas, assim como define os locais de trabalho e movimentação de materiais.

Segundo Bowersox et alii, op. cit., e Chiavenato (1990), o planejamento da produção consiste na fixação de objetivos para a produção sobre o que se deve produzir, quando, como e por quem. Tais autores afirmam que o controle da produção consiste na medida do desempenho de uma atividade, verificando se tudo está sendo feito conforme planejado, identificando os erros ou desvios, a fim de corrigí-los e principalmente de evitá-los mais adiante.

Melhado (1994) exhibe a seguinte definição para projeto de produção para a construção civil:

*“O projeto produtivo é um conjunto de elementos de projeto elaborados de uma forma simultânea ao detalhamento do projeto executivo, para utilização no âmbito das atividades de produção no canteiro de obras, contendo as definições de disposição e seqüência de atividades de obra e frentes de serviço, assim como o uso de equipamentos, o arranjo ou disposição dos insumos no canteiro, a evolução do canteiro de obras, dentre outros recursos vinculados às características e recursos próprios da construtora”*

A experiência deste autor em construção de edifícios mostra que é comum o construtor nunca ter ouvido falar em projeto de produção, ao contrário do que acontece na indústria seriada, conforme constatado por Bowersox et alii, op. cit. Muitas vezes também, por experiência deste autor, os projetos executivos, os quais mostram só os aspectos físicos da obra, não entram em detalhes de planejamento e programação da obra, sendo confundidos muitas vezes com os projetos de produção pelo construtor. Isso tudo confirma o enorme atraso no desenvolvimento da indústria da construção civil perante a indústria seriada, embora esse setor tem as suas peculiaridades que dificultam tal comparação.

Na cidade de São Paulo existe uma tendência atual à procura, por parte das empresas construtoras, por serviços de projetos de produção aplicados aos diversos projetos executivos

(SILVA; FABRÍCIO; MÁRCIO, 1997). Da mesma maneira, alguns escritórios de engenharia e projeto vêm procurando oferecer serviços especializados de elaboração de projetos de produção de alvenaria, chamado de paginação modular, de produção de fôrmas, de produção de laje racionalizada, de produção de revestimentos de fachada, entre outros.

Em sua dissertação de mestrado, Souza (1996) cita um exemplo de projeto de produção para laje racionalizada, o qual vem sendo bastante explorado por diversas empresas construtoras. Em tal projeto, podem ser previstos, além das informações normalmente constantes nos projetos executivos de arquitetura, estrutura e fôrma, desenhos detalhados dos gabaritos para a execução de furos nas lajes, a seqüência e os caminhos para a concretagem, a localização das mestras, e a seqüência e o sentido de sarrafeamento das lajes.

Conforme a experiência deste autor e confirmado por Vieira, *op. cit.*, o planejamento na construção civil é confundido muitas vezes com a simples produção de orçamentos, cronogramas e outros documentos que especifiquem metas a serem atingidas ao longo do tempo. Isso mais uma vez demonstra o atraso da construção perante a indústria seriada, no que diz respeito ao domínio do conhecimento na área de planejamento. Além do mais, conforme experiência deste autor no campo de execução de obras existe um comportamento predominante na construção de querer enquadrar a produção num planejamento inicialmente estabelecido e o controle servir apenas para buscar culpados pelos atrasos na execução de tarefas.

Ao contrário disso, para que a previsão do funcionamento de toda a cadeia de suprimentos da construção civil seja realista, o planejamento deve ser flexível, permitindo correções dos rumos da produção enquanto ela está em curso, e o controle deve identificar rapidamente as causas dos problemas para poder permitir uma atuação preventiva ao invés de corretiva, a qual significa retrabalho.

Tanto o projeto do produto (projeto executivo) quanto o projeto da produção ou planejamento são influenciados pela logística, pois, neles se concentram uma série de definições a cerca do produto, bem como da seqüência e do modo de execução dos serviços, ritmo de produção, dos procedimentos a serem adotados, dos equipamentos e ferramentas necessários. Tais aspectos são fundamentais tanto para a logística de canteiro quanto para a de suprimentos na construção civil.

Além disso, todos os aspectos peculiares à construção de edifícios devem ser considerados ao se fazer um planejamento logístico. Assim, na construção de edifícios, a rede de instalações geralmente é composta apenas pelo canteiro de obras, além de algum outro depósito de apoio para armazenamento de equipamentos e ferramentas. Numa obra são estocados matérias-

primas, componentes, ferramentas e equipamentos utilizados na produção, tudo num espaço geralmente reduzido.

Por isso, para um correto armazenamento de materiais no canteiro de obras de uma edificação, principalmente antes da execução da sua primeira laje, é preciso que primeiro se faça um adequado planejamento logístico. Esse planejamento deve levar em consideração, por exemplo, que quanto menos um material é manuseado, menor serão os seus potenciais riscos de danos em suas características físicas, além de menores perdas de recursos humanos e materiais no transporte. Assim, os diversos arranjos do canteiro de obras ou os layouts para cada etapa de produção devem ser bem estudados ainda na fase de concepção dos projetos executivos e, principalmente, na do projeto de produção, que é realizado concomitantemente com o planejamento logístico integrado, para que se agregue o maior valor possível ao produto final.

Além do mais, segundo esses diversos autores citados, o processo de agrupamento de unidades físicas, conhecido como unitização ou containerização, facilita muito o manuseio ou o transporte de materiais, reduzindo também o risco de perdas e aumentando a eficiência no transporte. Porém, para potencialização da eficiência na movimentação dos materiais, deve-se fazer uma boa escolha dos equipamentos de transporte, como por exemplo: a escolha do recebimento e movimentação de blocos cerâmicos em paletes numa obra de edificação só alcançará uma maior eficiência produtiva com a decisão em se utilizar a grua.

Assim, Bowersox et alii, op. cit., dizem que os equipamentos de manuseio têm de ser considerados no planejamento logístico para finalizar num layout adequado. Por isso, um aspecto que deve ser também considerado no planejamento logístico é o caminho e o tempo de fluxo dos produtos, os quais dependem do sistema de manuseio de materiais.

Outro aspecto a ser considerado no transporte realizado dentro do canteiro de obras é o deslocamento de matérias-primas e componentes para o local de onde ocorre a manufatura do produto, que varia constantemente, uma vez que é o operário que se desloca ao longo dos seus postos de trabalho, ao contrário da indústria seriada.

Bowersox et alii, op. cit., consideram três fatores fundamentais para o desempenho no transporte, os quais são: (1) custo; (2) velocidade; (3) consistência, melhor explicados a seguir:

- (1) Para reduzir o custo na movimentação de materiais no canteiro de obras, agregando valor ao produto final, os engenheiros devem estabelecer um planejamento logístico eficaz, baseado num projeto de produção alicerçado aos projetos executivos. Só por meio de um planejamento logístico é possível calcular o número de ciclos de

transporte de materiais necessários para uma equipe produzir tantos metros quadrados de revestimento de reboco em um dia, considerando que o carrinho-de-mão tem de levar a argamassa para o pedreiro, e voltar cheio com outro material, para que não haja desperdício de horas de servente trabalhadas, pois este é o insumo mais caro da obra, confirmado por aparecer no topo da lista da curva de orçamentação ABC de insumos;

- (2) A velocidade de transporte a ser medida é o tempo necessário para que o carrinho-de-mão complete um ciclo de transporte, levando argamassa ao pedreiro e retornando à argamassadeira para buscar mais material. Quanto maior a velocidade de transporte, maior poderá ser o valor agregado ao produto, como por exemplo, em termos de redução de custo, ou em termos de qualidade quando não é vencido o prazo de aplicação da argamassa, o que significa entrar no seu estado físico-químico de pega;
- (3) A consistência do transporte refere-se às variações no tempo necessárias para se realizar uma movimentação específica em determinado número de carregamentos do carrinho-de-mão. Se o transporte da argamassa de reboco da argamassadeira até a caixa do pedreiro leva 3 minutos na primeira vez, 6 minutos da segunda vez e 5 minutos da terceira vez, essas variações geram problemas operacionais na cadeia de suprimentos, podendo resultar na falta da argamassa para o pedreiro no momento certo em que ele precisar do produto para aplicá-lo à parede. Então, pode-se considerar nesse caso que o transporte é inconsistente, podendo causar interrupções ou descontinuidade no serviço, não contribuindo assim para a agregação de valor ao produto final.

Em virtude disso, a logística busca trabalhar os fatores fundamentais para o desempenho no transporte e a geração de valor ao cliente, tanto na minimização do custo de transporte quanto na agregação de uma determinada característica ao produto valorizada pelo cliente final.

## 4.2 – O Planejamento produtivo e a tecnologia da informação e suas ferramentas

Como descreve Vieira, *op. cit.*, existem muitas organizações envolvidas no desenvolvimento do produto na construção civil, o que gera muitas interfaces. Alguns exemplos simples de organizações existentes dentro do canteiro de obras de construção civil que interagem com

serviços e informações, criando interfaces entre si, podem ser citados: equipes de armadores, de carpinteiros de fôrmas, de instalações elétricas e eletrônicas, dentre outras mais. Assim, para que haja uma perfeita interação entre essas organizações dentro do canteiro, resultando num trabalho eficiente e produtivo, deve-se utilizar a logística integrada informacional para coordenar o fluxo de informações por meio da tecnologia da informação (TI).

Também, Vieira, op. cit. e Silva et alii (1998) dizem que ainda é inexpressiva a busca pela implementação da TI que comprovadamente impulsionam outros setores industriais e que, de certa forma, são desprezadas pela construção de edifícios. De acordo com Vieira, op. cit., este setor já compreende que necessita desenvolver o fluxo de informações entre os seus diversos agentes da cadeia de suprimentos.

Porém, no Brasil, de acordo com experiência deste autor e como descrito por Vieira, op. cit., as grandes dificuldades na troca de informações entre os agentes diretos da produção no canteiro de obras, sejam eles os subempreiteiros ou os operários fichados da construtora, são:

- O baixo nível de estudo dos operários da construção civil, impedindo a maior compreensão dos processos, assim como a comunicação eficaz entre os participantes da cadeia de suprimentos;
- A falta de cultura entre os diversos agentes da construção civil em se utilizar pré-moldados e sistemas construtivos, o que dificulta o emprego da TI e das tecnologias operacionais;
- Os preços ainda altos para implantação dos sistemas de tecnologias operacionais ou das ferramentas tecnológicas na construção civil, que só se tornam uma vantagem estratégica em termos de custo, caso a empresa construtora aprenda a utilizá-los tirando proveito disso na gestão da logística.

O emprego da TI é aqui considerado bem dependente dos pré-moldados e dos sistemas construtivos na construção civil, no que tange ao controle e monitoramento dos materiais pelo código de barras, assim como das tecnologias operacionais ou ferramentas tecnológicas, tais como:

- O código de barras e leitores;
- A tecnologia de identificação por etiquetas inteligentes por radiofrequência – “microchips” - “radio frequency identification” (RFID);
- O intercâmbio eletrônico de dados – “Electronic data interchange” (EDI);

- A “internet” ou conectividade pela rede de alcance mundial - “world wide web” (WWW ou WEB);
- O sistema de gerenciamento de armazéns – “warehousing management system” (WMS);
- O planejamento das necessidades de materiais por meio de softwares – “materials requirements planning” (MRPI);
- O planejamento dos recursos empresariais por meio de softwares – “manufacturing resource planning” (MRPII).

Também, o autor Pires (1998) constata que o diferencial competitivo entre as empresas concorrentes é encontrado no desenvolvimento da TI, o que cria um cenário favorável ao surgimento de ferramentas, tais como o código de barras, o RFID, o EDI, o WMS, o MRPI e o MRPII.

Bowersox et alii, op. cit., definem o intercâmbio eletrônico de dados como uma troca direta entre computadores de documentos empresariais em formatos padronizados para facilitar transações de grande volume. Isso envolve tanto a habilidade quanto a prática de transmitir informações eletronicamente entre duas organizações de uma forma mais segura do que por meio da internet, com menos riscos de violação dos dados transmitidos.

O código de barras é a tecnologia de identificação mais utilizada no mundo, por ser de baixo custo de implementação. Essa tecnologia operacional consiste na leitura óptica das reflexões da luz, as quais ocorrem em diversas intensidades, proporcionadas por uma etiqueta compostas por seqüências de barras escuras e espaços claros, os quais são decodificados pelo leitor ou coletor de informações em números, armazenando-os em sua memória para depois serem passados para o computador secundário ou hospedeiro (VIEIRA, op. cit.). Essa tecnologia operacional objetiva minimizar problemas, tais como erros no registro de entradas de materiais na obra, além de procedimentos demorados.

Já a tecnologia de identificação por etiquetas inteligentes por radiofrequência – “microchips” (RFID), como diz Vieira, op. cit., é um sistema de última geração que pode ser considerado uma evolução do sistema tradicional empregado no código de barras. Por essa razão, a RFID é composta por etiquetas inteligentes ou “microchips” que podem ser lidos automaticamente em conjunto por meio de ondas de rádio que são enviadas para um computador secundário, atualizando o seu banco de dados em tempo real (VIEIRA, op. cit.). Isso pode ser feito dentro de áreas pequenas, tais como em canteiros de obras.

Ainda segundo Vieira, *op. cit.*, o emprego da RFID é bastante útil para técnicas construtivas que se baseiam na industrialização, envolvendo um grande número de pré-moldados, além de milhares de outros componentes utilizados no processo construtivo, simplificando o complexo controle de materiais no canteiro de obras. Para melhor compreensão da complexidade desse controle sem a RFID basta pensar no controle do recebimento de materiais, na estocagem dos diversos itens adequadamente, nos atendimentos aos pedidos de produção, remoção dos itens do estoque, atualização do inventário, entre outros.

Além disso, tem-se a tecnologia operacional de sistema de gerenciamento de armazéns (WMS), que conforme diz Vieira, *op. cit.*, é um sistema de gerenciamento de banco de dados de inventário de almoxarifados, depósitos ou armazéns feito em tempo real, sendo por isso uma poderosa ferramenta tecnológica estratégica composta pela integração de software com hardware. Esse autor, assim como Bowersox et alii, *op. cit.*, dizem que a sua função primordial é coordenar, controlar e registrar todos os movimentos físicos de estoques na indústria. Dessa forma, o WMS identifica os seguintes aspectos em relação ao estoque: qual tipo de material ou componente que se tem em estoque; qual o quantitativo de cada item estocado; qual o posicionamento de cada item estocado; qual a idade ou o prazo de validade do item estocado; verifica o atendimento e a existência de pedidos de materiais, assim como as suas condições de entrega; entre outros (VIEIRA, *op. cit.*).

O benefício do planejamento de recursos empresariais (“Enterprise resource planning” - ERP) é parcialmente proporcionado pelas ferramentas tecnológicas de “softwares” MRPI original, o qual planeja o emprego de materiais em função da quantidade dos produtos finais projetados. Além disso, os autores Vieira, *op. cit.* e Bowersox et alii, *op. cit.*, dizem que o ERP é complementado e melhorado por um programa mais sofisticado e abrangente do que o MRPI, o MRPII, cujo planejamento dos recursos também inclui a mão-de-obra, as ferramentas e os equipamentos. Dessa forma, enquanto algumas das tecnologias operacionais de código de barras, RFID, EDI, internet e WMS possibilitam o controle e monitoramento preciso e em tempo real dos estoques de materiais, o programa MRPI e a sua evolução MRPII são capazes de controlar e levantar os quantitativos dos recursos necessários, programando-os para que sejam posicionados e utilizados na hora exata. Só assim, a continuidade da produção no chão de fábrica ou no canteiro de obras com um mínimo de estoque é garantida.

Os sistemas MRP tentam gerar benefícios semelhantes aos da técnica “just-in-time” (JIT), a qual se baseia na reposição contínua dos estoques a um nível mínimo, tendendo a zero, e com a preocupação de eliminar as incertezas do processo pela possibilidade de falta de estoque, o que provocaria a paralisação de toda produção de uma fábrica ou obra. Isso garantiria um

fluxo contínuo da produção com a utilização de um estoque mínimo, o que pode maximizar a capacidade de produção, reduzindo o custo total da cadeia de suprimentos.

Outras tecnologias operacionais que servem ao planejamento da produção e, conseqüentemente, ao planejamento de suprimentos, são as ferramentas de programação de projeto por meio de redes de procedência, tais como o “critical path method” (CPM) – método do caminho crítico - ou técnica de redes e o “program evaluation and review technique” (PERT) – técnica de revisão e avaliação de programa.

De acordo com Limmer (1997), a técnica determinística CPM se baseia no planejamento de atividades por meio de redes desenvolvidas pelo matemático Eüler, obtendo assim os prazos de acordo com a experiência pregressa dos engenheiros. Ainda de acordo com esse autor, o CPM é utilizado no cálculo dos tempos e prazos esperados para execução de atividades de um determinado projeto, quando há repetições na execução de atividades ou projetos que têm características semelhantes às anteriormente executadas pela mesma empresa, considerando assim as mesmas condições, tais como utilização da mesma mão-de-obra, da mesma tecnologia de materiais e de equipamentos de produção, além das mesmas características climáticas.

Já a técnica probabilística PERT que se basear em tratamento estatístico, é utilizada no cálculo dos tempos ou prazos esperados para execução de atividades de um determinado projeto, quando não há experiência com relação aos prazos de execução de determinados serviços ou atividades, ou seja, quando se trata de um caso específico e peculiar de construção ou projeto, havendo incertezas quanto à duração das atividades (LIMMER, op. cit.). É mais complexo para ser utilizado e possui menor agilidade de reprogramação do que a CPM, sendo o seu uso justificado apenas para projetos mais complexos.

Algumas vantagens de se utilizar tais técnicas, de acordo com Monks (1987), consistem em:

- Mostram a relação entre cada atividade e todo o projeto;
- Identificam relações de precedência e seqüência de atividades críticas;
- Obrigam a um planejamento lógico;
- Facilitam a organização e atribuição de responsabilidades de trabalhos;
- Fornecem tempo de conclusão, custo e um padrão para comparar com dados reais.

Porém, a grande dificuldade em se criar modelos de planejamento para a construção civil reside na grande quantidade de incertezas e variabilidade do seu processo de produção. São

comuns as interrupções no processo produtivo devido as suas particularidades discutidas adiante no item 3.7, como as inerentes aos comportamentos diferenciados dos materiais que estão expostos ao tempo, tais como o do concreto, entre outros.

Para corrigir tais distorções e incertezas, o planejamento deve acontecer em três níveis (BALLARD; HOWELL, 1998):

Num primeiro nível, faz-se um planejamento inicial global de toda a produção, estabelecendo um cronograma geral da obra, o que inclui as previsões de desembolso, a seqüência das atividades e a previsão das necessidades de recursos. Este planejamento pode ser feito pela rede CPM.

Num segundo nível, se faz o que é chamado de “lookahead Planning”, o que é uma previsão mais detalhada para um curto prazo ou a cada duas ou três semanas, para ajustar o cronograma e para disparar o processo de mobilização de recursos.

Num terceiro nível, se faz um planejamento de compromissos das atividades que devem ser realizadas num prazo ainda mais curto, de uma semana, detalhando as necessidades de recursos para a execução de atividades e as tarefas de cada dia.

Num trabalho sobre logística realizado na França, Colas et alii (1997) constataam a necessidade de se desenvolver um planejamento denominado micro-planejamento flexível, que possa, ao mesmo tempo:

- Detalhar a uma escala diária as previsões de recursos para a equipe de produção;
- Fazer com que esse planejamento seja flexível, a fim de regular os fluxos em tempo real;
- Otimizar a seqüência de utilização dos equipamentos de movimentação durante um dia de trabalho.

Esses autores também defendem nesse trabalho uma integração entre tarefas dentro de um planejamento de pelo menos dois níveis. Num plano geral, que serve de referência, divide-se em planos que são ajustados a cada dois meses, em função do andamento dos serviços. A partir desses planos bimensais, são feitos os planos bissemanais capazes de definir as necessidades de recursos e tarefas de cada dia.

Como se pode perceber, os modelos de planejamento aqui apresentados são bem parecidos. Mas, o que é mais importante é o fato de que eles incorporam a idéia de que é preciso fazer um planejamento mais detalhado das atividades de produção, assim como de ter a capacidade de dar resposta rápida às aleatoriedades que ocorrem no canteiro de obras. Por isso, é também

muito importante desenvolver um sistema de informação eficaz, com o fornecimento de informações em tempo real por meio da TI. A importância disso, conforme dizem Bowersox et alii, op. cit., é que a TI é capaz de monitorar a atividade logística global em tempo real, identificando assim os problemas operacionais potenciais, o que facilita a ação preventiva, antes mesmo de ocorrer falha de produção. Assim, a utilização da TI nas estruturas operacionais logísticas é um pré-requisito para monitorar o nível do estoque em toda rede logística e proporcionar a capacidade de alterar rapidamente os métodos de atendimento aos pedidos dos clientes.

Além disso, a vantagem da utilização das TI juntamente com as suas ferramentas tecnológicas para monitorar e controlar os recursos de produção pode ser potencializada por um sistema estratégico de parceria formado entre fornecedores e seus clientes internos e externos, denominado resposta eficiente ao consumidor (ECR), o qual proporciona uma maior interação entre clientes e fornecedores. Esse é um novo modelo de comércio reativo, diferenciando-se do modelo tradicional baseado na previsão de demanda de estoque. Os objetivos e características do ECR serão discutidos no item 4.8, o qual mostra a mais moderna e eficiente forma de relacionamento entre parceiros, tida como o último estágio evolutivo da integração entre fornecedor e produtor na cadeia de suprimentos.

A utilização de ferramentas tecnológicas é importante para gestão da cadeia de suprimentos porque estas suportam o gerenciamento por meio da troca de informações entre as empresas participantes da rede. Essa importância da TI na gestão da cadeia de suprimentos é reforçada pelo Slack et alii (1999), o qual é citado na dissertação de mestrado da Ribeiro Poepcke (2006), que afirma que o fluxo de materiais e de informações que flui pela empresa, desde a atividade de compras, passando pela distribuição ou serviço de entrega, é a rede ou cadeia de suprimentos “imediate”. Segundo este autor, quando os gerentes de operação procuram controlar o fluxo de informação percebem que podem obter benefícios em termos de velocidade, confiabilidade, flexibilidade, custos e qualidade, em comparação à simples gestão interna da empresa. Também, de acordo com Vieira, op. cit., a TI é parte da logística da informação, o que possibilita a manutenção, o monitoramento, o controle e o aperfeiçoamento da comunicação e das operações entre os setores organizacionais das empresas, assim como entre os participantes diretos na execução dos serviços no chão de fábrica, que no caso da construção civil é o canteiro de obras. Ainda, segundo este autor, o objetivo principal dessa tecnologia é assegurar que as informações relevantes e precisas atinjam as pessoas certas no momento apropriado, possibilitando assim o funcionamento eficiente da cadeia de suprimentos e dos seus processos produtivos.

### 4.3 - A evolução logística

Há algum tempo, muitas empresas que lidam com a produção seriada buscam o incremento de competitividade e a racionalização da produção a partir de intervenções na logística, tanto no sentido de otimizar os meios de produção quanto no de melhorar a distribuição de seus produtos no mercado. Só que o conceito de gestão da logística vem evoluindo ao longo do tempo, e com ele os métodos, procedimentos e tecnologias aplicadas para melhoria do desempenho da cadeia de suprimentos.

Para melhor se entender o dinamismo dos conceitos logísticos, Novaes, op. cit., definiu acertadamente a evolução da logística na indústria seriada da seguinte forma:

Após a segunda guerra mundial, lacunas de demanda existentes no mercado consumidor foram preenchidas por meio do surgimento da logística, a qual se uniu ao processo de produção em série. Os produtos eram compostos por geladeira de tipo único, na cor branca; a Coca-Cola como refrigerante típico, e outros mais os quais eram todos padronizados.

Para que fosse separada a geladeira do estoque e programada a sua entrega ao cliente, o vendedor preencha manualmente uma nota ou pedido, enviando-o para o depósito. Nessa época, era necessário que o nível de estoque fosse revisto periodicamente, pois não havia ainda os sofisticados sistemas de comunicação e informática hoje disponíveis para uma avaliação das necessidades do produto. Constatando a necessidade do produto, o varejista fazia então um pedido ao fabricante ou distribuidor, negociando preços, formas de pagamento e prazos de entrega. Assim, o estoque era o elemento-chave no balanceamento da cadeia de suprimentos nessa primeira fase da logística.

Dessa forma, os estoques eram renovados de forma a minimizar a soma do custo de inventário, do custo de transporte, formando lotes econômicos para o transporte, e do custo para elaboração do pedido. Fazer um pedido de um produto significava pesquisar preços e as demais condições de suprimento junto a vários fornecedores, utilizando o telefone, o correio ou recebendo os vendedores para entrevistas diretas na própria empresa. Com isso se gastava muito tempo e recursos humanos nessas operações, tornando o custo de se fazer o pedido apreciável.

Já na segunda fase da logística, as geladeiras e automóveis, por exemplo, começaram a ser comercializados com maior variedade de cores, de tamanhos e de acabamentos. Isso era

aplicável porque as aspirações por produtos diferenciados eram incutidas nos consumidores pelos especialistas de “marketing”.

Nessa segunda fase, os processos produtivos na manufatura foram se tornando cada vez mais flexíveis, proporcionando maiores variedades de produtos, sem que isso significasse um aumento elevado nos custos de produção. Assim, um aumento acentuado nos estoques ao longo da cadeia produtiva foi causado por essa maior opção de produtos.

Em virtude disso, foi necessário buscar menores custos e maior eficiência, racionalizando as operações da cadeia de suprimentos. Para isso, o setor da manufatura, que tinha grande poder na indústria da época, implementava a racionalização e otimização de seus processos por meio do planejamento da produção, segundo os seus critérios e objetivos, o qual era alterado sem maiores consultas às demais áreas da empresa. Algumas vezes, nos planejamentos eram considerados outros setores da empresa, bem como fornecedores e clientes. O grande problema era que esses planejamentos não permitiam alterações, sendo rígidos demais. O setor de vendas muitas vezes fechava novos contratos com clientes ou alterava as programações de vendas em carteira sem consultar a manufatura, criando assim um problema para a produção. Também, eram comuns os prazos previstos no planejamento não serem cumpridos pelo atraso na entrega de componentes ou matéria-prima feita pelos fornecedores. Outro problema existente era que a informação sobre as operações eram primeiramente levantada manualmente, para depois ser digitalizada no computador, o que atrasava todo processo. Dessa maneira, quando a informação já se encontrava disponível no sistema, não havia mais condições de agir diretamente sobre grande parte das operações. Dessa forma, a informação não tinha serventia alguma para correções imediatas, servindo basicamente para uma avaliação histórica para tomadas de decisões futuras.

Na terceira fase da logística, nos fins da década de 1980, o intercâmbio de informações da cadeia de suprimentos com fornecedores e clientes passou a se dar por meio eletrônico ou EDI, o qual tornou mais flexível à etapa de programação, permitindo ajustes frequentes, de acordo com as necessidades momentâneas do processo. Assim, uma maior integração dos participantes da cadeia de suprimentos foi possibilitada por esse desenvolvimento da informática. Uma maior preocupação com as necessidades do consumidor ou cliente final, assim como com as dos clientes intermediários, foi observada nesta fase. Também ocorreu uma conseqüente redução dos custos do processo caracterizada pela perseguição à redução do nível de estoques.

Com o surgimento da globalização, surgiu uma maior competição entre as empresas, as quais, simultaneamente, corriam atrás de uma redução de estoques e uma maior qualidade do serviço logístico. Isso porque o mercado passou a exigir custos reduzidos e prazos curtos no atendimento aos pedidos dos consumidores. Assim, surgiu a quarta fase da logística, na qual as empresas tiveram de fazer parcerias com seus fornecedores e clientes ao longo da cadeia de suprimentos, confiando mais ao compartilhar informações de cunho operacional e até estratégico com esses parceiros, para então poderem concentrar todas as suas forças exclusivamente nas atividades de sua especialidade ou competência, enquanto que as demais eram terceirizadas ou delegadas aos seus fornecedores. Nesta fase buscou-se a satisfação plena do consumidor final, nunca como antes, com a aplicação de esforços de forma sistemática e continuada no sentido de agregar o máximo valor ao produto final. Isso só foi possível com o melhor gerenciamento da cadeia de suprimentos proporcionado estrategicamente pela logística integrada com a utilização em larga escala da TI. Assim, melhores resultados em termos de qualidade e custo eram alcançados devido ao maior gerenciamento dos fluxos de informações, de mão-de-obra, de serviços e de materiais. Dessa forma, ocorre uma maior integração entre os participantes da cadeia de suprimentos, nesta última fase, em prol da satisfação do cliente final.

Então, como descrito no texto acima sobre o desenvolvimento da logística, segundo as idéias do autor Novaes, *op. cit.*, se constata que a parceria faz parte da nova estratégia logística da cadeia de suprimentos da indústria seriada. Isso também é confirmado pelo autor Vieira, *op. cit.*, quando este descreve que o grande problema que impede o desenvolvimento do setor da construção de edifícios é que as empresas não têm consciência de que os subempreiteiros são as empresas terceirizadas e especializadas da construção civil, não os tratando como parceiros. Isso impede que esses agentes se interessem o suficiente pelo processo, se tornando capazes de contribuir significativamente para a melhoria do produto. Assim, não há confiança na troca de informações entre os participantes da cadeia de suprimentos, nem uma colaboração significativa que contribua para a eficiência de toda a cadeia, tirando partido das técnicas modernas de gestão da logística integrada, com um planejamento voltado para processos produtivos.

#### 4.4 - A gestão integrada da cadeia de suprimentos na construção civil

A Associação Brasileira de Movimentação e Logística (ABML), citada por Vieira, *op. cit.*, define cadeia de suprimentos ou de abastecimento como “um conjunto de organizações que se inter-relacionam, criando valor na forma de produtos e serviços, desde os fornecedores de matéria-prima até aquele que irá consumir o produto final.” Isso porque a crença hoje é na gestão integrada, na qual os desempenhos têm de serem medidos levando em consideração o processo da cadeia de suprimentos como um todo, buscando com isso uma maior redução do custo total de produção. É também acreditando nisso, que Walsh et alii (2004), segundo citação de Szajubok et alii (2006), definem gerenciamento da cadeia de suprimentos como a prática de um grupo de empresas e de indivíduos, trabalhando de forma colaborativa em uma rede de processos inter-relacionados, estruturados para melhor satisfazer às necessidades do usuário final. Assim, essa definição deixa clara a necessidade de colaboração entre os participantes dessa cadeia, para que a sua estrutura seja capaz de atender às exigências do cliente ou consumidor final, sendo essa uma condição primordial para a sobrevivência de toda a rede.

Bowersox et alii, *op. cit.*, descrevem que desde a revolução industrial, a crença, já ultrapassada, era de que, quanto melhor o desempenho de uma função específica, maior a eficiência do processo em geral. A atenção da gerência de uma única empresa na sua especialização funcional era o objetivo a ser almejado pela melhor prática da gestão da cadeia de suprimentos. Por isso, a estrutura organizacional das empresas tradicionais compunha-se de subdivisão em departamentos, para assim facilitar o controle e a medição do desempenho operacional, estabelecendo rotinas e padronizando procedimentos. Então, a maioria das medidas de desempenho concentrava-se em funções individuais, sendo as práticas contábeis desenvolvidas para medir o desempenho departamental. Por isso, as medidas e alocação de recursos em diferentes funções normalmente eram limitadas aos custos comuns a todas as áreas funcionais do trabalho, como despesas gerais, mão-de-obra, serviços públicos, juros, seguros, e assim por diante (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, *op. cit.*).

Nas últimas décadas, tornou-se cada vez mais óbvio que as funções melhor realizadas individualmente na cadeia de suprimentos, ou seja, baseadas na especialização funcional, não necessariamente se combinam ou se agregam para atingir o menor custo total ou processos altamente eficazes. Já, alinhado com o novo conceito de gestão da cadeia de suprimentos, a gestão integrada aos processos busca identificar e alcançar o menor custo total do processo,

equilibrando as compensações existentes entre funções, que é o mesmo que atender ao princípio das compensações do custo total integrado, conhecido como “perdas e ganhos” ou “trade-off”. Assim, é notável que seja melhor perder em alguns componentes do sistema, para que se possa minimizar o custo total do produto a ser entregue ao cliente final. Dessa forma, atualmente ficou evidente que a otimização isolada de cada um dos componentes de um processo não remete a uma racionalização do sistema como um todo. Então, essa nova visão sistêmica e integrada da cadeia de suprimentos deixa claro que somente efetuando a otimização do sistema como um todo é que se pode reduzir o custo total do processo.

De outra maneira, quando se pretende minimizar o custo unitário de compras, adquirindo matéria-prima em maior quantidade, se utiliza a estratégia conhecida como economia de escala, a qual pode criar sérios problemas de redução dos geralmente tão limitados espaços físicos nos canteiros de obras de construções de edifícios, com obstruções de passagens que geram perdas de recursos humanos pelo excesso de movimentações desnecessárias de materiais. Isso, sem contar com outras conseqüências advindas da diminuição do espaço, tais como: perdas de materiais pelos excessos e interferências em movimentações; as compras de outros materiais passam a ter de ser fracionadas, aumentando o custo do produto, tanto pela redução do volume comprado, quanto pelo aumento do preço do transporte.

Para que melhor se entenda isso, Bowersox et alii, op. cit., definem a economia de escala da seguinte forma:

“A economia de escala resulta da eficiência gerada pela especialização do processo, mão-de-obra, utilização do ativo fixo, economias geradas pelas compras e diminuição da necessidade de alterações nos processos.”

A visão integrada dos processos componentes da cadeia de suprimentos foi obtida por meio do processo logístico que atravessa todas as áreas funcionais da empresa, criando importantes interfaces entre elas. De outra forma, um desempenho global ineficiente poderia ser produzido por uma gestão inadequada de atividades de forma isolada.

No entanto, segundo Bowersox et alii, op. cit., para se estudar a logística deve-se primeiramente ter um conhecimento básico de gestão da cadeia de suprimentos. Isso porque esses autores afirmam que as decisões relacionadas à cadeia de suprimentos, a qual sofre constantes mudanças, estabelecem a estrutura operacional dentro da qual a logística é realizada.

Segundo Vieira, op. cit., a cadeia de suprimentos é uma sucessão de processos, ou seja, manuseios, movimentações e armazenagens pelas quais o produto passa desde a aquisição da matéria-prima, produto semi-acabado e acabado, até a entrega ao cliente final. Ainda de

acordo com este autor, a cadeia de suprimentos é composta por todas as etapas envolvidas direta ou indiretamente no atendimento ao pedido de um cliente, o que inclui fabricantes, fornecedores, distribuidores, atacadistas, varejistas, transportadoras e, especialmente, os clientes.

Também, Bowersox et alii, op. cit., dizem que os arranjos operacionais logísticos são estruturas das cadeias de suprimentos que têm duas características comuns:

- São projetados para administrar estoques;
- A gama de alternativas logísticas é limitada pela tecnologia disponível.

Na indústria seriada, ainda segundo Bowersox et alii, op. cit., ocorrem três estruturas de arranjos operacionais logísticos amplamente utilizadas, que são: a escalonada, a direta e a combinada. Será aqui abordada a estrutura escalonada, por ser considerada por Vieira, op. cit., a única que se aproxima da estrutura utilizada na atual indústria da construção civil, criando assim um excelente motivo para uma comparação direta deste arranjo utilizado em ambos os setores indústrias.

Quando o sistema logístico é classificado como tendo uma estrutura escalonada, de acordo com Bowersox et alii, op. cit., significa que o fluxo de produtos normalmente ocorre por meio de um arranjo comum de empresas e instalações durante a movimentação desde a origem até o destino final. O uso de escalonamento normalmente implica que a análise do custo total justifica a manutenção de determinado nível de estoque ou a realização de atividades específicas em níveis consecutivos de uma cadeia de suprimentos, o que é constatado na construção civil.

A subdivisão da logística empresarial da indústria seriada preconizada por Novaes e Alvarenga (1994), segundo o critério da natureza de suas atividades, são:

1. Logística de materiais, que trata do fluxo de materiais de fora para dentro da empresa, incluindo matéria-prima e outros insumos;
2. Logística interna, que cuida dos aspectos logísticos dentro da empresa ou da manufatura em si;
3. Logística da distribuição física, que opera de dentro para fora da empresa, envolvendo tanto as transferências de produtos entre a fábrica e os armazéns próprios ou de terceiros quanto à distribuição de produtos para o mercado consumidor.

Também, Gurgel (1996) propõe uma subdivisão parecida para a da indústria seriada, porém com nomenclatura diferente, tal como:

1. Logística de abastecimento (equivale à logística de materiais);

2. Logística de manufatura (equivale à logística interna);
3. Logística de distribuição (equivale à logística de distribuição física).

Da mesma forma, como descrito pelos autores citados, só que de uma maneira mais explícita, se pode observar na figura 2 adiante, na qual Vieira, op. cit., e Novaes, op. cit., apresentam uma cadeia de suprimentos típica, a qual envolve três fases da logística na indústria seriada, que são:

1. Fase do suprimento (composta pelas atividades gerenciais relacionadas com a obtenção de materiais e componentes de fornecedores externos à empresa, caracterizando o início de um ciclo da cadeia logística);
2. Fase da manufatura (composta pelas atividades gerenciais relacionadas com o planejamento, a programação e o apoio às operações de produção, por meio das quais a empresa administra o fluxo de materiais e serviços dentro do ambiente produtivo);
3. Fase da distribuição física (que é a etapa do distribuidor, do varejista, do atacadista e do cliente ou consumidor final, que é composta pelas atividades de administração da demanda do cliente e dos canais de distribuição logísticos, também denominados canais de “marketing”).

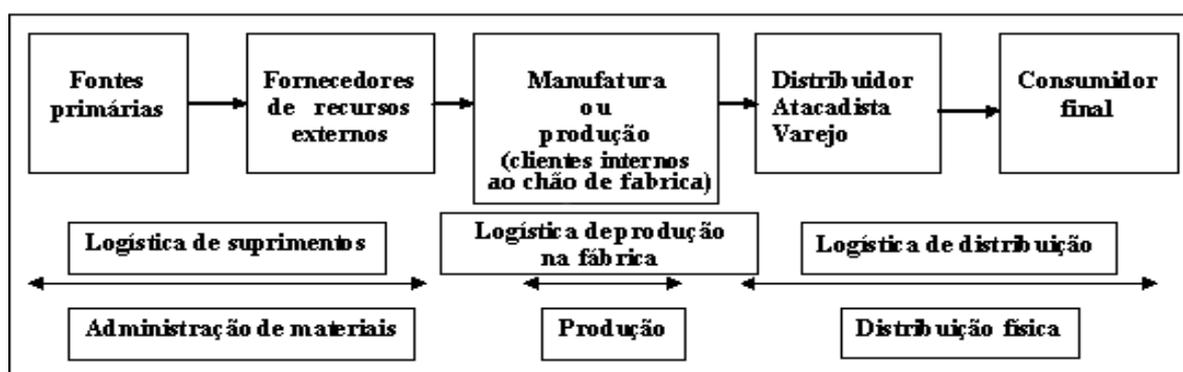


Figura 2 – Cadeia de suprimentos da indústria seriada - logística com estrutura escalonada (adaptado de VIEIRA, 2006)

Porém, ainda de acordo com Vieira, op. cit., não é necessário que obrigatoriamente todas essas etapas façam parte da cadeia de suprimento. Isso porque o projeto da cadeia mais adequado vai depender tanto das necessidades do cliente, quanto do papel de cada etapa para satisfação de suas necessidades.

Então, para ser mais específico ao setor da construção civil, Cardoso (1996) e Vieira, op. cit., propuseram um fluxograma, o qual é composto por apenas duas etapas, conforme apresentado na figura 3, classificando assim a logística quanto à sua função em:

1. Logística de suprimentos (externa);
2. Logística de canteiro (interna).

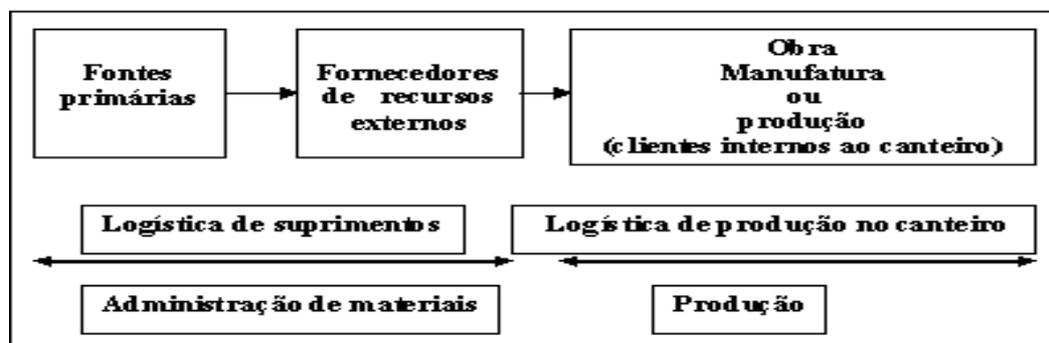


Figura 3 – Cadeia de suprimentos na construção civil - logística com estrutura escalonada (adaptado de VIEIRA, 2006).

Conforme se pode verificar numa comparação direta entre as figuras 2 e 3, Vieira, op. cit., e Cardoso, op. cit., contribuíram para o processo de gestão da logística integrada realizada em canteiro de obras ao definirem qual a estrutura do arranjo operacional logístico é utilizada na construção civil. Isso, porque mostraram que não ocorre nela a logística de distribuição física, ao contrário do que ocorre na indústria seriada. Dessa forma, é o cliente final quem vai ao encontro do produto acabado, como por exemplo, o edifício de apartamentos. Essa particularidade da construção civil é uma das poucas vantagens logísticas que ela leva sobre a indústria seriada, uma vez que reduz a zero o custo do transporte para entrega do produto acabado ao consumidor final da cadeia. Como efeito disso, ocorre uma contribuição para a redução do custo total do apartamento, ainda tão caro para realidade econômica do Brasil, conforme será discutido no item 4.11.

De acordo com Vieira, op. cit., é senso comum hoje considerar a logística como centro de coordenação e de integração de todas as atividades da cadeia de suprimentos, ou seja, a logística de abastecimento (externa), a logística de manufatura (interna) e a logística de distribuição (externa). Segundo este autor, ela traz junto de si uma grande capacidade de agregar valor ao produto. Mas, para que isso aconteça é necessário criar uma infra-estrutura para integrar tanto as funções logísticas da administração de materiais e distribuição física quanto às funções logísticas ligadas à manufatura, de modo a criar um único sistema estratégico com objetivo básico de atender às necessidades dos clientes. Dessa forma, após a estruturação e a organização da cadeia de suprimentos para uma fábrica, se deve partir para o planejamento logístico de todos os fluxos de serviços, de materiais, de componentes, de mão-de-obra e, de informações, de abastecimento e de armazenamento de materiais e

componentes, de forma que todo o sistema da cadeia se torne um bloco de atividades totalmente integradas e coordenadas. Também, Bowersox et alii, op. cit., confirmam isso ao dizer que a logística é um processo que cria valor ao produto por ter o estoque adequado no lugar e no tempo certo, sendo ela uma combinação do gerenciamento de pedidos, do estoque, do transporte, do armazenamento, do manuseio de materiais e da embalagem de uma empresa integrados por uma rede de instalações.

É também reconhecendo isso, que Bowersox et alii, op. cit., dizem que:

“O maior desafio da gestão integrada é redirecionar a tradicional ênfase na funcionalidade em um esforço para se concentrar na realização de um processo com o menor custo total.”

A logística trabalhou e ainda trabalha em muitas empresas para se obter um processo de gestão integrado dentro de uma empresa individual, embora esse conceito logístico seja ultrapassado. Hoje, um dos desafios da gestão da cadeia de suprimentos é integrar as operações em diferentes empresas participantes de uma mesma cadeia de suprimentos, devendo os seus membros planejarem e implementarem operações em conjunto, o que pode ser encarado como uma excelente maneira de sincronizar as operações da cadeia de suprimentos.

Segundo Vieira, op. cit., e Bowersox et alii, op. cit., a sincronização da cadeia de suprimentos busca coordenar o fluxo de materiais, produtos e informações entre parceiros da cadeia, para reduzir o trabalho duplicado e a redundância indesejada. Ainda de acordo com esses autores, a sincronização tem como consequência a reestruturação das operações internas de empresas individuais, o que abre chance para a potencialização da capacidade total da cadeia de suprimentos. Mas, para que isso se cumpra, é preciso fazer em conjunto um adequado planejamento logístico, abordando o trabalho de cada empresa participante da cadeia de suprimentos. Só assim o processo de integração realmente surtirá efeito.

#### 4.5 - As funções logísticas na cadeia de suprimentos e seus fatores determinantes

Segundo Vieira, op. cit., a função da logística é solucionar problemas de descontinuidade de produção, de estoques indevidos, fatos que repercutem diretamente na produtividade e nos custos. Os estoques desnecessários são fatores que dão origem a problemas sérios como deterioração de materiais, ocupação de espaços preciosos no canteiro, além de desperdiçar recursos humanos na movimentação sem planejamento de materiais. Também, se procura

prevenir problemas de interferências entre tarefas, fazendo com que a tarefa executada anteriormente se constitua a área de trabalho adequada para a tarefa posterior, evitando retrabalhos e perdas de tempo, tão comuns na construção de edifícios.

Algumas definições aqui consideradas mais acertadas a respeito da logística são apresentadas conforme descritas pelos seus autores, como se pode verificar a seguir:

*“A logística é o processo de gerenciar estrategicamente a aquisição, movimentação e armazenamento de materiais, peças e produtos acabados com o fluxo de informações associado por meio da organização e seus canais de marketing, de modo a poder maximizar as lucratividades presentes e futuras pelo atendimento aos pedidos a baixo custo”* (CHRISTOPHER, 1997).

“A logística pode ser definida como o planejamento e a operação dos sistemas físicos, informacionais e gerenciais necessários para que os insumos e produtos vençam condicionantes especiais e temporais de forma econômica” (DASKIM, 1985).

*“A logística é o processo de planejar, coordenar, implementar e controlar, de forma eficiente e econômica, o fluxo de materiais, serviços e mão-de-obra, o armazenamento e o fluxo de informações correspondentes a todo o sistema, da origem ao destino final, objetivando o atendimento às necessidades dos clientes internos, intermediários e finais da cadeia de suprimentos com o mesmo nível de interesse”* (COUNCIL LOGISTIC MANAGEMENT, 2007, tradução nossa).

A definição do Concil Logistic Management (CLM) é a mais abrangente definição de logística aqui apresentada. Assim, esta é aqui considerada a melhor delas, a mais completa e mais moderna, pois dá importância ao gerenciamento integrado dos principais fluxos de materiais, de serviços, de mão-de-obra, além dos fluxos de informações, tendo como o principal objetivo a satisfação dos clientes ou consumidores.

Vieira, op. cit., diz que “o nível de serviço logístico é a qualidade com que um fluxo de materiais e serviços é administrado para o atendimento às necessidades dos clientes aos menores custos possíveis.”

“O valor na logística é expresso em termos de tempo e lugar” (BALLOU, 1997). Dessa maneira, os produtos e serviços têm pouco ou nenhum valor se os clientes internos e externos não podem obtê-los no tempo e no lugar esperados, com as especificações corretas.

Então, o objetivo da gestão logística é proporcionar, simultaneamente, o máximo nível de serviço ao menor custo total, agregando valor ao cliente. Segundo Bowersox et alii, op. cit., a questão estratégica fundamental da logística é como ter um desempenho melhor que o dos concorrentes, com uma boa relação custo-benefício.

Conforme o que já foi exposto no item 4.3, e o que será mais explicado no item 3.7 (mostra as peculiaridades da construção civil), não existe a preocupação da empresa construtora em atender a necessidade do comprador do imóvel, entregando-lhe o bem produzido no lugar desejado, uma vez que o bem é fixo, e não móvel. A não existência da distribuição física do produto pode ser notada na comparação entre as figuras 2 e 3 apresentadas anteriormente. Por isso, a agregação de valor logístico ao cliente nesse setor industrial não inclui a distribuição do produto no mercado. No entanto, o valor percebido pelo comprador envolve os fatores tempo e qualidade, no que tange a capacidade da empresa em gerir os seus prazos de execução dos serviços, mantendo a qualidade do produto especificada.

Segundo Granemann (1995), o nível de serviço também pode ser definido como a medida de desempenho no atendimento aos pedidos do cliente pelo fornecedor, assim como o fator chave dos valores logísticos que as empresas oferecem aos seus clientes para assegurar a sua fidelidade.

Portanto, um fator chave no gerenciamento das atividades logísticas é a análise do nível de serviço, segundo as medidas de desempenho típicas para a indústria seriada, as quais serão apresentadas na tabela 2 do item 4.10.1. Conforme se pode perceber na coluna nomeada de serviço ao cliente da tabela 2, para melhor entendimento, uma das formas de medir o nível de serviço é pelo tempo gasto entre o pedido e o recebimento do produto pelo cliente (“lead-time” ou tempo de ciclo de pedido), ou pelo percentual de pedidos devolvidos, ou pela disponibilidade de estoque, entre outras.

Outro fator chave no gerenciamento das atividades logísticas para análise do nível de serviço é o gerenciamento de custos totais de atividades da empresa, conforme os exemplos de medidas típicas de desempenho adotadas pela indústria seriada dispostos na coluna nomeada de gerenciamento de custos desta mesma tabela 2.

O conceito de custo total se baseia no fato de que alguma ação no sentido de reduzir custos individuais de uma atividade logística não necessariamente implicará na redução do custo total das atividades da empresa (BOWESOX; LAMBERT, op. cit., 1993). Dessa forma, para alcançar o menor custo total do processo tem que se equilibrarem as compensações existentes entre funções, atendendo o princípio conhecido como “trade-off”, melhor explicado a frente.

Ao aumentar o nível de serviço ao cliente, para melhor atender as suas necessidades e/ou exigências, aumenta-se o custo logístico total da cadeia de suprimentos.

Logo, para se tomar qualquer decisão num processo logístico deve-se fazer um balanceamento entre os custos envolvidos na realização de todas as atividades da empresa, de maneira que a

redução ou o aumento do custo de alguns itens leve realmente a redução do custo total, o qual é constituído de:

- a) Custo de transporte (Ct): é o custo de transporte externo, tais como fretes, distâncias percorridas, tipo de transporte utilizado;
- b) Custo de armazenamento e movimentação interna (Ca): é o custo das instalações das áreas para armazenamento ou processamento de componentes, equipamentos de movimentação e de segurança, de pessoal encarregado pela movimentação de materiais e segurança da obra;
- c) Custo de estoque (Ce): é o custo do capital ou custo de oportunidade, custos com seguros, custo de risco de estoque (furtos e perdas), custo do espaço de estoque;
- d) Custo de processamento de pedidos (Cp): é o custo administrativo gerado para processar o recebimento de materiais, para distribuir o produto externamente (este tipo de custo não ocorre na construção civil, pois nesta o produto é um bem fixo), bem como o custo da informação para processá-los;
- e) Custo direto do produto ou serviço (Cd): é o custo de aquisição do produto ou serviço.

$$\text{Custo Total} = Ct + Ca + Ce + Cp + Cd$$

Para melhor compreensão disso, é preciso imaginar diversos cenários com perdas e ganhos ou compensações entre as atividades de um processo produtivo, “trade-off”, o qual busca sempre um menor custo total, somado a um maior nível de serviço possível. A maioria dos profissionais de compras hoje reconhece que, embora o preço de compra continue sendo uma atividade importante numa organização para a redução dos custos, representa apenas uma parte do custo total da cadeia. Então, para que a atividade de suprimento colabore para a redução do custo total da cadeia de suprimentos tem-se que considerar a interação dessa atividade com as demais da cadeia.

Isso é mostrado na figura 4 a seguir, na qual o cenário 1 existe a um baixo custo de transporte (Ct), a um alto nível de serviço, porém, a um custo total mais alto dos três cenários apresentados. Já o cenário 2 existe a um custo de transporte alto (Ct), contudo o custo total é menor do que o do cenário 1 a um nível de serviço igual a este. No cenário 3, o custo direto (Cd) é maior do nos outros dois cenários, o custo total igual ao do cenário 2, porém, o nível de serviço é menor do que este. Portanto, o cenário 2 representa a melhor situação, uma vez que possui, simultaneamente, o maior nível de serviço a um menor custo total, diferenciando-se dos outros dois casos.

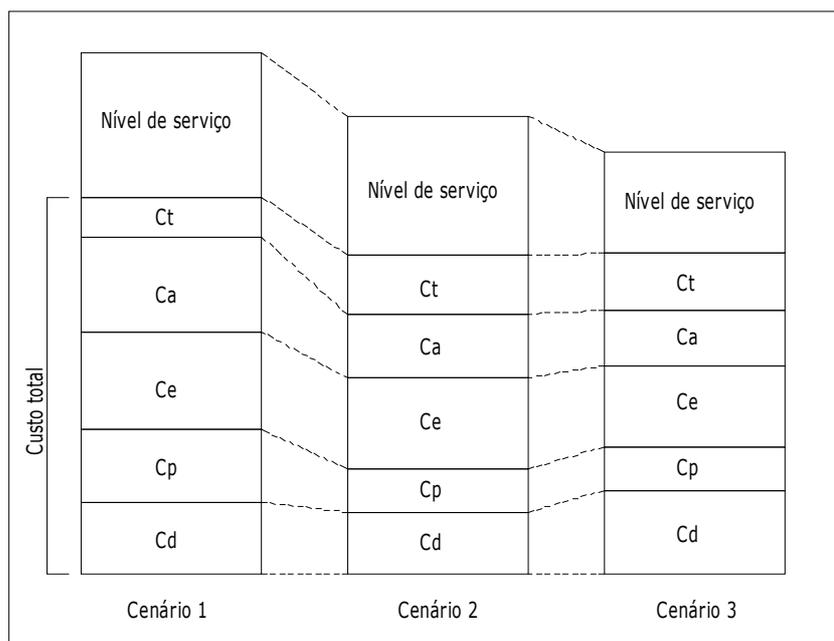


Figura 4 - Análise de perdas e ganhos no nível de serviço no custo total em diversos cenários.

Sendo assim, para atingir um maior nível de serviço a um menor custo total do processo da cadeia de suprimentos se deve promover uma maior integração entre as atividades por meio da logística, pela qual se podem gerenciar os fluxos de operários, de equipamentos, de materiais, de informação e de capital (fluxo de caixa ou financeiro). E essa excelência produtiva da cadeia de suprimentos é obtida com o aumento da velocidade do fluxo de informações, meios de entrega mais rápidos que possibilitem a redução de estoques, reduzindo os desperdícios na busca incessante da melhoria contínua.

Além disso, para atingir esse mesmo objetivo de redução de custos, é preciso desenvolver uma estratégia de compras de matérias-primas e componentes, localizando fornecedores competentes, com os quais se devem desenvolver um relacionamento de parceria duradouro. Esse relacionamento deve ser baseado na melhoria contínua da eficiência produtiva, juntamente com a qualidade especificada dos produtos e serviços a um menor custo total da cadeia de suprimentos.

Outro principal objetivo da logística em todas as áreas operacionais é reduzir a incerteza do ciclo de atividades quanto ao atendimento dos prazos planejados, pois, a sua estrutura, as condições operacionais e a qualidade das operações logísticas geram variações operacionais aleatórias (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, op. cit.). O atraso do tempo no desempenho em

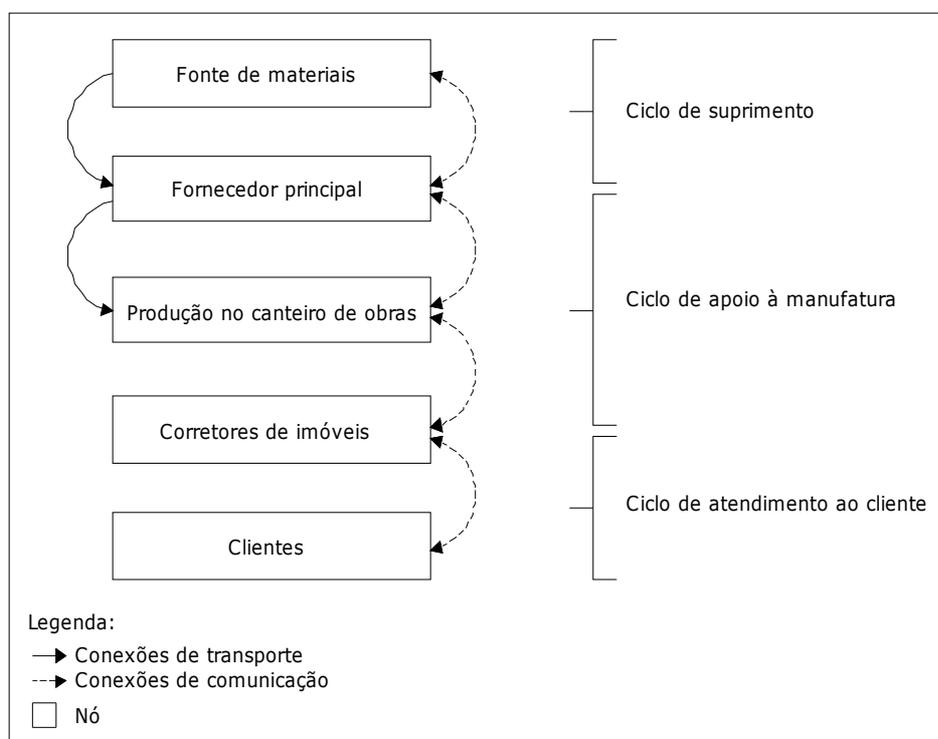
qualquer ponto ao longo da cadeia de suprimentos resulta em potencial de paralisação das operações. Também, quando o desempenho é mais rápido que o planejado, é necessário um trabalho não planejado para manusear e armazenar o estoque que chega adiantado. É por isso que é tão importante a consistência operacional, sendo inconvenientes as despesas relacionadas às entregas atrasadas ou adiantadas.

Portanto, segundo Bowersox et alii, op. cit., um planejamento logístico e a sua sincronização irão depender do ciclo de atividades, que é representado pelos trabalhos específicos que abrangem desde a identificação das necessidades até a entrega do produto. Esse ciclo de atividades é composto pelos elementos de trabalho necessários para completar a logística relacionada ao atendimento ao cliente, à manufatura e ao suprimento. Assim, em um nível básico, a logística informacional e a de transporte devem conectar todas as empresas que operam em uma cadeia de suprimentos.

Para melhor entendimento disso, a figura 5 a seguir mostra as localizações operacionais típicas da construção civil conectando a cadeia de suprimentos de estrutura escalonada, a qual representa a realidade da construção civil, por meio de informações e transportes de produtos que circulam entre nós. Dessa forma, são relacionados os três tipos de ciclos de atividades que compõem a cadeia de suprimentos da construção de edifícios, tais como:

- Ciclo de compras, o qual envolve a logística de suprimento que liga o fornecedor ao cliente construtora (envolve a logística de suprimentos);
- Ciclo de manufatura, que envolve a logística de apoio à produção (envolve a logística de canteiro);
- Ciclo de atendimento ao cliente final da cadeia de suprimentos, também chamado de serviço ao cliente, que busca um melhor desempenho dos materiais e também melhor desempenho logístico para a distribuição física do produto ao consumidor (logística de distribuição física). Esta logística não ocorre na construção de edifícios, pois o produto apartamento é um produto imóvel (fixo). Porém, o ciclo de atendimento ao cliente se faz cumprir pelo atendimento ao prazo pré-combinado para entrega do apartamento ao cliente final da cadeia de suprimentos nas condições de qualidade especificada do produto/apartamento (a qualidade é especificada nos memoriais descritivos, cadernos de encargos, contratos e projetos do produto ou executivos).

Figura 5 - Ciclos de atividades ou de desempenho logístico (adaptado de



BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2006).

É também possível se identificar na figura 5 os ciclos de atividades, os quais envolvem ativos em estoque, que são medidos em termos de nível de investimento em ativos alocados para apoiar as operações em um nó ou enquanto um produto ou material está em trânsito. É nos nós e entre eles que o trabalho relacionado à logística é realizado. O estoque é armazenado e flui através dos nós, exigindo uma variedade de tipos de manuseio de materiais e, quando necessário, o armazenamento.

Bowersox et alii, op. cit., descrevem que “o ciclo de atividades logístico é uma unidade básica do projeto e do controle operacional da cadeia de suprimentos, sendo o alicerce para a implantação da logística integrada numa cadeia de suprimentos.”

O alto nível de sofisticação tecnológica necessário para a implantação dos sistemas de planejamento das necessidades de materiais (MRP) serve para apoiar as organizações industriais complexas, tais como a produção de edifícios no canteiro de obras, por meio de aplicações de softwares como sistemas avançados de planejamento e programação. Assim, por meio desses “softwares” é possível lidar com sistemas de alta complexidade informativa, tais como as incertezas na duração dos ciclos de atividades construtivas, como o

gerenciamento da enorme quantidade de insumos disponíveis e necessários para movimentar a produção, como os limites de capacidades de produção das máquinas e equipamentos utilizados, assim como as outras peculiaridades e incertezas proporcionadas pela forma de construção ainda muito artesanal no Brasil (vide item 3.7).

Ainda de acordo com Bowersox et alii, op. cit., a logística integrada é essencial para a conectividade efetiva da cadeia de suprimentos, pois serve para vincular e sincronizar essa cadeia como um processo contínuo, sendo, portanto, um subconjunto da gestão da cadeia de suprimentos.

Então, segundo estes autores, conforme se pode observar na figura 6 adiante, o contexto de uma cadeia de suprimentos integrada na indústria seriada é a colaboração entre muitas empresas dentro de uma estrutura dos principais fluxos e restrições de recursos. Assim, eles demonstram que os fluxos de informação, de produto, de serviço, financeiro e de conhecimento (gestão de relacionamentos) fazem parte de uma estrutura de cadeia de suprimentos que poderão tornar-se estratégicos, quando resultantes de esforços para alinhar operacionalmente uma empresa aos clientes, bem como às redes de apoio de distribuição e fornecimento para obtenção de vantagem competitiva. Essa vantagem competitiva só é alcançada utilizando a logística integrada como condutor principal dos fluxos de informação, de serviços e de materiais no arranjo da cadeia de suprimentos (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, op. cit.).

Conforme se pode observar, também é possível notar na figura 6, não só as direções dos fluxos da estrutura integrativa da cadeia de suprimentos, mas também uma ampla gama de competências e capacidades. Isso forma uma estrutura logística da cadeia de suprimentos, que serve para facilitar as operações por meio da integração logística de tarefas, funções, capacidades e competências básicas (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, op. cit.).

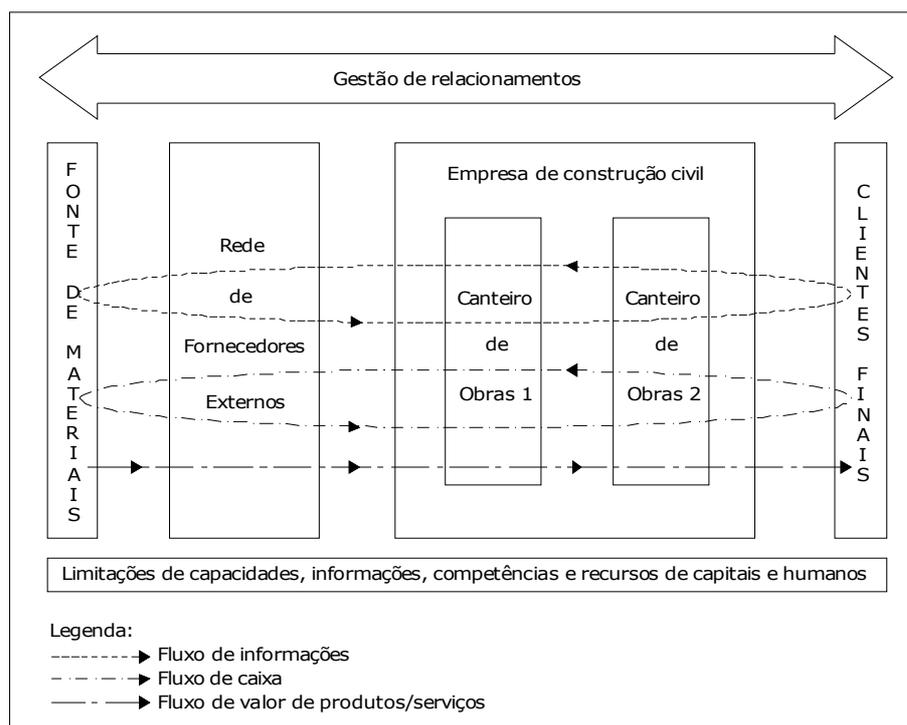


Figura 6 – Fluxos logísticos na cadeia de suprimentos integrada da construção civil  
(adaptado de BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2006).

Obs.: No fluxo de informação se deve considerar o compartilhamento de conhecimentos para o aumento da eficiência produtiva da cadeia de suprimentos.

Ainda de acordo com a figura 6, o sistema produtivo em uma cadeia de suprimentos com o apoio da logística integrada é descrito por Bowersox et alii, op. cit., assim:

O fluxo de valor de produtos/serviços representa a movimentação com valor agregado de produtos e serviços que acontecem da fonte de matéria-prima até os clientes finais. À medida que flui ao longo da cadeia de suprimentos, o valor do produto aumenta como resultado de modificações físicas, proximidade com o mercado, personalização, apoio a serviços e atividades relacionadas que aumentam o desejo do produto pelo consumidor final. O fluxo de informações é o intercâmbio bidirecional de dados de transação, situações de estoque e planos estratégicos entre os participantes da cadeia de suprimentos. Já o caixa da construtora normalmente flui na direção contrária das atividades com valor agregado. Todos esses fluxos ocorrem entre empresas, mesmo quando a cadeia de suprimentos não é integrada. Todavia, situações caracterizadas por pouca coordenação e integração entre participantes da cadeia normalmente resultam em atrasos, redundâncias e ineficiências. Para facilitar os fluxos eficazes e eficientes da cadeia de suprimentos, as competências e suas capacidades de apoio

devem ser integradas. Sendo assim, a velocidade do fluxo de caixa e da utilização de ativos, resultantes de uma excelente coordenação e integração entre os membros da cadeia de suprimentos, é fundamental para o desempenho superior da cadeia de suprimentos.

Um dos objetivos principais da sincronização das atividades por meio da logística integrada, conforme Vieira, *op. cit.*, e Bowersox et alii, *op. cit.*, é a potencialização de competências e a minimização do tempo ocioso de estoque, integrando diretamente o estoque ao processo de agregação de valor ao cliente, sem que o produto seja colocado em locais no canteiro de obras ou na fábrica que impeçam a sua movimentação contínua. Isso é comum acontecer nos canteiros de obras no Brasil, porque são geralmente desorganizados. A organização dos canteiros é dificultada pela ainda grande utilização de processos produtivos artesanais, nos quais estão ausentes sistemas construtivos baseados na industrialização, com alta utilização de pré-moldados na construção civil.

Bowersox et alii, *op. cit.*, definem o tempo ocioso como uma medida significativa da produtividade da cadeia de suprimentos, sendo ele uma proporção entre o tempo que um ativo fica parado e o tempo necessário para satisfazer a sua missão na cadeia de suprimentos.

A principal virtude da logística é o enfoque sistêmico que ela fornece ao fluxo de atividades, procurando sempre a perfeita coordenação e integração entre as interfaces das atividades existentes numa cadeia de suprimentos. Essa importância da gestão logística no canteiro de obras ficará mais clara adiante, no estudo de caso apresentado no item 5, esclarecendo porque a escolha de uma tecnologia ou de um tipo de material a ser empregado numa atividade construtiva de edifícios interfere nos fluxos de materiais e serviços no canteiro de obras.

Portanto, é preciso criar uma nova mentalidade que admita que o sucesso do empreendimento independe da concorrência de metas entre atividades, mas depende da capacidade de sincronizar todos os elos da corrente da cadeia de suprimentos num único mecanismo, capaz de gerar o benefício geral, que é a elaboração de um produto que atenda às necessidades do cliente e resulte num lucro esperado pelas empresas (VIEIRA, *op. cit.*).

#### 4.6-A técnica “Just-in-time” aplicada à logística

São nove os sintomas da ineficiência no gerenciamento dos materiais em seis obras pesquisadas na Dinamarca, segundo Spbertelsen e Nielsen (1997), os quais servem de parâmetros para a avaliação do mau gerenciamento, tais como: excesso de transporte interno;

alto volume de estoque no canteiro; perdas excessivas; falta de materiais; falha nas entregas de materiais e componentes; devolução de muitos materiais; danos a serviços já executados.

De acordo com esses autores, foi realizado um planejamento logístico global do empreendimento, utilizado uma abordagem “just-in-time” (JIT) nas entregas diárias de materiais, além de planos detalhados de suprimentos e reuniões semanais. Com isso, houve reduções nos consumos dos materiais e no ciclo de atividades na produção, melhorias da qualidade e das condições de segurança no canteiro, redução dos estoques no canteiro, dinamização dos fluxos de materiais e a conseqüente melhoria da eficiência logística.

A técnica JIT tem o principal objetivo de conseguir o desejado nível de serviço esperado pelo cliente, incluindo nisso a minimização do custo total de produção pela estratégia de manter o mínimo de estoque necessário para funcionar os processos produtivos, sem interromper em momento algum o funcionamento da produção por falta de estoque ou provocar alterações nos planos de produção, o que também aumentaria o custo total da cadeia (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, op. cit.). É também primordial atentar-se para o fato de que o excesso de estoque pode camuflar deficiências no processo produtivo, compensando deficiências no planejamento logístico resultante de um projeto de produção falho ou fora da realidade, acabando por culminar em um custo logístico mais alto do que o necessário.

Uma idéia de sucesso aplicada nessas obras foi a criação de pacotes ou kits de materiais, chamados de unidades, que eram dimensionados na quantidade certa para serem usados no dia. Contudo, isso foi possível porque apenas três tipos de fornecedores conseguiam cobrir todos os tipos de materiais fornecidos.

De maneira complementar a experiência dinamarquesa citada anteriormente, Agapiou et alii (1998) sistematizaram um modelo logístico teórico composto de diversas ferramentas de gestão, descritas na tabela 1 adiante, focadas na logística de suprimentos, que são aplicáveis a quaisquer obra.

Tabela 1- Componentes de um modelo logístico de gestão.

Ferramentas	Descrição
Coordenação de materiais.	Atribuição de um responsável pelo gerenciamento da logística durante o processo de construção.
Programação de pedidos.	Uma versão detalhada do plano de suprimentos cobrindo um período de três semanas. A programação é feita pelo coordenador, com a cooperação de cada subcontratado.
Plano de suprimentos.	Indica datas previstas de entregas de lotes de materiais para toda a duração da obra. Este plano é especificado pelo coordenador de materiais em cooperação com cada fornecedor e subcontratado.
Planos de descarregamento.	Estes planos indicam onde os materiais fornecidos diariamente devem ser descarregados no canteiro de obras
Especificação de unidades.	Uma unidade é um lote contendo os materiais necessários para o trabalho de uma equipe num local específico no canteiro e num determinado tempo. Toda a obra deve ser dividida em unidades. O conteúdo de cada unidade de especificada para cada subcontratado envolvido. O planejamento dessas unidades deve ser especificado pelo fornecedor em acordo com o coordenador de materiais.

Fonte: (AGAPIOU; CLAUSEN; FLANAGAN; NORMAN; NOTMAN, 1998).

Por conseguinte, como se pode observar na tabela 1, as especificações do contrato com os fornecedores, a forma de suprimentos para o canteiro de obras e o sistema de distribuição devem ser analisados na implantação do JIT para cada tipo de material. Também, conforme Akintoye (1998) e Christopher (op. cit.), algumas transformações em aspectos chaves no processo de gestão das empresas e das obras devem ocorrer, tais como: redução do número de fornecedores; alto nível de união em termos de planejamento e comunicação entre parceiros da cadeia de suprimentos; maior integração entre os projetos do produto (projetos executivos) e o processo (projetos de produção); disciplina no planejamento e programação das necessidades; educação e treinamento dos dirigentes e operários para trabalhar com esses princípios; desenho do “layout” ou instalações físicas e da movimentação dos equipamentos de transporte para facilitar o carregamento e o descarregamento dos materiais e componentes. Todavia, conforme esses autores, nem sempre é viável a adoção de tal sistema, devido: a obras localizadas distantes dos centros fornecedores e com espaço suficiente para a estocagem de materiais, o que pode se tornar mais vantajoso economicamente a manutenção de níveis de estoques mais elevados; a dificuldade em se manter a produtividade estável; a dificuldade

com o transporte, formação de lotes e necessidade de uniformidade das peças. Isso faz com que seja difícil a encomenda de pequenos lotes.

Porém, para a maior racionalização da produção no canteiro de obras é preciso que sejam aos poucos adotados estrategicamente alguns princípios do JIT, à medida que eles forem se tornando viáveis à construção de edifícios.

#### 4.7-Peculiaridades do sistema produtivo da construção civil

O processo produtivo na construção civil é muito complexo e variável, diferenciando-se em muito da indústria seriada. Isso dificulta o estabelecimento de soluções de padrão contínuo na organização do setor, criando assim obstáculos à sua evolução. São inúmeras as diferenças na manufatura entre essas duas modalidades industriais. Por isso, é de grande importância enumerar as características peculiares da cadeia de suprimentos da indústria da construção civil, para que se possa trabalhar proativamente com a gestão da logística de canteiro, de modo que ela realmente auxilie os processos de produção de edifícios, tornando-os cada vez mais eficazes a um custo total cada vez menor. Foi pensando assim, que o autor Vieira, op. cit., tratou de classificá-las da seguinte maneira:

- Produto imóvel, sendo os operários que se deslocam ao longo dos postos de trabalho;
- Indústria móvel, tendo os membros participantes da manufatura no canteiro de obras de se deslocarem para onde será realizada a obra;
- Emprego da mão-de-obra tem caráter eventual, com poucas possibilidades de promoção, o que gera baixa motivação para o trabalho;
- Mão-de-obra desqualificada e de alta rotatividade;
- Tempo elevado de produção de uma unidade do produto, o que resulta em conversão de caixa e giro de estoque mais demorado;
- Custo de produção de uma unidade do produto extremamente elevado;
- Produção sujeita às intempéries;
- Procedimentos e responsabilidades sem padrão contínuo;
- Cria produtos únicos e não-seriados, dificultando a padronização dos procedimentos devido à baixa repetitividade;
- Especificações, como memoriais descritivos, cadernos de encargos e projetos executivos, quando disponíveis em tempo hábil são geralmente muito complexas e confusas;

- Falta de compatibilidade entre os projetos executivos devido a não colaboração e falta de troca de informações entre os projetistas na fase de concepção de projetos (pois este problema não é inerente à produção no canteiro de obra);
- Enorme variedade de itens de materiais a serem monitorados nos processos da cadeia de suprimentos;
- Responsabilidades muitas vezes dispersas, com zonas de trabalho sem responsáveis explícitos;
- Muitos processos artesanais, com possibilidades limitadas para automatização, sendo que as atividades desenvolvidas, em sua maioria, são realizadas pelas próprias mãos dos trabalhadores, com o uso de ferramentas manuais e totalmente dependente de suas habilidades, de seus conhecimentos técnicos e dos hábitos obtidos no trabalho ao longo dos anos;
- Muitas interfaces e interveniências entre tarefas, com operações ocorrendo em paralelo;
- O cliente final é quem vai ao encontro do produto, não precisando da logística de distribuição física.

Sterman (1992), conforme citado pelo autor Vieira, *op. cit.*, diz que os empreendimentos de construção pertencem à classe de sistemas dinâmicos, complexos e despadronizados. Segundo esse autor, esses sistemas são constituídos de múltiplos componentes interdependentes, intervenientes, dinâmicos, envolvendo vários ciclos de controles e com relações não lineares. Isso só é possível na construção civil, segundo Vieira, *op. cit.*, com uma administração efetiva e eficiente da cadeia de suprimentos por meio da gestão logística integrada, que pode ser proporcionada pelas estratégias de planejamento, pela TI, juntamente com as suas tecnologias operacionais (ferramentas tecnológicas) e um sistema estratégico de parceria entre fornecedores e clientes intermediários. Isso ocorre porque a TI e as suas ferramentas tecnológicas habilitam a empresa para a utilização de um sistema estratégico de parcerias entre fornecedores e clientes por meio da resposta eficiente ao consumidor (“efficient consumer response” - ECR), o qual pode melhorar substancialmente o relacionamento e a confiança entre todos os agentes da cadeia de suprimentos. Esse é um caminho para a solução inteligente do problema da grande complexidade e da enorme variabilidade dos processos produtivos na construção civil, os quais não seguem a um padrão contínuo, conforme a indústria seriada. Essas implementações tecnológicas e gerenciais podem contribuir significativamente para que os objetivos estratégicos das construtoras sejam rapidamente

atingidos, promovendo agilidade nas operações e uma melhoria contínua da qualidade dos serviços e dos materiais e componentes, agregando valor ao produto.

#### 4.8-A nova ordem no relacionamento da cadeia de suprimentos

O modelo tradicional de relacionamento na comercialização entre fornecedores e clientes na cadeia de suprimentos, o qual é dominante desde a revolução industrial, tem como alicerce a previsão de demanda dos clientes. Esse é um tipo de relacionamento de negócios já ultrapassado e enfraquecido desde a sua concepção, pois as empresas não se sentem compelidas a compartilhar informações e seus planos, com o intuito de protegerem o seu próprio interesse. Assim elas não revelam as suas estratégias de atuação no mercado. Dessa forma, o vínculo entre as empresas é fraco, obrigando aos fornecedores calcularem os seus estoques baseados em previsões de demanda, as quais resultam, na maioria das vezes, em excessos ou falta de componentes e produtos. Em ambas as hipóteses acarretam um aumento de custo para cadeia de suprimentos por causa do descompasso criado entre o que as empresas planejam e o que elas de fato produzem para atender ao mercado.

Atualmente, devido à grande disponibilidade de informações a um baixo custo, que é o impacto direto da TI e de suas ferramentas tecnológicas, surgiu um novo modelo de comercialização reativo, o qual busca reduzir e até eliminar a necessidade de previsões. Isso é obtido por meio de um planejamento em conjunto, da troca rápida e precisa de informações entre os membros da cadeia de suprimentos. Dessa maneira ocorrem maior controle e sincronização das operações, reduzindo estoques, eliminando práticas duplicadas dispendiosas e favorecendo o recebimento mais rápido dos produtos pelos clientes.

Esse impacto positivo da TI é confirmado pelos autores Bowersox et alii, op. cit., quando dizem que “a melhora geral na TI tem tornado as operações flexíveis parte da estratégia logística básica”.

Um aspecto importante a ser observado é que nos sistemas tradicionais de distribuição preventiva, o cliente, tanto o interno quanto o externo à empresa, é apenas um mero participante passivo, tendo um único poder que é o de decisão de comprar ou não o produto. Já nesse novo sistema reativo de comercialização, no qual a informação é rápida e de fácil acesso, o cliente tem a capacidade de expandir a gama de fontes e opções de produtos ou serviços a serem escolhidos para a compra, além de gozar da prerrogativa de estar mais bem

informados sobre os preços praticados no mercado. Dessa forma, o cliente pode customizar e montar a configuração do seu produto em pedidos com menores quantidades a serem fornecidas.

Esse novo modelo de negócios é denominado de resposta eficiente ao consumidor (“Efficient consumer response” – ECR), que é uma estratégia do sistema de parceria fornecedor-cliente para melhorar o fluxo produtivo e o desempenho logístico da cadeia de suprimentos, minimizando o seu custo total. O planejamento de recursos empresariais (“Enterprise resource planning” – ERP), marcado pelo uso intenso do intercâmbio eletrônico de dados (“Electronic data interchange” – EDI) e internet, é caracterizado por possibilitar uma forte aliança entre os parceiros comerciais, identificando os produtos na cadeia de suprimentos por meio do código de barras. Outro aspecto marcante nesse modelo é a padronização dos meios de transporte para facilitar o escoamento de produtos.

As vantagens obtidas, segundo Vieira, op. cit., pela adoção da cadeia de suprimentos ao novo sistema de parceria ECR são:

- A garantia pelo fornecedor de ressuprimento contínuo de mercadorias ao cliente;
- A possibilidade de conhecer melhor o perfil do cliente, podendo com isso satisfazer melhor as suas exigências;
- A criação de um ambiente de maior confiança entre os membros da cadeia, fazendo com que as informações fluam mais rapidamente e com maior precisão, sem papéis e com menor burocracia;
- O aumento das opções de produtos para serem escolhidos para compra;
- A redução do custo total da cadeia de suprimentos;
- As reduções dos custos com estoques devido à diminuição de seus níveis, com a conseqüente redução dos gastos com manutenção e perdas de materiais armazenados;
- As reduções de itens em falta nos estoques, o que provoca um aumento de custo por interrupção de produção;
- O relacionamento de confiança mútuo entre parceiros da rede de suprimentos;
- O maior esforço em conjunto entre fornecedores e clientes, internos e externos, na identificação de oportunidades de melhorias nas práticas comerciais e no uso de novas tecnologias.

A ECR procura agregar maior valor aos produtos e serviços para o consumidor, minimizando custo por meio da melhoria da eficiência dos processos, com giro mais rápido dos estoques, mantendo melhores níveis de inventários e uma maior variedade de produtos. Essa maximização do nível de serviço ao cliente pode ser decisiva na determinação da sua fidelidade ao fornecedor, estabelecendo um relacionamento mais duradouro, o qual beneficia a todos os participantes da cadeia de suprimentos. Para que isso seja possível, esses participantes têm de coordenar um conjunto de atividades em sintonia por meio de um amplo sistema de monitoramento dos processos entre as empresas parceiras.

Um exemplo prático disso é quando uma empresa, por comprar grande variedade e quantidade de itens, efetua sistemas de parcerias com fornecedores, ou seja, pratica a ECR por meio de acordos formais prévios (contratos), preestabelecidos por parâmetros e regras com relação ao transporte de materiais, da qualidade e das características dos produtos e serviços fornecidos, dos preços e frequência de entregas, entre outros. Esses parâmetros prevêm quantitativos de estoques mínimos para os diversos produtos, que quando é atingido o ponto de ressuprimento de um componente, que é o estoque mínimo estabelecido em contrato, dispara o sinal, acusando para o fornecedor a necessidade de tal material, que é imediatamente por ele providenciado. Isso é conhecido como estoque gerenciado pelo fornecedor. Caso a empresa não se disponha do sistema de EDI, o alarme é disparado para o setor de compras da construtora (cliente dos fornecedores de produtos), o qual terá de transmitir as informações da suas necessidades de materiais para o fornecedor por meio da internet. Neste caso é chamado de estoque gerenciado pelo cliente.

Segundo Fleury et alii (2000), os fatores que determinam a maior necessidade de trabalhar para um maior desempenho da ECR são:

- A descontinuidade produtiva, tão comum na construção civil, ou tarefas interrompidas pela falta de material, ocorre devido a não disponibilidade de produtos no mercado fornecedor ou pelo planejamento ineficiente das necessidades de materiais e serviços pela construtora. Isso eleva os custos de produção pela interrupção da produção e por precisar de maiores estoques de segurança, o que gera maiores gastos com manutenção de estoques e com capital imobilizado em ativos fixos;
- O tempo gasto no ciclo de atendimento a pedidos (“lead-time”) e a frequência de entrega dos produtos pelos fornecedores estão relacionados ao tamanho necessário dos lotes de ressuprimento e, conseqüentemente, ao nível de estoques de segurança. Se

isso não for devidamente balanceado, implicará em maiores custos para a rede de suprimentos;

- Quanto menor a consistência do prazo de entrega do fornecedor, maiores serão os estoques de segurança, aumentando os custos de manutenção de estoques.

A gestão da cadeia de suprimentos, com uma nova ordem de relacionamentos da cadeia baseada no modelo reativo, consiste na colaboração entre as empresas para impulsionar o posicionamento estratégico e para melhorar a eficiência operacional (COOPER; CLOSS; BOWERSOX, op. cit.).

Ohnuma e Cardoso (2003) definem o conceito de gestão como uma rotina gerencial que englobava as atividades gerenciais relacionadas com o planejamento, com o controle e com ação de melhoria para as quais devem existir responsabilidades claramente definidas para todos os envolvidos num determinado processo. Nada mais do que isso é contemplado por esses autores. Por outro lado, o autor Pires (1995) constata que o conceito de gestão aplicado à cadeia de suprimentos pode ser entendido como uma extensão da logística de suprimentos acrescida de atividades com características gerenciais e estratégicas, o que inclui as parcerias como alianças estratégicas. Por isso, a gestão passou a incluir também o item relacionamento, buscando uma quebra de fronteiras organizacionais das empresas componentes de uma mesma cadeia de suprimentos (fornecedores e clientes primários). Assim, procura-se um maior estreitamento nos relacionamentos entre as empresas participantes da cadeia de suprimentos, com o intuito de resolverem problemas de qualidade dos materiais adquiridos, fluxo de abastecimento e flexibilidade de pedidos. Para Pires (1995), o nível de problemas tratados, quanto à complexidade e importância, tende a evoluir com o estreitamento dos relacionamentos, passando de operacionais para estratégicos.

Segundo os autores Bowersox et alii, op. cit., a disposição em compartilhar informações sobre iniciativas estratégicas futuras facilita as operações e o planejamento estratégico em conjunto, fazendo aumentar a eficiência de toda a cadeia de suprimentos. Para que haja essa disposição, o obstáculo da desconfiança entre as empresas tem de ser vencido, o que deixaria mais evidente os custos e lucros obtidos por cada um dos participantes da cadeia. Nesse cenário, criar-se-ia uma maior cobrança entre os membros da cadeia de suprimentos por uma melhor distribuição dos benefícios e dos gastos para todos os seus membros em troca de uma maior colaboração de todos. A maior vantagem disso tudo é que a minimização do custo total da cadeia e a maximização da eficiência do processo produtivo passariam a serem perseguidos por todos os participantes da cadeia, fazendo com que o consumidor final seja o grande

beneficiário dessa gestão integrada, ganhando não só com os menores preços dos produtos e serviços ofertados, mas também com a melhoria dos mesmos (COOPER; CLOSS; BOWERSOX, op. cit.).

Um exemplo dessa vantagem obtida com um relacionamento no qual há um maior compartilhamento de informações é a possibilidade de redução dos riscos de perdas e danos relacionados com o posicionamento dos estoques.

“Assim, essa nova integração das empresas lança novos desafios relacionados a medidas de desempenho, compartilhamento de benefícios e riscos, confiança, liderança e resolução de conflitos” (COOPER; CLOSS; BOWERSOX, op. cit.).

Apesar dessa nova tendência no relacionamento na cadeia de suprimentos, restaria uma dúvida a ser esclarecida: Será que as empresas ou indústrias dominantes, por isso líderes da cadeia de suprimentos da construção civil, tais como as fábricas de cimento ou as grandes indústrias de pré-moldados, estariam dispostas a abrir mão da sua liderança, dividindo os seus ganhos com outros membros da cadeia?! Hoje, com a existência de pouca concorrência no mercado brasileiro para competir com essas mega-indústrias de fornecedores, não é o que tem acontecido. Estas empresas que lideram a cadeia estabelecem um oligopólio caracterizado como cartel no mercado, manipulando os preços e as características dos produtos com um único objetivo: a obtenção de lucros. Assim, fica evidente que num cenário mercadológico distante, os benefícios obtidos pela manufatura dos produtos por essas indústrias seriadas ainda está longe de favorecer a todos os membros da cadeia de suprimentos e, conseqüentemente, aos consumidores finais. Estes, por sua vez, continuarão a comprar os seus apartamentos por um preço ainda muito elevado e com materiais ainda inferiores em termos de qualidade. Haja vista que a indústria cimentícia em todas as localidades mundiais produz cimentos com uma superfície específica cada vez maior, visando aceleração da pega inicial do concreto e da argamassa para obter ganhos em produtividade, mas comprometendo em algumas situações a qualidade e a durabilidade do produto final.

Alguns dos problemas principais enfrentados pelas construtoras brasileiras, impedindo-as de serem empresas líderes da cadeia de suprimentos na construção civil são: o grande volume das vendas de materiais de construção e principalmente o cimento e seu derivados é realizado no varejo, enfraquecendo as construtoras nas negociações com os seus fornecedores; a maioria das construtoras é de pequeno e médio porte, gerando uma relação desigual com seus mega-fornecedores; a falta de domínio das construtoras das tecnologias construtivas, obrigando-as a depender tecnologicamente de seus fornecedores; a falta de financiamento habitacional que dificulta um fluxo significativo de compras de apartamentos, assim como a

seqüência das atividades de construção, descapitalizando e enfraquecendo as médias e pequenas construtoras; a falta de domínio sobre o assunto gestão nas construtoras, o que prejudica o planejamento realista e eficaz dos processos produtivos para ser utilizado nas negociações de prazos de entrega e preços de produtos com os seus fornecedores.

Seguindo essa mesma linha de raciocínio, não poderiam Ohnuma e Cardoso, *op. cit.*, deixarem de observar que a evolução do setor da construção civil, particularmente a da construção de edifícios, também tem sido caracterizada pela grande necessidade de um melhor tratamento da interface cliente-fornecedor, seja em um ambiente inter-organizações (empresa construtora com seus fornecedores de materiais, de serviços de execução, de projetos etc.), ou em um ambiente intra-organização (entre os departamentos/funções da empresa).

Também de acordo com Bowersox et alii, *op. cit.*, a lógica da extensão empresarial como comportamento colaborativo ou de parceria entre as empresas, estimulou perspectivas de aumento da eficiência, da eficácia e da relevância como resultado do compartilhamento de informações, do planejamento e da especialização operacional entre os participantes da cadeia de suprimentos. Todavia, para que isso aconteça é necessário que os parceiros tenham culturas e filosofias compatíveis, com uma visão estratégica comum, além de ser importante que a empresa líder da cadeia deixe de ser dominante, dividindo os benefícios e estratégias entre todos os membros participantes da rede.

Conforme Ohnuma e Cardoso, *op. cit.*, dentre os fornecedores participantes da cadeia de suprimentos da construção de edifícios, os de serviços de execução ou subempreiteiros aparecem como tendo um papel cada vez mais importante, devido a uma tendência marcante no subsetor pela subcontratação de tais serviços.

Porém, outro grande problema enfrentado pelo setor da construção civil é o baixo nível de escolaridade dos operários e dos subempreiteiros, acarretando poucas possibilidades de desenvolvimento profissional, tanto em termos técnicos, quanto em termos gerenciais e de relacionamentos.

A busca por uma integração interna na empresa entre os diversos processos (ou departamentos) envolvidos no relacionamento com fornecedores também acaba sendo uma condição a ser alcançada para que as empresas construtoras consigam melhorias (de qualidade, produtividade, etc.) na forma de gestão dos subempreiteiros, os quais são seus parceiros na cadeia de suprimentos. Embora sejam tidos como uma extensão empresarial do setor produtivo da cadeia de suprimentos, esses subempreiteiros devem receber todo apoio das construtoras, seja financeiro ou técnico e gerencial, para que assim a cadeia inteira possa

desenvolver totalmente as suas capacidades técnicas e de gestão (OHNUMA; CARDOSO, op. cit.). Isso porque geralmente os subempreiteiros são a parte mais fraca do elo que liga a cadeia de suprimentos e é comum no setor da construção eles serem explorados pelas construtoras, não recebendo delas o apoio necessário para que a sua evolução técnica e capacidade de gerir seja possível.

Segundo o autor Merli (1990), alguns desafios enfrentados para a evolução no relacionamento com os fornecedores são: limitar o número de fornecedores; não mudar facilmente de fornecedor; estabelecer relacionamentos ao longo prazo e estáveis; estabelecer um sistema de qualificação global; avaliar fornecedores por custos globais, ao invés de limitar a menores preços de compra; colaborar com os fornecedores para tornar os seus produtos mais confiáveis a um menor custo.

Assim, Merli, op. cit., define que existem quatro estágios evolutivos para a integração entre fornecedor e produtor:

Num primeiro estágio estão as empresas que dão prioridade ao menor preço de compra. Elas estabelecem uma relação de contraposição de interesses com os seus fornecedores, buscando utilizar a sua força de barganha, e controlando o recebimento de materiais. Essa relação não tem caráter duradouro;

Num segundo estágio, situam as empresas que procuram dar prioridade à qualidade dos materiais, segundo o desempenho deles, e dos serviços prestados por seus fornecedores e começam a estabelecer uma relação mais duradoura, passando, algumas vezes, a intervir nos processos deles, para que as suas necessidades sejam atendidas;

Num terceiro estágio, as empresas buscam uma maior integração de seus processos com os dos fornecedores, desenvolvendo uma logística que atenda ao interesse de ambos, procurando por um fornecimento sincronizado. Para isso, têm de desenvolver projetos do produto ou executivos e projetos de processos ou de produção em conjunto com os seus fornecedores, fazendo investimentos comuns em pesquisa tecnológica. Assim, começam a influenciar o processo produtivo de seus fornecedores.

Logo, a empresa começa a perceber que repassar os custos para os fornecedores não é o caminho para se tornar competitiva;

Num quarto estágio, existe já um alto nível de integração tecnológica e de gerenciamento, começando as empresas a fazerem parcerias com os seus fornecedores por meio de acordos formais e políticas, os quais participam também dos riscos e lucros da empresa. Dessa forma, os fornecedores se responsabilizam por parte dos subsistemas de montagem no canteiro de obras e pela assistência técnica.

## 4.9– A terceirização de produtos e serviços

Segundo os autores Bowersox et alii, op. cit., a evolução da cadeia de suprimentos fez surgir um novo paradigma: a especialização de processos com um compromisso de concentrar os acordos colaborativos no planejamento de operações em conjunto, com o objetivo de eliminar as redundâncias improdutivas ou que não agregam valor ao produto. A idéia principal disso é projetar os processos gerais da cadeia de suprimentos de modo a identificar as competências de uma empresa específica junto à responsabilidade final para realizar cada elemento do trabalho essencial, de maneira a maximizar os resultados gerais. Surge com isso a prática da terceirização do trabalho para outras empresas especialistas no desempenho de funções específicas, o que facilita ainda mais a gestão integrada voltada para processos.

Então, como descrito no item 4.3 “A evolução logística”, os autores Novaes, op. cit., e Vieira, op. cit., concordam que a parceria faz parte da nova estratégia de evolução logística da cadeia de suprimentos, tanto da indústria seriada quanto da indústria da construção civil. E dando seqüência a esse raciocínio, o autor Vieira, op. cit., confirma, neste mesmo item, que isso é possível com a especialização de funções e a maior colaboração entre os participantes da cadeia de suprimentos. Como se pôde ver anteriormente, Bowersox et alii, op. cit., também concordam com esta idéia. Sendo assim, conforme esses autores, o processo de especialização de funções pode ser muito facilitado pela prática da terceirização de serviços e produtos, desde que somada a uma maior colaboração entre os envolvidos nos processos da cadeia de suprimentos por meio de uma maior integração de todos no planejamento e na execução dos serviços. Essa terceirização é também chamada de “outsourcing” ou, para o caso da construção civil, de empreitada ou subempreitada.

Vieira, op. cit., define a terceirização da seguinte forma:

*“A terceirização é uma passagem de atividade-meio e tarefas para terceiros, de maneira que a empresa possa concentrar-se em sua atividade-fim, fazendo com que a tradicional indústria da construção civil adquira o padrão de uma indústria desenvolvida e organizada, como é o setor industrial seriado.”*

Então, a estratégia da terceirização, que passa a ser utilizada pelas indústrias, se resume em contratar especialistas não-integrantes dos quadros da empresa, visando efetuar transferência de parte do processo produtivo, tradicionalmente realizado no canteiro de obras e no chão de fábrica, no caso da indústria seriada, para os fornecedores. Isso vale tanto para fornecer

apenas serviços, excluindo o fornecimento de materiais, quanto para fornecer componentes e serviços, que é a terceirização de mão-de-obra e materiais.

Um exemplo muito comum de terceirização na construção civil é o fornecimento de pré-moldados, no qual a manufatura do canteiro de obras transfere a produção de peças em concreto armado para fornecedores, terceirizando-lhes a mão-de-obra e os materiais. Outro exemplo mais completo disso é a empreitada do serviço de estrutura metálica de um galpão industrial, na qual o construtor delega a terceiros tanto a função de preparar os materiais, compostos por peças metálicas industrializadas, como também a função de montar a estrutura metálica da obra no canteiro. Isso, aliado a uma maior interação entre os participantes da cadeia de suprimentos no planejamento logístico e na execução da obra, pode aumentar significativamente a produtividade no canteiro de obras.

Dessa forma, a terceirização, freqüentemente observada nos países do primeiro mundo, disparou o processo de industrialização da construção civil, embora de uma forma ainda incipiente em muitos países subdesenvolvidos. Isso acontece com a transferência intensa e substancial para os fornecedores de algumas atividades de manufatura, que seriam antes realizadas no próprio canteiro de obras. Isso veio a reforçar ainda mais o processo de especialização funcional ou terceirização de tarefas. Embora de maneira menos intensa do que na indústria de seriados, essa nova concepção introduziu uma nova maneira de pensar sobre gestão da cadeia de suprimentos na construção civil, que é gerir integradamente com os participantes da rede, reduzindo a responsabilidade da construtora em relação à produção de edifícios no canteiro de obras. Isso é positivo, pois deixa a construtora mais livre para se preocupar mais com as atividades de sua competência profissional, o que é comumente definido por “core competence” ou “core business”, facilitando ainda mais a gestão da produção de edifícios.

De acordo com Bowersox et alii, *op. cit.*, o comportamento colaborativo entre empresas da indústria seriada aumentou a influência e o controle gerencial para além das fronteiras da propriedade de uma única empresa a fim de facilitar as operações e o planejamento conjuntos com clientes e fornecedores. Isso pode ser considerado uma evolução gerencial, que acontece apenas na indústria seriada, que só se torna possível com a especialização de processos e com o compartilhamento de informações sobre as operações, quando aliado a um planejamento estratégico feito em conjunto e envolvendo, sem restrição, todos os participantes da cadeia de suprimentos. Essa evolução ainda não está totalmente presente na indústria da construção civil, principalmente no Brasil, comprovando mais uma vez o atraso deste setor em relação à indústria seriada. Isso é notável, por exemplo, em alguns fornecedores de pré-moldados, como

mourões, que muitas vezes montam as suas fabriquetas nos fundos de suas residências, não se encontrando tecnicamente e gerencialmente preparados para atender aos seus clientes, tanto em termos de quantidade quanto de qualidade e prazo de entrega.

Espera-se que esse processo evolutivo da indústria venha a desencadear um desenvolvimento em massa da cadeia de suprimentos da indústria da construção civil, com um maior aprimoramento técnico e gerencial de todos os seus fornecedores, tornando-os assim efetivamente especialistas em determinadas tarefas ao produzi-las com eficácia e qualidade. Dessa forma, aconteceria uma real profissionalização de terceiros e conseqüentemente da cadeia de suprimentos como um todo, contribuindo efetivamente com todo o processo.

Segundo Vieira, *op. cit.*, ocorre a horizontalização do processo produtivo, que consiste na estratégia do construtor comprar de terceiros o máximo possível dos componentes do produto final de que necessita. Assim, como dizem os autores Vieira, *op. cit.*, e Bowersox et alii, *op. cit.*, com a execução de determinadas tarefas ou atividades por organizações especializadas, aumenta-se a eficiência do processo produtivo no canteiro de obras, pois as empresa terceirizadas devem ter um “know-how” para proporcionar um serviço de qualidade a menor custo. Embora gestão da qualidade e de desperdícios no canteiro de obras não seja o foco deste trabalho, é perceptível a enorme colaboração que isso proporcionaria para a redução de desperdícios de materiais e de mão-de-obra ao se evitar retrabalhos, aumentando também as possibilidades de ganhos em qualidade no produto fornecido ao consumidor final.

Da mesma maneira, Amato Neto (1993) trata a horizontalização do processo produtivo como um processo de desverticalização da produção, uma vez que isso acaba mudando a estrutura organizacional da empresa ao provocar uma redução dos seus níveis hierárquicos. Isso, segundo esse autor, implica necessariamente na exclusão de atividades ou operações que acabam por eliminar alguns postos de trabalho na empresa, como conseqüência da transferência para terceiros de algumas atividades.

Além disso, a terceirização proporciona a redução de gastos com recursos humanos pela diminuição do número de operários efetivos no quadro de funcionários da construtora. Os gastos com mão-de-obra são disparados os mais significativos em um processo produtivo de edifícios, ainda mais no Brasil onde a mão-de-obra é tão desqualificada e o processo produtivo ainda tão primitivo e despadronizado. Isso sem contar com os gastos com as leis sociais, que em termos de custo direto de construção, têm um peso elevadíssimo nesse setor, incidindo diretamente sobre o valor da mão-de-obra fichada na empresa. Isso é facilmente perceptível numa curva ABC de insumos elaborada na etapa de orçamentação de uma construção de edifício, na qual o valor do insumo mão-de-obra (servente e pedreiro) aparece

no topo de sua lista (a curva ABC de insumos é uma ferramenta de gerenciamento que apresenta uma listagem dos recursos materiais, mão-de-obra e equipamentos, os quais são dispostos numa ordem decrescente de valor, em termos de preço de mercado).

No Brasil, já se nota a tendência à utilização de sistemas construtivos baseados na pré-fabricação de elementos antes produzidos no próprio canteiro, transformando os processos construtivos em sistemas de montagem baseados na terceirização de produtos e serviços. Isso ocorre quando, por exemplo, as estruturas metálicas substituem as estruturas de concreto armado, ou a argamassa industrializada semipronta, que é adquirida em embalagens, substitui a argamassa rodada em canteiro. Com isso, segundo Vieira, *op. cit.*, o processo produtivo no canteiro de obras tende a se aproximar cada vez mais de um processo de industrialização seriada, o qual conta com os métodos produtivos fundamentados em modelos logísticos mais padronizados, com operações mais repetitivas e automatizadas. Assim, ocorreria maior tendência à industrialização da construção de edifícios, o que colaboraria para o emprego do conceito construção enxuta ou “lean construction”, no qual o canteiro de obras apresenta-se mais limpo e organizado, favorecendo substancialmente a sua gestão integrada pela logística. É com base nessa premissa que surgiu o conceito de logística enxuta que, segundo Bowersox et alii (2006), “é a habilidade superior de projetar e administrar sistemas para controlar a movimentação e a localização geográfica de matérias-primas, trabalhos em processos e inventários de produtos acabados ao menor custo total”. Então, a terceirização e industrialização colaboram totalmente para uma logística enxuta, de forma a entregar o material certo (em termos de qualidade), na quantidade certa, exatamente no horário e locais previstos pelo cliente, sempre buscando um custo total baixo para a satisfação plena do consumidor (DROHOMERETSKI; MÂNICA, 2007).

Segundo Koskela (1992), as modernas abordagens de gerenciamento da década de 90 têm introduzido conceitos da gestão de suprimentos. Isso é confirmado pelo autor Vieira, *op. cit.*, quando diz que essas abordagens e conceitos foram desenvolvidos com o surgimento da produção enxuta, a qual considera que as atividades de produção são constituídas de fluxos de operações (máquinas e pessoas) e fluxos de processos (materiais, serviços e informações). Dentro dessa filosofia, deve-se buscar a execução de atividades de processamento que adicionem valor ao produto, minimizando as operações de espera, controle, inspeção e transporte. Essa agregação de valor pode vir tanto com a redução do custo total de produção quanto pela adição de um atributo tido como essencial para o comprador final.

Segundo Vieira, *op. cit.*, o Brasil já dispõe de um parque produtor de pré-fabricados, cuja experiência e a capacitação técnica se equiparam às dos países mais desenvolvidos,

permitindo o desenvolvimento de produtos extremamente adequados a essas demandas. Então, segundo este autor, a falta de disseminação do uso de sistemas construtivos, que se baseiam principalmente na utilização de componentes pré-fabricados com um alto valor agregado, é hoje mais uma questão cultural do que fruto de uma limitação tecnológica.

No entanto, ressalta-se aqui que antes de optar pelos empregos de novas tecnologias, deve-se fazer uma análise de viabilidade econômica do seu emprego, levando em consideração o “trade-off”. Isso é feito ao se identificar as interações entre as características de cada tecnologia e a gestão dos processos na obra. Essa medida importante irá fornecer subsídios consistentes à tomada de decisões com relação aos aspectos logísticos operacionais e estratégicos na concepção do sistema de produção. Mas antes disso, a estrutura funcional da empresa e a sua estratégia adotada devem ser bem entendidas e bem definidas, isto é, se a empresa vai competir por custos ou “marketing” em cima de preço, fornecendo produtos mais baratos, ou por diferenciação ou “marketing” em cima de qualidade, fornecendo produtos com melhores qualidades.

Além disso, para definir as características operacionais e as estratégias de produção, segundo Bowersox et alii, op. cit., deve-se levar em conta também a dinâmica de mudança do perfil do consumidor final da cadeia de suprimentos, fazendo constantes estudos de identificação do que o consumidor irá valorizar mais em função de suas necessidades e possibilidades financeiras num determinado momento.

Também, é bom atentar-se para o fato de que essas tecnologias construtivas a serem empregadas devam ser analisadas ainda na fase de concepção de projetos. Assim, somente considerando-as em conjunto com a elaboração dos projetos executivos e de produção é que o emprego delas se traduzirá em eficiência produtiva dentro do canteiro de obras.

Assim, tomando como partido os recursos disponíveis nas empresas, tanto técnicos quanto financeiros, conclui-se que a excelência logística é alcançada com uma maior participação dos integrantes de uma cadeia de suprimentos no planejamento logístico e na execução dos serviços no canteiro de obras, desde a fase de concepção de projetos, considerando que todos os integrantes da cadeia tenham uma estratégia de mercado comum. Só assim o planejamento físico dos serviços poderá corresponder à realidade da construção executada.

## 4.10-Qualidade logística e de produtos segundo medições

A gestão da qualidade total (GQT) é, de acordo com Bowersox et alii, op. cit., uma filosofia apoiada por um sistema administrativo voltado para atender às expectativas do cliente em relação a todas as necessidades, de todos os departamentos ou funções de uma organização, quer o cliente seja interno ou externo, um parceiro na cadeia de suprimentos ou um consumidor final.

Porém, o assunto GQT não será abordado, pois as suas ferramentas e metodologias específicas estão além do escopo da logística.

Entretanto, a qualidade do produto abrange muito mais do que simplesmente os seus atributos físicos. Assim, a qualidade dos produtos e serviços oferecidos aos clientes é alvo da gestão logística, seus procedimentos e métodos aplicados na cadeia de suprimentos, não podendo deixar de ser um assunto aqui tratado. No entanto, para a logística, a preocupação específica envolve principalmente as dimensões da qualidade relacionada ao serviço e à satisfação do cliente. Logo, o assunto qualidade e logística estão interligados.

Para que o produto atenda às expectativas do cliente, tem de conter as características físicas adotadas como “benchmarking” externo de uma empresa líder. Por isso, o consumidor final já entende que é praxe incorporá-las ao produto a um custo relativamente baixo, tendo a empresa que disponibilizá-la de um modo oportuno e conveniente para o seu cliente externo.

O “benchmarking” externo à empresa, segundo Bowersox et alii, op. cit., é uma ferramenta fundamental na medição do seu desempenho logístico e do seu desempenho dos materiais constituintes dos produtos ofertados, tomando como referência ou modelo empresas líderes no mercado, sejam estas as suas concorrentes diretas ou não. Dessa forma, é por meio do “benchmarking” adotado por uma empresa que os clientes e a própria empresa medirão o nível de serviço logístico ofertado pela empresa e, conseqüentemente, a qualidade dos seus produtos distribuídos no mercado.

Todavia, a qualidade logística não acontece com facilidade. Ela é produto de um cuidadoso planejamento logístico dos processos de uma cadeia de suprimentos, apoiado por treinamento

dos funcionários, dedicação operacional, medições abrangentes e melhoria contínua dos processos.

#### 4.10.1- O desempenho logístico

Embora seja difícil mensurar o desempenho logístico das empresas, principalmente no canteiro de obras, onde os processos são aleatórios e variáveis, envolvendo uma série de fatores intervenientes e surpresas, para gerar vantagens competitivas com uma logística de alto desempenho é preciso criar sistemas de medição integrados por meio de uma estrutura de avaliação.

O gerenciamento eficaz das operações logísticas e da integração da cadeia de suprimentos exige o estabelecimento de uma estrutura para avaliação do desempenho logístico e controle financeiro (adoção de um plano de contas adequado). Essa estrutura oferece o mecanismo para monitorar o desempenho do sistema, controlar atividades e orientar os funcionários para que atinjam níveis mais altos de produtividade.

De acordo com pesquisa ao longo de alguns anos, Bowersox et alii, op. cit., preconizam os seguintes sistemas de medição de desempenho logístico abrangentes, os quais incluem medidas para cada uma das funções logísticas: (1) custos; (2) serviço ao cliente; (3) qualidade; (4) produtividade; (5) gerenciamento de ativos.

Ainda segundo esses autores, empresas líderes ampliaram seus sistemas de medição funcional para incluir medidas voltadas para sua capacidade de atender aos requisitos de clientes, o que inclui medições de desempenho absoluto (ao invés de desempenho médio) ou medições voltadas para o consumidor e a satisfação do cliente. Para ajudar a alcançar a integração na cadeia de suprimentos, as empresas líderes instituíram um conjunto de medidas entre empresas, como dias de suprimento de estoque, tempo ocioso do estoque, duração do ciclo de conversão de caixa e custo total da cadeia de suprimentos (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, op. cit.).

Bowersox et alii, op. cit., também confirmam que o custo real para realizar operações específicas é o reflexo mais direto do desempenho logístico. A tabela 2 mostra o desempenho

de custos que normalmente é medido em termos do total de dinheiro gasto em cada função. Assim sendo, é comum monitorar e registrar dados de custo para funções logísticas específicas, como armazenamento, transporte de saída, transporte de chegada e processamento de pedidos. Essas categoriais podem ser refinadas e os dados de custo registrados para atividades individuais, como separação em armazéns e carregamento de pedidos.

Tabela 2- Medidas de desempenho típicas para a indústria seriada.

Gerenciamento de custos	Serviço ao cliente	Qualidade	Produtividade	Gerenciamento de ativos
Custo total	Taxa de atendimento	Frequência de avarias	Unidades embarcadas por funcionário	Giros de estoque
Custo unitário	Falta de estoque	Acurácia da entrega de pedidos	Unidades por real gasto com mão-de-obra	Níveis de estoque, em dias de suprimento
Custo como percentual de vendas	Erros de embarque	Acurácia de coleta/embarque	Pedidos por representante de vendas	Estoque obsoleto
Frete de distribuição	Entrega pontual	Acurácia de documentos/fatura	Comparação com padrão histórico	Retorno sobre ativos líquidos
Administrativo	Pedidos devolvidos	Disponibilidade de informação	Programas de metas	Retorno sobre investimentos
Pedido do armazém	Duração do ciclo	Acurácia de informações	Índice de produtividade	Classificação de estoque (ABC)
Mão-de-obra direta	Consistência nas entregas	Quantidade de pedidos de crédito	Tempo ociosos dos equipamentos	Economic value-added (EVA)
Comparação de real versus orçamentário	Tempo de resposta a solicitações	Quantidade de clientes que retornam	Produtividade na entrada de pedidos	
Análise de tendências de custo	Acurácia das respostas		Produtividade da mão-de-obra do armazém	
Lucratividade do produto direto	Pedidos completos		Produtividade da mão-de-obra do transporte	
Lucratividade do segmento de clientes	Reclamações de clientes			
Manutenção de estoques	Reclamações da força de vendas			
Custo de produtos	Confiabilidade total			
Custo de avarias				
Custo de falhas no serviço				
Custo de pedidos devolvidos				

Fonte: Bowersox et alii, 2007.

A tabela 2 também ilustra uma série de medidas relacionadas ao custo do desempenho logístico e tomadas como exemplo, como lucratividade direta de produtos, lucratividade do

cliente, custo de falhas no serviço, entre outras. Essas medições, quando comparadas a níveis históricos ou padrões de desempenho, oferecem informações importantes acerca da necessidade potencial de se tomarem medidas corretivas. Existem inúmeras quantidades diferentes de logísticas específicas, as quais podem gerar uma longa lista de medidas de custos possíveis. Os gestores devem identificar as medidas mais adequadas para a sua organização, aplicando-as constantemente ao longo do tempo para controlar e orientar as atividades da empresa.

O atendimento às expectativas dos clientes é muito importante para o sucesso da cadeia de suprimentos, podendo então o seu desempenho logístico também ser mensurado pelo nível de satisfação de um cliente por um produto adquirido. A falha em satisfazer os clientes pode surgir da falta de conhecimento sobre as expectativas dos clientes, de padrões inadequados de desempenho, falha no desempenho, má comunicação ou percepção incorreta do desempenho por parte do cliente ou da empresa. À medida que as expectativas do cliente crescem, os executivos logísticos devem monitorar continuamente a satisfação do cliente e o desempenho logístico. Para descobrir quais requisitos em um produto e no seu fornecimento são importantes para um cliente, deve-se estudar o perfil do consumidor e realizar pesquisas de mercado bem elaboradas para a sua correta caracterização. Embora seja de difícil identificação e medição os aspectos mais valorizados por um consumidor em um produto ou na forma de adquiri-lo, existem hoje computadores e softwares poderosos que registram todas as informações a respeito de seus costumes e de suas preferências em um banco de dados que serve de base para que os programas estatísticos determinem as preferências e o percentual de satisfação do consumidor com a compra realizada.

Uma forma eficaz de se medir o desempenho logístico é por meio dos serviços básicos oferecidos ao cliente. Como se pode verificar na tabela 2, uma série de itens são aspectos de atendimento considerados importantes pelos clientes na compra de um produto. São recomendados por esses autores, para servirem de base para a escolha dos itens dispostos na coluna do serviço ao cliente da tabela 2, os elementos, tais como disponibilidade, desempenho operacional e confiabilidade do serviço. Outro item com a mesma função na tabela 2 é chamado de taxa de atendimento ao cliente, o qual pode ser obtido em função da taxa de atendimento aos pedidos, também conhecida como pedidos enviados de forma completa. Esta é a medida mais rigorosa do desempenho logístico de uma empresa em relação ao elemento disponibilidade de produtos, pois, nesta medida, um pedido com apenas um item faltando em

uma linha é considerado incompleto. Essa taxa de atendimento aos pedidos é calculada pela relação entre a quantidade de pedidos entregues completos e a quantidade de pedidos de clientes. Porém, existem outras maneiras de calcular as taxas de atendimento ao cliente com menos rigor, chegando a um valor mais moderado para julgar o desempenho logístico do serviço básico prestado ao cliente.

O desempenho operacional lida com o tempo e normalmente é medido pela duração média do ciclo do pedido, consistência do ciclo do pedido e/ou entregas pontuais. A duração média do ciclo do pedido normalmente é calculada como a quantidade média de dias decorridos entre o recebimento do pedido e a entrega aos clientes. A consistência do ciclo do pedido é medida durante uma grande quantidade de ciclos de pedidos e compara o desempenho real com o planejado. Por exemplo, supondo que a duração média do ciclo do pedido seja de dez dias. Se vinte por cento deles forem completados em cinco dias e trinta por cento em treze dias, existe uma grande inconsistência em torno da média.

Além dessas medidas de desempenho, existe outra relacionada à qualidade dos serviços logísticos prestados pela empresa. Dessa maneira, conforme mostra a tabela 2, existem muitas medidas de qualidade que são transformadas em proporções para servir como ferramenta de controle e monitoramento da eficácia das atividades dispostas na coluna, medindo assim o desempenho logístico.

Também, são utilizados itens que apuram a produtividade da empresa para medir o seu desempenho logístico, ainda de acordo com a tabela 2. A produtividade na construção civil pode ser calculada em função da quantidade de determinado tipo de serviço executado por uma equipe de operários em uma unidade de tempo, contando que não falte a quantidade de materiais, equipamentos e outros recursos necessários à execução do serviço. Neste caso, a produtividade foi medida em função da mão-de-obra, contudo, outros recursos podem ser alocados às diferentes atividades de um projeto, cuja duração também será função do nível de disponibilidade de outros recursos. Dessa forma, a relação entre a saída de mercadorias, produtos acabados e/ou serviços prestados e as quantidades de insumos ou recursos utilizados para produzir essa saída é chamada de produtividade.

Os gerentes logísticos normalmente se preocupam com a quantidade ou o percentual de horas que os equipamentos não são utilizados ou com o tempo ocioso. Por isso, as medidas de desempenho logístico, conforme tabela 2, podem ser calculadas em termos da utilização da

capacidade ou percentual de capacidade total usada das instalações ou dos equipamentos sendo esse também um critério de análise da produtividade.

A produtividade também pode ser estimada por profissionais experimentados, que se baseiam em sua prática nos serviços por ele já executados. Porém, na construção de edifícios, é bom atentar-se para o fato de que cada projeto tem as suas características particulares, conforme foi explicado no item 3.7, variando a sua ambiência de execução dos serviços, principalmente em função de fatores ambientais climáticos. Por isso, a estimativa da produtividade feita por estes profissionais podem não corresponder à realidade quando estão analisando um projeto com características diferentes das construções por eles já executadas ao longo de suas vidas profissionais.

A medição do gerenciamento de ativos também se concentra no estoque, conforme tabela 2, calculando a taxa de giro de estoque como medida de desempenho logístico. A medida mais comumente utilizada pelas empresas para obter a taxa de giro de estoque é pela relação entre o custo das mercadorias vendidas durante um período e o estoque médio no valor do preço de venda durante o período. Essa medida indica a utilização eficaz ou ineficiente do investimento de capitais em ativos.

Além disso, são feitas medidas de desempenho logístico em função do gerenciamento de ativos, na tabela 2, o qual se preocupa com a utilização de investimentos de capital em instalações e equipamentos, bem como capital de giro investido em estoque. As medidas de gerenciamento de ativos concentram-se em quão adequadamente os gerentes logísticos utilizam o capital investido em operações, já que as instalações logísticas, os equipamentos e os estoques podem representar um segmento substancial dos ativos de uma empresa.

Bowersox et alii, op. cit., dizem poder ser considerados três os objetivos principais desses sistemas de medição integrados: monitorar; controlar e; orientar as operações logísticas.

O monitoramento é realizado por meio do estabelecimento de medidas adequadas para rastrear o desempenho do sistema com o objetivo de reportá-lo aos administradores.

O controle é realizado quando existem padrões adequados de desempenho relativos às medidas estabelecidas para indicar quando o sistema logístico precisa ser ajustado para que o processo volte ao nível aceitável, relatando as causas da alteração.

Já a orientação diz respeito à motivação dos empregados e à recompensa pelo desempenho. Um exemplo disso bastante praticado na indústria seriada e pelas construtoras é a tarefa, que consiste em estimular os operários a atingirem altos níveis de produtividade. Caso eles consigam realizar o serviço traçado em um menor tempo do que a jornada de trabalho diária, eles são liberados pela empresa para resolverem assuntos pessoais.

A utilização de ativos reflete a eficácia no gerenciamento dos ativos fixos e do capital de giro da empresa. Os ativos fixos de capital incluem instalações de manufatura e armazenamento, equipamentos de transporte e manuseio de materiais e hardware da TI. Já o capital de giro representa o dinheiro, o investimento em estoque e o diferencial em investimentos relacionados a contas a receber versus contas a pagar. Então, ao gerenciar com mais eficiência os ativos relacionados às operações logísticas, a empresa pode ser capaz de liberar ativos da base existente. Esse capital liberado é conhecido como giro de caixa, que pode ser usado para reinvestimento e em outros aspectos da organização. A utilização total dos ativos é especialmente importante para os acionistas e para saber como a empresa é vista por investidores.

#### 4.10.2- O desempenho do produto

Pela ótica do cliente, segundo Bowersox et alii, op. cit., a qualidade de um produto tem significados diferentes para pessoas diferentes. Porém, ela é por eles analisada em termos de oito dimensões competitivas diferentes, tais como: (1) desempenho; (2) confiabilidade; (3) durabilidade; (4) conformidade; (5) atributos; (6) estética; (7) capacidade de serviço; (8) qualidade percebida.

(1) O desempenho de um computador, por exemplo, é julgado pelo comprador pela sua velocidade de processamento, capacidade de memória, entre outras qualidades tidas como “benchmarking”;

(2) É a confiabilidade referente à probabilidade de um produto funcionar durante toda a sua vida útil, levando em consideração a quantidade de defeitos e reparos que um cliente tem de fazer depois da sua compra;

(3) É a vida útil de um produto;

- (4) A conformidade refere-se ao fato de que os produtos de uma empresa realmente atenderem à descrição ou especificação exata do projeto. Frequentemente é medida por meio da avaliação dos produtos rejeitados, desperdício de matérias, retrabalhos ou índices de defeitos de uma produção, dando origem a não-conformidade dos produtos, o que é bastante comum na construção civil;
- (5) É a quantidade de funções ou tarefas que um produto específico é capaz de realizar, independente de confiabilidade ou durabilidade. É um critério frequentemente utilizado pelos clientes para julgar a qualidade dele;
- (6) A estética, que envolve o estilo e os materiais utilizados em um produto, é um critério pelo qual os clientes julgam a qualidade de um produto;
- (7) É a facilidade de consertar ou reparar um produto que apresenta falha, o que também é uma forma de um cliente avaliar a sua qualidade;
- (8) Os clientes são os juízes finais da qualidade do produto por meio da percepção do nível em que o produto atende as suas necessidades. Para isso, ele baseia em sua experiência.

Para as empresas construtoras, o universo de controles das qualidades e desempenhos físico-químicos dos materiais é feito por meio de ensaios de caracterização dos materiais, considerando que há normas suficientes para que isso no Brasil. Então, para que as empresas atendam o cliente em termos de qualidade do produto por ela fabricado, muitas das vezes se tem de recorrer às normas estrangeiras.

Para as argamassas de reboco, os ensaios físico-químicos de caracterização da argamassa no seu estado fresco e endurecidos têm de serem feitos para que se chequem os desempenhos e propriedades físico-químicas que atendam às especificações ou às exigências dos clientes. Por isso, ao se analisar o processo produtivo das argamassas de reboco no canteiro de uma edificação é importante saber quais as características físico-químicas necessárias às argamassas para que o seu processamento aconteça tirando partido das propriedades intrínsecas ou extrínsecas ao material. Assim, as características dos materiais utilizados na argamassa fresca são importantes para que se compreenda melhor o comportamento do revestimento de reboco argamassado endurecido.

As propriedades físico-químicas requeridas para a argamassa no estado fresco, segundo Cincotto et alii (1995), são:

- Consistência, que é a propriedade que mede a resistência da argamassa fresca a qualquer deformação, proporcionando um ótimo manuseio pelo operário e uma ótima aderência inicial ao substrato de sua aplicação. Ela é influenciada diretamente pela propriedade de retenção de água, uma vez que a consistência é diretamente determinada pelo conteúdo de água. Por isso, a consistência é influenciada pelos seguintes fatores: relação água/cimento; relação aglomerante/areia; granulometria da areia e a natureza e qualidade dos aglomerantes;
- Coesão, que diz respeito às forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa e às ligações químicas da pasta aglomerante, podendo também ser definida como a resistência à exsudação ou à segregação. Pode ser avaliada pela trabalhabilidade, segundo Mehta e Monteiro (1994), por meio da facilidade de adensamento e acabamento da argamassa de reboco na sua aplicação ao substrato;
- Tixotropia, que é a propriedade de um material como a argamassa, por exemplo, sofrer transformações isotérmicas reversíveis, do estado sólido para o estado de gel (o estado de gel diz respeito à massa coesiva de aglomerantes na pasta, tornando-a com maior densidade após a hidratação);
- Plasticidade, que é a propriedade pela qual a argamassa tende a reter a deformação, após a redução do esforço de deformação, que é originária também das propriedades de coesão e consistência. A plasticidade é influenciada pelo teor de ar, natureza dos aglomerantes e pela intensidade na mistura das argamassas (homogeneização da mistura);
- Retenção de água, que é a capacidade da argamassa fresca manter a sua consistência e trabalhabilidade necessária ao seu manuseio adequado, quando sujeita às solicitações que provocam perda de água. Essa perda pode ser provocada pela sucção de água pela base seca e porosa, assim como pela evaporação da água causada pelas condições ambientais. E quanto maior a retenção, melhor será a hidratação dos aglomerantes, implicando numa maior resistência mecânica do material endurecido, o que melhora o desempenho e durabilidade do revestimento argamassado;
- Massa específica, que é a propriedade que avalia a quantidade de massa distribuída numa unidade de volume de argamassa fresca, sendo também utilizada para avaliar o teor de ar incorporado às argamassas;

- Conteúdo de ar incorporado, que é o teor de ar incorporado por adensamento ou preparo da argamassa fresca a ser utilizada, como também incorporado pelos processos de sarrafeamento e desempenho de um revestimento de reboco. A quantidade de ar presente na amostra influi na resistência de aderência dos revestimentos de argamassa de reboco;
- Trabalhabilidade, que é a propriedade que descreve a facilidade de manuseio do material na sua aplicação. Segundo Mehta e Monteiro, op. cit., não é uma propriedade intrínseca à argamassa ou ao concreto, pois está relacionada ao tipo e métodos construtivos utilizados para o lançamento, adensamento e acabamento desses materiais. Ainda de acordo com esses autores, a trabalhabilidade tende a influenciar as propriedades consistência e coesão de maneira oposta. Um exemplo disso é quando se adiciona água a uma argamassa fresca, mantendo o mesmo consumo de cimento. Isso aumenta a fluidez, consistência e trabalhabilidade do material, porém, reduz a sua resistência à exsudação ou à segregação, o que significa redução na sua propriedade coesiva;
- Adesão inicial, que é capacidade da argamassa fresca aderir inicialmente ao substrato no qual foi aplicada. A consistência influi diretamente nesta propriedade.

Segundo Cincotto et alii, op. cit., a cal influencia nas propriedades consistência e trabalhabilidade das argamassas, o que é proporcionado pelas condições de coesão interna que a mesma proporciona em função da diminuição da tensão superficial da pasta aglomerante e da adesão ao agregado. Porém, deve-se analisar a sua influência sobre outras propriedades, como se pode verificar na tabela 10 do item 5.2.3. A partícula de cal possui áreas superficiais bem maiores do que os grãos de cimento, proporcionando, por isso, a maior retenção de água. Também, segundo Cincotto et alii, op. cit., o aumento da capacidade de retenção de água nas argamassas pode ser obtido pela utilização de aditivos cujas características impedem a perda de água para o componente, como é o caso dos derivados de celulose e aditivos que impedem a percolação de água capilar, como os aditivos incorporadores de ar.

Ainda segundo esses autores, a plasticidade e a consistência são propriedades que efetivamente caracterizam a trabalhabilidade, sendo que a avaliação dessas propriedades por meio de alguns métodos de ensaio ocorre em conjunto.

Essas propriedades da argamassa no seu estado fresco afetam diretamente o desempenho logístico no seu processamento no canteiro de obras, pois conferem a maior ou menor

facilidade de sua aplicação ao substrato pelo operário. Existe, então, uma interação ou interface entre o desempenho logístico e desempenho físico-químico do material.

As propriedades físico-químicas requeridas para a argamassa de reboco no estado endurecido, segundo Cincotto et alii, op. cit., são:

- Resistência mecânica à compressão e à tração, os quais são importantes no que diz respeito à capacidade das argamassas endurecidas resistirem às tensões de tração, compressão ou cisalhamento às quais os revestimentos estão sujeitos. Os esforços que geram essas tensões nas superfícies verticais provêm de cargas estáticas ou dinâmicas decorrentes do tipo de uso da edificação e das solicitações decorrentes de fenômenos térmicos, higroscópicos ou climáticos que, por sua vez, dependem das condições de exposição das superfícies do revestimento de reboco;
- Resistência à abrasão, que é a resistência ao desgaste superficial influenciado pelo teor de aglomerante, pela granulometria da areia e sua natureza, sendo especificamente prejudiciais os finos de natureza argilosa;
- Resistência ao fogo, que diz respeito à estabilidade e integridade dos elementos que constituem a argamassa de reboco sujeita à elevação de temperatura decorrente do fogo;
- Resistência a ataques químicos e especialmente ao ataque por sulfatos, o qual está ligado à sua composição e natureza dos materiais, como também à sua resistência à abrasão e à permeabilidade da argamassa endurecida;
- Capacidade de deformação, que está diretamente ligado ao módulo de elasticidade da argamassa endurecida, o qual determina quanto o material pode deformar sem que ocorra a sua ruptura, retornando às suas dimensões iniciais quando cessam as solicitações que lhes foram impostas. A elasticidade influencia diretamente na ocorrência de fissuras no revestimento argamassado endurecido, no nível de aderência da argamassa à base e, conseqüentemente, sobre a estanqueidade da superfície e sua durabilidade;
- Retração, a qual tem um papel fundamental quanto ao desempenho do revestimento de argamassa no estado endurecido no que diz respeito à sua estanqueidade e à sua durabilidade;
- Aderência, que para a argamassa no estado endurecido tem o papel significativo no desempenho do revestimento argamassado. Ela diz respeito ao seu comportamento quanto à absorção de tensões que surgem na interface do revestimento com os

componentes da base, as quais são proporcionadas pelas condições da base, tais como porosidade, absorção de água, resistência mecânica, textura superficial e pelas próprias condições de execução do assentamento de componentes da base estando ligada também a aderência do revestimento ao substrato. Também, a natureza do aglomerante influencia esta propriedade, identificando maiores resistências de aderência à tração em argamassas de cal dolomítica em relação às de cal cálcicas. Então, esta propriedade tem haver com a da resistência à tração, sendo também avaliado o seu desempenho pelo ensaio de arrancamento;

- Permeabilidade, que é a propriedade referente à estanqueidade da edificação à água, caracterizada pela passagem de água por meio da argamassa endurecida por infiltração sob pressão, capilaridade ou difusão de vapor de água, para o substrato de aplicação;
- Condutividade térmica dos revestimentos argamassados, que é a propriedade influenciada pelos seguintes itens: composição e quantidade de matéria sólida; distribuição, a geometria e as dimensões dos poros; teor de umidade; tipo de gás contido no interior dos poros.

Ainda, segundo Cincotto et alii, op. cit., as propriedades da argamassa no período de uso da edificação, que fica ao encargo de uma boa manutenção, são a durabilidade e a resistência ao congelamento e descongelamento, sendo esta última propriedade irrelevante para os países tropicais, como o Brasil.

Como não é o foco deste trabalho a análise do desempenho físico-químico dos materiais, apenas foi utilizado o ensaio de arrancamento para avaliar a resistência de aderência à tração, segundo a ABNT NBR 13528 (1995), atestando assim o desempenho qualitativo do material argamassa de reboco endurecido. Para isso, foram confeccionados revestimentos de reboco com argamassa rodada no canteiro de obra e com argamassa industrializada, todos com idade superior a 28 dias.

#### 4.10.3 – Ensaio de arrancamento na argamassa de reboco

A resistência de aderência à tração é medida pelo teste de arrancamento de um corpo de prova (CP) de revestimento argamassado de reboco endurecido após os 28 dias, quando submetido a um esforço normal de tração, de acordo com a ABNT NBR 13528 (1995). Este teste revela

tanto as propriedades da argamassa endurecida quanto da fresca, tais como consistência, teor de ar incorporado e capacidade de retenção de água para aderência na interface argamassa/base. Assim, é possível que seja feita a correlação do seu resultado com outros ensaios existentes, o que pode ser muito proveitoso para se tirar conclusões referentes às possíveis origens de falhas de qualidade ou de desempenho físico-químico do produto.

#### 4.11 - Fatores propulsores do mercado imobiliário

O maior fator que viabiliza hoje a compra dos apartamentos pelos consumidores finais da cadeia de suprimentos, aquecendo o mercado imobiliário, é a maior acessibilidade a financiamentos públicos a taxas bem menores do que no passado. Nas épocas em que o governo não financiava o mercado imobiliário, a pequena construtora era bastante prejudicada com a significativa queda em suas vendas de apartamentos, não podendo utilizar o seu capital de giro para construir edifícios, a título de inviabilizar as suas atividades pela descapitalização da empresa. Além disso, a maioria da população brasileira não tem capacidade financeira para comprar imóveis à vista e, até mesmo, parcelados. Já as grandes construtoras sofrem bem menos com cortes feitos pelos governos aos financiamentos públicos, pois elas são capazes de proporcionar a aquisição de apartamentos diretamente com o comprador de baixo poder aquisitivo por meio de financiamentos realizados por suas próprias financeiras, sem a necessidade do apoio governamental ou do apoio de instituições financeiras (bancos). E caso precisem, para elas é mais fácil que os bancos as financie. Como estas construtoras têm uma enorme carteira de clientes e um nome mais forte no mercado imobiliário, possuem um caixa sempre cheio de dinheiro para movimentar as suas obras, além de aumentarem os seus lucros com cobranças de juros dos clientes quando o financiamento do imóvel é realizado diretamente pela suas financeiras.

Somado a esse problema de escassez financeira, a conversão de caixa é muito demorada na indústria da construção de edifícios, com duração em torno de um ano, ou seja, o tempo necessário para converter compras de matérias-primas ou estoque em receita de vendas é demorado, quando comparado com a indústria seriada.

Diante desse cenário de escassez financeira, o financiamento público é a saída para a movimentação das atividades das pequenas construtoras de imóveis. Os juros cobrados diretamente pelos bancos, sem que haja a intervenção do governo, torna o produto final apartamento inviável para o comprador, principalmente para o de baixa renda. Também,

quando o financiamento bancário é fornecido para as pequenas construtoras, ao invés de para o comprador do imóvel, os altos juros cobrados tornam o produto inviável para o consumidor, pois, geralmente, estas empresas não gozam de um caixa financeiro capaz de atender ao comprador de baixa renda, dividindo o pagamento do imóvel em inúmeras vezes, para que o preço caiba mensalmente no bolso do comprador. Se essas empresas recorrerem aos empréstimos bancários, podem elas tornar os seus produtos inviáveis para o consumidor final, principalmente o de baixa renda, pois os juros bancários cobrados elevariam em muito os custos de produção.

Além do financiamento público, grande propulsor do mercado habitacional é a venda de apartamentos na planta, como prática comum hoje, possibilitando que as empresas construam com recursos de investidores, ou de futuros proprietários dos imóveis.

Também é comum hoje a realização de uma incorporação de imóveis por meio da norma da ABNT NBR 12721 (2006), pela qual um grupo de investidores capitaliza uma empresa para a construção de edifícios, sendo todos participantes protegidos por contratos e pela lei.

É perceptível o enorme déficit habitacional ainda existente no Brasil, causado pelo baixo poder aquisitivo da população, o que fragiliza o mercado da construção de edifícios. Principalmente quando somado a grande sensibilidade desse setor às instabilidades econômicas do mercado. Dessa forma, o financiamento público é o grande propulsor desse mercado, não existindo outro agente com maior poder econômico para isso. Nos meados de 2007, até o início de 2008, o governo tem honrado com o seu compromisso de tornar possível o sonho da casa própria, aquecendo o mercado da construção por meio dos financiamentos públicos. Porém, devido à volatilidade da economia mundial observada no atual cenário, como consequência da grande crise financeira e hipotecária habitacional nos Estados Unidos, a possibilidade da falta de apoio governamental por financiamentos da habitação brasileira não deixa de ser uma ameaça para o setor de construção de edifícios de padrão médio e baixo. Então, caso venha faltar o financiamento público habitacional no Brasil, as construtoras, e principalmente as de pequeno porte, terão de buscar alternativas de sobrevivência no mercado da construção de edifícios. Assim, elas poderão partir para a formação de uma incorporação de imóveis, ou vender apartamentos pela planta, para assim injete dinheiro em suas produções de edifícios. Além dessa saída para a crise financeira, elas podem e devem buscar encontrar o respaldo necessário na minimização do seu custo de produção de edifícios por meio de estratégias de planejamento adotadas, reduzindo com isso os efeitos negativos das mudanças conjunturais do país. Isso é possível ao tornar a gestão da cadeia de suprimentos cada vez mais eficiente por meio da logística integrada.

Essas estratégias de planejamento a serem adotadas, segundo Vieira, op. cit., são:

- A melhoria dos processos logísticos para aumentar a eficiência da produção de edifícios, reduzindo os custos de produção, melhorando a qualidade do produto, aumentando a produtividade e o nível de serviço;
- O estabelecimento de sistemas de parcerias com fornecedores que visualiza implantar uma cadeia de suprimentos como um fluxo integrado e único de todas as funções do negócio;
- A aceleração da industrialização da construção, transferindo parte das etapas dos processos produtivos, antes realizadas no canteiro de obras, para fornecedores com mão-de-obra especializada, o que colabora para que as atividades se tornem repetitivas e padronizadas;
- A incorporação de técnicas construtivas à atividade produtiva no canteiro de obras, simplificando tarefas por meio de técnicas construtivas. Alguns exemplos disso são a utilização de alvenaria estrutural que reduz significativamente o número de escoras e a elevação de estruturas por meio de fôrmas metálicas reutilizáveis, o que reduz consideravelmente o número de escoras;
- A terceirização de serviços ou “outsourcing”, que é a forma de reduzir gastos com recursos humanos, contratando profissionais especializados em determinadas tarefas, sem vínculo empregatício, o que faz reduzir os custos de produção com encargos sociais;
- A busca pela melhoria da organização dos canteiros de obras proporcionada tanto pela melhoria dos métodos de gestão da logística quanto pela utilização de novas tecnologias de materiais aliadas a gestão do canteiro de obras, o que tornam os espaços mais flexíveis e auxilia as construtoras no aumento de sua produtividade.

Essas estratégias, segundo Vieira, op. cit., são fortes aliadas aos planejamentos prévios de todos os processos da cadeia de suprimentos, assim como das etapas de produção de edifícios no canteiro de obras. Porém, para que realmente seja possível tirar vantagens dos benefícios advindos das estratégias de gestão integrada citados, é preciso que o planejamento das etapas construtivas seja feito a partir de projetos executivos bem detalhados e estudados, seguidos da elaboração de projetos de produção voltados para o canteiro de obras. Só assim essas estratégias serão fortes aliadas às diretrizes logísticas aqui estudadas, colaborando efetivamente para uma gestão logística integrada eficaz da produção de edifícios no canteiro de obras.

## **CAPÍTULO 5 - ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO DE REBOCO QUANTO AOS MATERIAIS COMPONENTES**

Cada um dos tipos de argamassas estudadas neste trabalho interfere nas atividades de produção e na logística de canteiro de obras, assim como na escolha das ferramentas e equipamentos necessários à execução dos serviços, bem como na organização adequada do canteiro de obras. Isso ocorre principalmente num canteiro de obras de edifícios, foco deste trabalho, onde o espaço geralmente é restrito, diferentemente das obras industriais e rodoviárias. Por isso a importância de se compreender o comportamento dos materiais constituintes da argamassa de revestimento, a fim de se obter ganhos logísticos no seu preparo em canteiro de obras. Também, é necessário perceber que as logísticas de suprimento e de produção de argamassas de revestimento no canteiro de obras interferem substancialmente na qualidade do processamento produtivo das argamassas, principalmente das rodadas no próprio canteiro (pois têm maiores quantidades de materiais a serem processados e controlados) e, conseqüentemente na qualidade do produto final (argamassa de reboco).

### **5.1- Argamassas**

Milhares de anos se passaram, e o homem não descobriu ainda nenhum ligante para construção de edifícios tão eficiente quanto à cal e seus “filhotes” (cal hidráulica e cimento Portland), o gesso, as pozolanas e o betume (GUIMARÃES, op. cit.).

Guimarães, op. cit., define argamassa como:

“Mistura plástica cimentosa composta principalmente de cal hidratada, cimento Portland, areia e água, com ou sem aditivos, que penetra nas reentrâncias dos blocos construtivos, aglomerando-os firmemente.”

Entende-se por argamassa a mistura entre aglomerantes inorgânicos (cal, cimento), agregados (areia natural ou artificial), água e eventualmente aditivos de forma a obter-se a homogeneização e união desses constituintes. Têm-se então as argamassas à base de cimento (simples), à base de cal (simples) e a base de cimento e cal (mista).

Segundo a norma ABNT NBR 13529 (1995), quanto à forma de produção, as argamassas rodadas em obra são aquelas em que a medição e a mistura dos materiais ocorrem no próprio canteiro de obras. Seus materiais são medidos em volume ou massa, podendo ser compostas por um ou mais aglomerantes.

As argamassas industrializadas, também quanto à forma de processamento, e de acordo com a norma ABNT NBR 13529 (1995), são aquelas provenientes da dosagem controlada, em instalações próprias (indústrias), de aglomerante(s), agregados, e, eventualmente, aditivo(s), em estado seco e homogêneo, compondo uma mistura seca à qual o usuário somente adiciona a quantidade de água requerida para proceder à mistura (água de amassamento).

## 5.2 – Os materiais utilizados na argamassa

Os materiais utilizados na composição das argamassas são os responsáveis pelos seus comportamentos considerando desde a aplicação do compósito até a durabilidade deste material ao longo do tempo. Assim, os materiais componentes escolhidos influenciam na trabalhabilidade e na qualidade dos revestimentos argamassados. Por isso estuda-se a seguir os diversos tipos e características dos materiais e suas conseqüentes influências provocadas nos comportamentos das argamassas utilizadas na construção civil.

### 5.2.1-Os agregados para argamassa

Segundo IBRACON, *op. cit.*, agregados podem ser encontrados na natureza prontos, formados pelo intemperismo, para o uso sem outro beneficiamento, agregados naturais, que não seja a lavagem (quando for o caso, sua classificação granulométrica, geralmente, é feita por peneiramento), como, por exemplo, areia de rio (é extraída do leito de rio por dragagem diretamente do canal do rio); areia de cava (é explorada pelo desmonte hidráulico com mangueiras d'água sob pressão sobre depósitos aluvionares em fundo de vales cobertos por capa de solo), etc. Podem ser britados, provenientes dos processos de cominuição de rochas realizadas nas pedreiras pelo desmonte (areia de brita, obtida no processo de classificação a seco nas pedreiras onde a porcentagem de material impalpável, abaixo de 0,075 mm, que pode ser retirada pelo processo úmido nos separadores de areia) e o beneficiamento. Os agregados artificiais, produzidos por meio de processos industriais complexos, envolvendo, muitas vezes, pulverização, aglomeração, queima à temperatura elevada para introduzir expansão que visam, geralmente, à obtenção de propriedades especiais, por exemplo, propriedades de isolamento térmico, ou agregados expansivos fabricados por determinados tipos de rochas, como folhelhos e outras rochas de natureza argilosa. Os agregados reciclados que podem ser resíduos industriais granulares que tenham propriedades adequadas ao uso como agregado ou

proveniente do beneficiamento de entulho de construção ou demolição selecionado para esta aplicação. Por exemplo, a escória de alto-forno, o entulho de construção/demolição, entre outros.

Ainda de acordo com IBRACON, op. cit., a constituição mineralógica, composição química e a microestrutura de um agregado influenciam significativamente suas propriedades. Um exemplo disso, no caso dos agregados, é a porcentagem de absorção d'água, que espelha o volume de vazios dos grãos e que acaba se constituindo num bom índice de avaliação preliminar para qualificação dos agregados visto que, quanto maior for a porcentagem de água absorvida, em geral, menor será a compacidade. Então, quando não se conhece a areia que se vai trabalhar, a primeira providência a ser realizada é a análise mineralógica, a fim de se conhecer os constituintes mineralógicos presentes nos agregados, e a possibilidade dos mesmos reagirem com o cimento.

A areia natural, extraída de leito de rios e de cavas, que é a mais utilizada para confecção de argamassas, que é constituída, segundo Callister, op. cit., essencialmente do mineral de quartzo, composto de  $SiO_2$  cristalino. Segundo esse autor, o quartzo, presente em rochas ígneas, é eletricamente neutro e tem uma dureza elevada, com forças das ligações interatômicas  $Si - O$ , que refletem em uma temperatura de fusão relativamente elevada, de  $1710^{\circ}C$ , e uma massa específica entre 2,60 a 2,64  $Kg/dm^3$ .

IBRACON, op.cit., Mehta e Monteiro, op. cit., afirmam que as areias muito grossas podem produzir misturas de concreto ásperas e não trabalháveis, enquanto as muito finas aumentam o consumo de água e, portanto, o consumo de cimento para uma dada relação água/cimento, sendo antieconômicas; agregados que não têm grande deficiência ou excesso de qualquer tamanho de partícula, em especial, produzem as misturas de concreto mais trabalháveis e econômicas. Assim, o IBRACON, op. cit., afirma que uma distribuição granulométrica equilibrada, dentro dos limites especificados por norma, produzirá misturas de argamassas mais trabalháveis e econômicas, além do fato de proporcionar uma estrutura mais compacta, o que diminui o número de vazios e, conseqüentemente, os espaços por onde podem penetrar os agentes agressivos à estrutura na forma de líquido ou gases. Então, segundo Ribeiro et alii (2002), as areias artificiais, provenientes dos produtos de britagem de rochas ígneas ou metamórficas, as quais possuem formatos de grãos geralmente angulosos, são utilizadas em conjunto com as areias lavadas, com formato de grãos mais arredondados, para assim melhorar a trabalhabilidade da argamassa. No entanto, Sabbatini (1998) diz que, em linhas gerais, a areia que apresenta melhor potencial de produzir uma argamassa adequada é a que

tem granulometria contínua (corrida) e classificada como média (módulo de finura entre 1,8 e 2,8) e tenha predominância de grãos arredondados. Segundo Mehta e Monteiro, op. cit., a coesão é a medida da facilidade de adensamento e de acabamento, a qual é geralmente avaliada por facilidade de desempenar e julgamento visual da resistência à segregação, sendo assim um importante índice de medida da proporção de trabalhabilidade da argamassa. Então, de acordo com Mehta e Monteiro, op. cit., as misturas contendo um adequado consumo de cimento (com ou sem adições minerais), e agregados com boa distribuição granulométrica terão um grau de coesão e trabalhabilidade satisfatórios.

Sabbatini (1998), mostra na tabela 3 uma sinopse qualitativa da influência dos parâmetros granulométricos nas principais propriedades das argamassas.

Tabela 3 - Influência das características granulométricas das areias nas propriedades das argamassas de assentamento

Propriedades	Características da areia		
	Quanto menor o módulo de finura	Quanto mais descontínua for a granulometria	Quanto maior o teor de grãos angulosos
Trabalhabilidade	Melhor	Pior	Pior
Retenção de água	Melhor	Variável	Melhor
Resiliência	Variável	Pior	Pior
Aderência	Pior	Pior	Melhor
Resistência mecânica	Variável	Pior	Variável
Impermeabilidade	Pior	Pior	Variável

Fonte: (SABBATINI, 1998).

Obs.: O termo variável é aplicado quando não existe uma influência definitiva ou quando essa influência depende de outros fatores.

As propriedades mecânicas das areias que interferem no comportamento das argamassas, segundo Bauer (2000), seriam as seguintes:

a) Inchamento: a areia seca absorve água, que passa a formar uma película em torno dos grãos. Como os vazios da areia chegam a ser tão delgados quanto à espessura da película de água, ocorre o afastamento entre os seus grãos provocados por essa película, o que produz o inchamento da areia;

- b) Higroscopia: a areia seca tem duas fases: sólida (grãos) e ar (vazios). Já a areia úmida (areia lavada) tem três: Sólida (grãos), água e ar (vazios); A areia saturada tem apenas duas fases: Sólidos e água. Os vazios (espaço entre os grãos) da areia seca são de dimensões muito pequenas, de modo que a areia pode apresentar higroscopia ou ascensão capilar, isto é, quando uma areia entra em contato com água na base, a água no interior da massa alcança, devido à capilaridade, nível acima do da água no exterior. Quanto mais fina a areia, mais alta é a ascensão capilar. Isso deve ser levado em conta principalmente em algumas aplicações, como por exemplo, em pisos e paredes não isoladas do contato com a umidade do terreno;
- c) Coesão aparente: O valor cresce rapidamente de zero (para teor de umidade nulo) até o máximo, para decrescer em seguida até anular novamente para a areia saturada;
- d) Friabilidade: A areia perde qualidade se contiver grãos friáveis. Para verificar, em primeira aproximação, a presença de grãos friáveis em tempo mais curto do que o necessário para o ensaio de qualidade, pode ser feito um ensaio de esmagamento. A areia é colocada em um molde e recoberta por um êmbolo sobre o qual se exerce força crescente necessária para atingir a pressão de 40 MPa em um minuto. Essa pressão é conservada constante por quatro minutos. Determinaram-se os módulos de finura antes e depois do ensaio e calcula-se a sua porcentagem de redução, que se compara com a da areia normal.

Segundo Guimarães, op. cit., toda areia utilizada nas argamassas não deve conter impurezas como placas de micas (biotita ou muscovita); grãos de minerais em estágio de alteração, como feldspato evoluindo para caolim; magnetita e hematita evoluindo para limonita/goetita; matéria orgânica (folhas, raízes, caules); torrões de minerais, granulometria corrida e finos não mais que 10% menores que 0,075 cm (peneira 200).

Segundo Bauer, op. cit., as impurezas das areias podem ser classificadas em coloidais e não coloidais. As não coloidais têm grãos de dimensões da ordem do micrometro (milésimo de milímetros) e podem ser retiradas pela simples lavagem com água; já as coloidais não são elimináveis.

Ainda segundo Bauer, op. cit., as impurezas não coloidais que mais ocorrem são:

- Argila em torrões;
- Materiais pulverulentos;
- Materiais friáveis;
- Materiais carbonosos;

- Materiais orgânicos.

Guimarães, op. cit., também salienta a importância da qualidade do agregado utilizado na composição das argamassas. Quando o mineral argiloso presente é do grupo das esmectitas (montmorilonitas), são possíveis fenômenos de expansão e retração no sistema, em função da variação da umidade (fenômeno característico da propriedade tixotrópica dessas argilas, facilmente observável na lama betonítica utilizada para conter o terreno na concretagem de fundações). O grupo de minerais de ferro – magnetita, ilmenita, pirita e concreções ferruginosas – tem ação deletéria, por possibilitar a formação de compostos expansivos resultantes de reações oxidantes. A mica, geralmente com formas de cristais lamelares, dificulta a homogeneidade das características físicas do revestimento e a aderência da argamassa na sua interface com a base, atuando também no interior da massa como superfície diminuta de escorregamento ou descolamento, resultando na esfoliação do revestimento. Por isso, a argila é tão prejudicial às argamassas, por conter mica. Em areias mal lavadas e/ou mal selecionadas, aparece a matéria orgânica, resultante de restos vegetais, que inibe o endurecimento do aglomerante, provocando na superfície o aparecimento de vesículas, cujo interior tem tonalidade escura.

De acordo com Bauer, op. cit., a areia é de qualidade inferior ou superior a outra quando corpos-de-prova (CP) de concreto e/ou argamassa com ela confeccionados têm resistência à compressão inferior ou superior aos confeccionados com a outra. Para que se faça essa comparação, é necessário que as duas areias utilizadas tenham a mesma distribuição granulométrica (curvas granulométricas iguais), preparando então duas amostras de CP idênticos em dimensões, uma para cada tipo de areia, contendo o mesmo traço, a mesma trabalhabilidade e o mesmo cimento. Se houver diferença significativa dos resultados dos ensaios à compressão numa análise estatística entre as duas séries de CP, isso demonstra que uma areia apresenta uma qualidade inferior à outra (BAUER, op. cit.).

O autor Isberner (1969), citado por Carvalho Júnior (2005), diz que em ensaios realizados com argamassas de cimento e areia com teores variados de caulinita, xisto argiloso e montmorilonita, comprovou que apenas a resistência à compressão de argamassas ricas é sensivelmente prejudicada pela adição de argilominerais (teores ensaiados até 15% em massa). Já Sabbatini (1998) e Rensburg et alii (1978), citado por Carvalho Júnior, op. cit., concluíram que teores excessivos ou superiores a 20% de argilas na areia reduzem em muito a capacidade de aderência das argamassas.

Souza et alii (1996) e o autor Guimarães, op. cit., recomendam um teste simples (fácil de se praticar no canteiro de obras) para avaliação de impurezas e qualidade nas areias. Consiste em

colocar em um frasco de vidro transparente uma porção de areia, adicionando em seguida água e agitando-o vigorosamente no sentido horizontal e deixar em repouso por 20 minutos. Se a água que sobrenadar o depósito for clara, provavelmente a areia ensaiada tem baixos teores de impurezas orgânicas ou de natureza argilosa e é de boa qualidade. Caso a água fique muito turva, é provável que a areia seja de má qualidade, devendo-se repetir o ensaio com outra amostra. Persistindo a dúvida, é possível verificar ou contestar a qualidade da areia, solicitando o ensaio de determinação do teor de argila segundo a norma ABNT NBR 7218 (1987) e o de determinação de impurezas orgânicas de acordo com a norma ABNT NBR 7220 (1987).

Segundo Souza et alii, *op. cit.*, o local de armazenamento da areia deverá estar limpo e localizado o mais próximo possível da central de produção de argamassa. A obra deverá providenciar baias cercadas em três laterais, em dimensões compatíveis com o canteiro e o volume a ser estocado, evitando-se assim espalhamento e desperdício de material. Também, o fundo do terreno deverá ser inclinado para drenagem da água da chuva, reduzindo assim a umidade da areia que proporciona o seu inchamento. E nas épocas de chuvas torrenciais, é recomendada a cobertura do material com lonas plásticas, a fim de impedir o seu carreamento. Areias com granulometrias diferentes deverão ser estocadas em baias separadas.

### 5.2.2- O cimento

Como descrito no IBRACON, *op. cit.*, segundo as hipóteses levantadas por Bogue (1955), a evolução das argamassas e concretos começou dos vestígios deixados nas cavernas habitadas pelos nossos antepassados, os aborígenes, que faziam fogo nas cavidades escavadas em rochas calcárias ou contendo gipsita. Esse calor produzido pelo fogo descarbonatava ou desidratava parte da rocha, que se pulverizava entre fragmentos maiores. Posteriormente, uma chuva leve ou mesmo o orvalho provocava a hidratação desse material para formar a primeira pedra de alvenaria. Então, segundo Lea (1970), de acordo com a citação de IBRACON, *op. cit.*, os babilônios e assírios se utilizavam de argilas não cozidas, muitas vezes misturadas com fibras vegetais para elaboração de moradias. Os egípcios introduziram argamassas de cales e gesso na construção de pirâmides. Posteriormente, os gregos melhoraram esses materiais e, por fim, os romanos produziam um cimento de notável durabilidade, ao acrescentar cinzas vulcânicas (que contém sílica ativa e alumina das cinzas vulcânicas que reagem com a cal para produzir

o cimento pozolânico) às argamassas de argilas e cal. Segundo Neville (1997), algumas estruturas de concreto, tais como o Coliseu, em Roma, a Ponte Du Gard, próximo de Nîmes, o Panteon, em Roma, resistem até hoje, com o aglomerante ainda firme e resistente. Nas ruínas de Pompéia, a argamassa se apresenta muitas vezes com menor deterioração do que a pedra mole.

Segundo Mehta e Monteiro, *op. cit.*, os cimentos são aglomerantes hidráulicos porque seus produtos de hidratação resistem à água sem precisar da adição de materiais pozolânicos, diferentemente do que ocorre com a cal.

Para Callister, *op. cit.*, que estuda o comportamento dos materiais, os cimentos são materiais aglomerantes que incluem tanto os cimentos orgânicos, como os cimentos de borracha, quanto os inorgânicos, como o cimento Portland (cimento silicoso produzido em vários tipos).

Para Mehta e Monteiro, *op. cit.*, o cimento Portland anidro é um pó cinza que consiste de partículas angulares de tamanho comumente entre 1 e 50 $\mu$ m. É o cimento mais utilizado na construção civil de hoje, porém, ele não preenche todas as suas necessidades. Então, para atender certas necessidades não satisfeitas foram desenvolvidos cimentos especiais, tais como cimentos pozolânicos, cimentos de escória de alto forno, cimentos expansivos, cimentos de pega e endurecimento rápido, cimentos brancos ou coloridos, cimentos para poço de petróleo e, cimento de aluminato de cálcio.

De acordo com Chiaverini (1990), na produção do aço, mistura-se minério de ferro tratado, com calcário e carvão que serão levados ao alto-forno siderúrgico para a produção do ferro gusa e posteriormente do aço. O carvão atua como combustível e fornecedor de carbono que atua como desoxidante no processo de produção do ferro gusa e do aço. Já o calcário tem a função de atuar como fundente, que é reagir com as impurezas ou gangas do minério e as cinzas do carvão, diminuindo o ponto de fusão dessas impurezas e gerar a escória como subproduto do alto-forno. Essa escória deve ser resfriada com água a fim de que se torne um material amorfo, portanto reativo, constituindo uma importante matéria-prima para a fabricação do cimento Portland.

Já a ASTM- C150, conforme descrito por Mehta e Monteiro, *op. cit.*, define o cimento Portland como um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer, que consiste essencialmente de silicatos de cálcio hidráulicos, usualmente com uma ou mais formas de sulfato de cálcio como um produto de adição. Os clínqueres são nódulos de 5 a 25 mm de diâmetro de um material sinterizado, produzido quando uma mistura de matérias-primas de composição pré-determinada é aquecida a altas temperaturas.

De acordo com IBRACON, op. cit., o cimento Portland tem como principal constituinte o clínquer Portland, material sinterizado e pelotizado, resultante da calcinação em um forno rotativo a aproximadamente 1450°C de uma mistura de calcário (fundente), argila e eventuais corretivos químicos de natureza silicosa, aluminosa ou ferrítica, empregados de modo a garantir o quimismo da mistura dentro de limites específicos. Isso produz alterações químicas e físicas nas matérias-primas, que segundo Mehta e Monteiro, op. cit., originam o clínquer (que é uma mistura heterogênea de vários minerais produzidos em reações a alta temperatura, entre óxido de cálcio e sílica, alumina e óxido de ferro) que é sequencialmente moído, após adicionar a ele proporções que variam em massa entre 3 % a 5%, aproximadamente, de sulfato de cálcio ou gesso para retardar o processo de pega do cimento. Essa moagem resulta num pó bem fino<sup>1</sup>denominado cimento Portland, de diâmetro menor do que 75µm (#200 ABNT). Esse produto final é o cimento Portland, que teria uma pega instantânea, devido principalmente ao  $C_3A$ , que é regulada pela já mencionada adição de gesso.

Uma descrição das reações químicas com transformações mineralógicas para a obtenção do clínquer do cimento Portland é apresentada na tabela 4, as quais se processam a alta temperatura no interior dos fornos rotativos de cimento Portland, após a moagem das matérias-primas e mistura das mesmas nas proporções adequadas.

Tabela 4 - Reações químicas no forno rotativo para obtenção do clínquer do cimento Portland.

<b>Matérias-primas queimadas em forno rotativo</b>	<b>Produtos das reações químicas ao aquecer as matérias-primas no forno rotativo, formando pelotas de 3 a 25mm (Clínquer)</b>
Pedra calcária + calor → $CaO + CO_2$	$3CaO.SiO_2$ $2CaO.SiO_2$ $3CaO.Al_2O_3$ $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$
Argila → $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 + H_2O$	
Eventuais corretivos químicos de, natureza silicosa aluminosa ou ferrítica	

Fonte: (adaptado de MEHTA e MONTEIRO; IBRACON, 1994, 2005).

Segundo citações de IBRACON, op. cit., de Centurine, Maringolo e Pecchio (2003) que dizem que o aporte térmico no forno provoca a descarbonatação do calcário (emitindo o gás

<sup>1</sup>Fino diz respeito à finura de uma partícula não considera os seus poros, a qual deve ser considerada ao se medir a superfície específica de uma partícula.

CO<sub>2</sub>) e a sua desestruturação, “liberando” os quatro elementos principais (Ca, Si, Al e Fe) que se recombinaem ao longo do forno rotativo, de acordo com as temperaturas, sob pressão negativa e ambiente oxidante e alcalino, sinterizando os componentes formadores do clínquer Portland, alita, belita, aluminato tricálcico e ferroaluminato tetracálcico, os quais são todos estáveis nessas condições. A partir do momento em que deixam o forno, esses minerais sintéticos encontram-se em estado metaestável às condições ambientes.

Ainda, conforme citação de IBRACON, op. cit., e Kihara et alii (1990) dizem que durante o processo de fundição do clínquer, ocorre uma fase intersticial em proporções que variam entre 15% a 20%, formada por aluminatos e ferroaluminatos cálcicos em solução sólida, que preenche os vazios entre os cristais de alita (C<sub>3</sub>S) e belita (β-C<sub>2</sub>S). Nessa fase intersticial, o ferroaluminato tetracálcico (C<sub>4</sub>AF) exerce um importante papel na resistência química do cimento, em especial ao ataque de sulfatos às estruturas do concreto e às argamassas.

A presença das impurezas óxidos de potássio e de sódio conhecida como álcalis, segundo Neville, op. cit., reagem com alguns agregados de modo que os produtos dessa reação provocam a desintegração do concreto. Essas patologias podem resultar tanto em reações expansivas que provocam fissurações, quanto em lixiviações dos sais minerais dissolvidos pela água, eflorescência, além de outras manifestações mais.

O autor Neville, op. cit., apresenta na tabela 5 a influência de variação do teor de óxidos no teor de compostos, conforme se pode ver abaixo.

Tabela 5 - Influência de variação do teor de óxidos no teor de compostos.

Porcentagens nos cimentos em massa			
Cimentos	1	2	3
<b>Óxidos</b>			
CaO	66,0	63,0	66,0
SiO <sub>2</sub>	20,0	22,0	20,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,0	7,7	5,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,0	3,2	4,5
Outros	4,0	4,0	4,0
<b>Compostos</b>			
C <sub>3</sub> S	65,0	33,0	73,0
C <sub>2</sub> S	8,0	38,0	2,0
C <sub>3</sub> A	14,0	15,0	7,0
C <sub>4</sub> AF	9,0	10,0	14,0

Fonte: (NEVILLE, 1997)

Assim, segundo Neville, op. cit., conforme se pôde verificar na tabela 5, logo acima, quando o teor de óxido de cálcio é diminuído em 3% em massa do cimento (1) para o cimento (2), e aumenta-se nos teores dos outros óxidos, resulta numa variação grande da relação  $C_3S/C_2S$ . O cimento (1) é de alta resistência inicial devido ao alto teor do composto  $C_3S$  formado no forno da indústria de cimento, ao contrário do cimento (2) fabricado. Ainda assim, quando se aumenta em 1,5% em massa apenas nos teores de óxidos de ferro e de alumínio do cimento (1) para o (3), também essa relação entre os teores dos dois silicatos foi bastante influenciada, bem como os teores de  $C_3A$  e  $C_4AF$ . Então, fica evidente que não se pode atribuir total significância ao controle dos teores de óxidos do cimento. Porém, ele nos dá algum sinal. Dentro dos limites usuais dos cimentos Portland comum e de alta resistência inicial, a soma dos teores dos dois silicatos varia entre limites estreitos, de modo que a variação das suas composições dependem muito da relação entre os teores de  $CaO$  e  $SiO_2$  nas matérias-primas. Da mesma forma, Mehta e Monteiro, op. cit., dão devida importância à relação  $CaO/SiO_2$ , que representa a variação nos teores de adições de escória e pozolana no cimento, sendo um forte indicador de qualidade de argamassas e concretos. Eles recomendam que o seu valor desse fator esteja entre 1,5 e 2,0. Já, conforme citação de IBRACON, op. cit., Uchikawa (1986) diz que essa relação deve oscilar entre 1,7 a 2,0 para os cimentos sem adição, entre 1,4 e 1,7 nos cimentos Portland de alto-forno e entre 1,0 e 1,4 nos cimentos Portland pozolânicos. Para análise dos compostos do cimento anidro, Neville, op. cit., utiliza o método de difração de raios-x (DRX) nesse material em pó, para identificação de fases cristalinas e também para estudar a estrutura cristalina de algumas fases. Apesar da identificação das fases cristalinas ou compostos químicos da argamassa pelo DRX, segundo demonstra o trabalho feito por Ribas (2006), foi constatado a existência do mineral calcita, que é formado principalmente por cálcio. Isso comprovou que de quase nada adiantou o DRX na identificação dos compostos da argamassa hidratada com cimento Portland, pois todos eles contêm o elemento cálcio. Assim, o único composto cristalino da argamassa hidratada por ele identificado foi o  $Ca(OH)_2$  (hidróxido de cálcio). Isso também foi confirmado por Neville (1994), afirmando que a difratometria por raios-x (DRX) é útil na determinação da cal livre,  $CaO$ , diferenciando-a da  $Ca(OH)_2$ . Para a análise de fases, Neville, op. cit., também recomenda a análise por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV). Isso é demonstrado pelo mesmo trabalho realizado por Ribas, op. cit., que confirmou a importância do MEV na localização

morfológica das fases dos compostos químicos cristalinos da argamassa hidratada de cimento Portland. Isso só foi possível de constatar devido às imagens de altíssima resolução obtidas pelo MEV. Já a identificação de elementos para essa amostra em pó, Neville, op. cit., recomenda métodos mais rápidos, tais como a espectrometria de fluorescência de raios-x (FRX) e a microanálise química por sonda eletrônica (MEV/EDS). A vantagem na utilização do MEV/EDS foi comprovada por Ribas, op. cit., que localizou grandes quantidades dos elementos químicos silício e cálcio por meio do MEV/EDS em amostras de argamassa no estado endurecido, ficando também evidenciada a presença da fase silicato de cálcio. Já o FRX, segundo este autor, é um método que localiza apenas os elementos químicos formadores dos compostos da argamassa endurecida estudada, mas não identifica as fases presentes na amostra, o que seria de maior relevância para localizar os compostos químicos cristalinos da amostra.

Como os compostos do clínquer de cimento Portland influenciam no comportamento deste material e de argamassas e concretos por ele formados, Silva et alii, op. cit., apresenta na tabela 6 as principais características dos compostos formadores do cimento Portland.

Tabela 6 – Características dos principais componentes do clínquer Portland obtido no forno rotativo (SILVA, 1998).

Componentes	$C_3S$	$\beta C_2S$	$C_3A$	$C_4AF$	
Fórmula aproximada	$3 CaO \cdot SiO_2$	$2 CaO \cdot SiO_2$	$3 CaO \cdot Al_2O_3$	$4 CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	
Nome	Alita (Silicato tricálcico) Fase cristalina	Belita (Silicato dicálcico) Fase cristalina	Celita (Aluminato tricálcico) Fase cristalina	Brownmillerita (Ferroaluminato tetracálcico) Fase cristalina	
Teor médio em massa (%)	40 a 70%	10 a 20%	6 a 12%	6 a 8%	
Principais impurezas	$MgO$ $Al_2O_3$ $Fe_2O_3$	$MgO$ $Al_2O_3$ $Fe_2O_3$	$SiO_2$ $MgO$ $K_2O$ e $Na_2O$ (álcalis)	$SiO_2$ $MgO$	
Taxa de reação com	Média	Lenta	Rápida	Lenta	
Propriedades	Endurecimento rápido, controlado pela adição de gesso (2º maior em importância depois do $C_3A$ ); Alto calor de hidratação (2º maior em importância depois do $C_3A$ ); Alta resistência mecânica inicial (até o 1º mês de cura), porém, é o maior responsável pela resistência em todas as idades.	Endurecimento lento; Baixo calor de hidratação; Baixa resistência mecânica inicial (responsável pelo ganho de resistência em idades mais avançadas, como após 1 ano de cura)	Pega muito rápida controlada pela adição de gesso; Contribui para o ganho de resistência mecânica no 1º dia de cura; Suscetível ao ataque de sulfatos; Alto calor de hidratação (principalmente no início da cura); Alta retração; Baixa resistência mecânica final.	Endurecimento lento; Resistente aos meios sulfatados; Não contribui para a resistência mecânica; Cor escura.	
Contribuição para a resistência à compressão nas primeiras idades (1 a 28 dias).	Excelente	Pouca	Boa	Pouca	
Contribuição para a resistência à compressão nas idades posteriores (depois dos 28 dias).	Boa	Excelente	Pouca	Pouca	
Calor de hidratação liberado (cal/g)	3 dias	58	12	212	69
	90 dias	104	42	311	98
	13 anos	122	59	98	102

Fonte: adaptado de (RIBEIRO et alii; BAUER; MEHTA e MONTEIRO; 2002, 2000, 1994).

Obs. Nos clínqueres industriais não ocorrem as fases puras, pois há significativa incorporação de elementos minoritários, tais como  $MgO$ ,  $TiO_2$ ,  $MnO_2$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$ .

Embora não foi relacionado, o teor de cal livre no cimento é aceitável só em pequenas quantidades (0,5 a 1,5%), pois caso contrário, causa aumento de volume e fissuras quando hidratado, conforme se pode observar na reação de extinção da cal virgem, no item 4.2.3 adiante.

O enrijecimento (perda de consistência) e a pega (solidificação) resultam diretamente das reações de hidratação dos aluminatos, enquanto que os silicatos, que correspondem aproximadamente a 75% do clínquer de cimento Portland, têm importante papel na determinação do endurecimento (taxa de desenvolvimento da resistência mecânica) (METHA; MONTEIRO, op. cit.).

Segundo o IBRACON, op. cit., os materiais que se fundem durante o processo de clínquerização do cimento Portland e preenchem os espaços entre os cristais de alita e belita, formando a fase intersticial em solução sólida, são os aluminatos e ferroaluminatos cálcicos.

Segundo Neville, op. cit., as caracterizações morfológicas das fases cristalinas do clínquer de cimento Portland são as seguintes:

a) O  $C_3S$  aparece como pequenos grãos equidimensionais incolores. Resfriado abaixo de  $1250^{\circ}\text{C}$ , ele se decompõe lentamente, com resfriamento não muito rápido, permanecendo inalterado e relativamente estável à temperatura ambiente; Segundo Mehta e Monteiro, op. cit., embora três formas cristalinas principais da alita (triclínica, monoclínica, e trigonal) tenham sido detectadas em cimentos industriais, essas formas são uma leve distorção da pseudo-estrutura ideal do  $C_3S$  constituída de tetraedros de  $SiO_4$  (o átomo de silício está no centro do tetraedro e ligado a quatro átomos de oxigênio localizados nos quatro vértices do tetraedro), íons cálcio e íons oxigênio. De acordo com Lea (1971), conforme citado em IBRACON, op. cit., um aspecto notável do empacotamento iônico é que a coordenação dos íons oxigênio em torno do cálcio é irregular, de tal forma que os íons oxigênio estão concentrados num lado de cada íon cálcio. Este arranjo deixa grandes vazios estruturais responsáveis pela alta energia e reatividade da estrutura. Como dizem Kihara et alii, op. cit., conforme citado em IBRACON, op. cit., o silicato tricálcico é o principal constituinte do clínquer, compreendendo 40% a 70% do clínquer de cimento Portland, em massa, e apresenta-se sob a forma de solução sólida de  $Ca_3SiO_5$  com proporções variadas de elementos menores (Al, Mg, Fe, Na, K, Ti, Mn, P e outros);

b) O  $C_2S$  é conhecido como tendo três ou quatro formas ou fases cristalinas. O  $\alpha$ - $C_2S$ , que existe em temperaturas elevadas, se transforma na forma  $\beta$  a aproximadamente  $1450^{\circ}\text{C}$ . O  $\beta$ -

$C_2S$  sofre outra transformação para a forma  $\delta-C_2S$  a aproximadamente  $670^\circ\text{C}$ , mas à velocidade de resfriamento dos cimentos comerciais, o  $\beta-C_2S$  se mantém no clínquer sob a forma de grãos arredondados, geralmente geminados. Já, segundo Mehta e Monteiro, op. cit., a estrutura da belita nos cimentos industriais é irregular, mas com vazios intersticiais muito menores do que no  $C_3S$ , o que torna a belita muito menos reativa do que a alita. Segundo Kihara et alii, op. cit., conforme citado por IBRACON, op. cit., essa fase se constitui de solução sólida de  $Ca_2SiO_4$  com diversos elementos menores, representando, em média, 10 a 20% do clínquer do cimento Portland;

c) Segundo Mehta e Monteiro, op. cit., o  $C_3A$  contém na sua estrutura cristalina significativas quantidades de impurezas como magnésio, sílica, sódio, potássio e álcalis que faz com que a sua estrutura seja ortorrômbica. Já Neville, op. cit., constata que o  $C_3A$  forma cristais retangulares, sendo por isso a sua estrutura pura; Porém, em fases vítreas forma uma fase intersticial amorfa, o que explica a sua alta reatividade inicial, que é a característica de maior interesse para os cimentos que precisam ganhar rapidamente resistência mecânica. De acordo com Mehta e Monteiro, op. cit., a fase pura tem a forma cúbica;

d) O  $C_4AF$ , com esta representação cômoda e simplificada, na verdade é formado por uma solução sólida, cuja composição varia entre  $C_2F$  e  $C_6A_6F$ . Ele é representado por uma estrutura cristalina com átomos de soluto adicionados ao material hospedeiro. Isso também é verificado por Kihara et alii, op. cit., de acordo com citação de IBRACON, op. cit., quando descreve que no clínquer de cimento Portland ocorre na fase intersticial em proporções que variam de 15 a 20%, em massa, preenchendo os espaços entre os cristais de alita e belita que ocorreu durante a fundição no forno. Mehta e Monteiro, op. cit., dizem que esse composto tem a forma ortorrômbica, devido à presença das mesmas impurezas do  $C_3A$ ;

e) Segundo Mehta e Monteiro, op. cit., tanto o  $MgO$  como o  $CaO$  têm estrutura cristalina cúbica, sendo cada íon de magnésio ou cálcio circundado por seis átomos de oxigênio num octaedro regular.

Ainda segundo Mehta e Monteiro, op. cit., pequenas quantidades de impurezas, tais como, magnésio, sódio, potássio e enxofre, os quais possuem a capacidade de entrar em soluções sólidas com cada um dos principais compostos do clínquer, em solução sólida podem não alterar significativamente a natureza cristalográfica e a reatividade de um composto com a água, porém, grandes quantidades sim.

Segundo Mehta e Monteiro, op. cit., o teor de  $MgO$  e  $CaO$  presente no clínquer de cimento deve estar dentro dos limites especificados pelas normas, pois, tanto a hidratação do  $MgO$  quanto a do  $CaO$  cristalinos, quando presentes em quantidades substanciais no cimento, pode causar expansão e fissuração em concreto por causa do aumento de volume causado pelas reações de hidratação retardada desses compostos. Essas fissurações também podem ocorrer em argamassas, de acordo com Cincotto (1989) e Bauer, op. cit., pelo mesmo motivo que no concreto. A presença da cal livre ( $CaO$ ), de acordo com IBRACON, op. cit., é da mesma forma considerada indesejável no clínquer em teores superiores a 2%, sendo teores elevados indicativo de que a combinação dos óxidos presentes no forno não foi completa, seja pela finura<sup>2</sup> e homogeneização inadequada da farinha, seja pelas condições de queima insatisfatórias.

Diferentes tipos de cimentos são obtidos no proporcionamento adequado das matérias-primas, como se pode observar na tabela 7 adiante. Assim, por meio da imposição de limites ou não para os quatro compostos principais do cimento Portland,  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$  e  $C_4AF$ , se pode obter certo controle sobre algumas propriedades dos concretos ou argamassas, conforme se pôde verificar na tabela 6. Por outro lado, Neville, op. cit., demonstrou na tabela 5 apresentada que o controle da formação desses compostos é de difícil controle e muito variável quando sofrem pequenas mudanças nos percentuais em massa dos óxidos como matérias-primas na produção do clínquer de cimento Portland. Porém, apesar dessas dificuldades encontradas no controle dos processos de fabricação do cimento, os autores de IBRACON, op. cit., de Mehta e Monteiro, op. cit., confirmam que esse proporcionamento das matérias-primas óxidos é uma das principais formas que a indústria seriada de cimento utiliza para garantir algumas das propriedades requeridas no cimento Portland para a confecção de argamassas e concretos com características exigidas pelo mercado da construção civil.

Assim, Neville, op. cit., notou que devido às dificuldades de controle no processo produtivo do cimento, a especificação e a fixação dos limites dos teores de compostos principais não eram suficientes para controlar as propriedades do concreto ou da argamassa, não podendo dessa forma eliminar os ensaios físicos para comprovação das características alcançadas na utilização de cada tipo de cimento nesses produtos. Isso porque, conforme visto na tabela 5, a composição calculada e balanceada para a fabricação do clínquer na indústria de cimento não leva à obtenção precisa dos compostos do clínquer do cimento Portland em forno rotativo. Dessa forma, as propriedades do cimento a serem obtidas na sua fabricação não podem ser

---

<sup>2</sup> Finura: este termo não leva em conta a área superficial específica de uma partícula, pois exclui a área total dos poros das partículas.

totalmente controladas, precisas e previstas. Portanto, essa fixação de limites dos teores de compostos principais não pode ser substituída pelos ensaios físico-químicos diretos de desempenho dos produtos prontos, argamassas e concretos, para a confirmação das suas propriedades exigidas pelo cliente.

Segundo citam IBRACON, *op. cit.*, os autores Kihara et alii, *op. cit.*, dizem que o clínquer Portland contém informações sobre o seu processo industrial que, ao atravessar o forno, registra informações a respeito de sua história térmica, que fica registrada na sua microestrutura, contrariamente ao que ocorre nas indústrias siderúrgicas do vidro, cuja etapa de fusão apaga qualquer vestígio das condições a que se submeteu o produto.

Isso também é confirmado por IBRACON, *op. cit.*, quando dizem que a determinação média dos cristais de alita, da forma dos cristais de alita e belita, da distribuição dos cristais de belita e cal livre, do nível de cristalização da fase intersticial, entre outras, são características texturais que possibilitam reconstituir as principais etapas do processo de fabricação. Isso resulta na possibilidade de adotar ajustes para a obtenção de um produto de qualidade com custos otimizados.

De acordo com IBRACON, *op. cit.*, a hidratação do cimento Portland não depende exclusivamente dos compostos mineralógicos do clínquer e das adições ativas do cimento, mas também de fatores como finura<sup>2</sup>, relação água-cimento, umidade, temperatura e procedimentos de cura, entre outros. Também Neville, *op. cit.*, constata que a velocidade de hidratação e evolução rápida da resistência depende da finura<sup>2</sup> das partículas do cimento, pois se aumenta com isso a área de contato do soluto com o solvente. Então, cimentos finos geram uma reação de hidratação inicial mais rápida, com maior desprendimento inicial de calor de hidratação, resultando em reações mais energéticas com os agregados álcalis-reativos, que fazem com que a pasta apresente uma maior retração e uma maior tendência à fissuração. No entanto, os cimentos finos apresentam menor exsudação com maior retenção de água do que os cimentos mais grossos.

IBRACON, *op. cit.*, descrevem que a finura<sup>2</sup> e a distribuição granulométrica definidas pela moagem na última etapa da fabricação do cimento, têm importância vital para o comportamento reológico e o desempenho mecânico de concretos e argamassas. Isso porque o processo de hidratação do cimento inicia-se pela superfície das partículas e, assim, a área ou superfície específica do material assume qualidade de um importante parâmetro desse processo de cura. De acordo com Older (1991), citado também por IBRACON, *op. cit.*, para o desenvolvimento rápido da resistência mecânica, é necessário um nível de finura elevado, embora a resistência final de um cimento totalmente hidratado independa da sua finura<sup>2</sup>.

Ainda segundo IBRACON, op. cit., para o bom desempenho do cimento hidratado, com base exclusivamente na distribuição granulométrica, são desejáveis volumes de partículas de 3 a 30 $\mu$ m entre 60 e 70%. Partículas abaixo de 2 $\mu$ m de diâmetro pouco influenciam o aumento de resistência mecânica, contribuindo mais expressivamente para o aumento do requerimento de água para uma mesma trabalhabilidade. Por outro lado, partículas maiores que 50 $\mu$ m comportam-se praticamente como inertes, devido à pequena área superficial por unidade de massa.

Ainda de acordo com IBRACON, op. cit., para o controle da “finura<sup>2</sup>” e da distribuição granulométrica do cimento, inúmeras técnicas de ensaios são utilizadas, sendo elas dificultadas devido à reação de hidratação do cimento começar tão logo o cimento entre em contato com a água. Porém, ainda considerando esse ponto negativo, utilizam-se essas técnicas, também por serem de custo baixo, tais como:

- a) A área específica Blaine: é um método indireto que mede a permeabilidade do material, não levando em conta os seus poros internos, segundo notas de aula do Brandão (2001). Assim não mede a real superfície específica do material. Essa limitação também é confirmada pelos vários autores do IBRACON, op. cit., quando descrevem que esse ensaio não dá noção real da distribuição granulométrica da amostra. Essa análise é confirmada por Buchanan (1995), conforme citação de IBRACON, op. cit., que constata que dois cimentos de mesmas áreas específicas Blaine podem apresentar distribuições granulométricas muito distintas e, em consequência, comportamentos reológicos diversos;
- b) O peneiramento: é uma técnica antiga, de baixo custo, porém aplicável a granulometrias mais grossas. Abaixo de 38 $\mu$ m (#400 ou 0,037 mm - ABNT), ele é muito difícil, com baixa reprodutibilidade dos resultados e muita perda de material em pó;
- c) A granulometria a laser (análise granulométrica por espalhamento ou difração de radiação laser: esse método consiste em diluir e homogeneizar um material particulado (cimento) num líquido dispersante de hexametáfosfato em quantidade pequena (0,5%), que passa através de uma célula, em que é incidido um feixe de raios laser. Os detectores captam os raios difratados após serem desviados pelas partículas de cimento em suspensão, determinando o ângulo de difração e, por conseguinte, o diâmetro das partículas. Essa técnica possibilita a determinação da distribuição granulométrica de partículas de dimensões entre 0,1  $\mu$ m e 500 $\mu$ m, sendo, portanto, o mais recomendado dentre os acima citados para a cal e o cimento. É o mais eficiente na determinação da distribuição granulométrica do cimento e da cal contidas nas argamassas do que por meio do tratamento granulométrico com peneiramento convencional porque esses aglomerantes contêm também partículas com dimensões abaixo de

38 $\mu$ m (BRANDÃO, op. cit.). Porém, para o caso aqui estudado das argamassas industrializadas, as limitações no preparo da amostragem desse material observadas por Ribas, op. cit., que a argamassa industrializada tem também a areia artificial como componente, cujas dimensões são bem maiores do que as recomendadas para a realização desse ensaio a laser. Por isso, teve-se que recorrer ao tritramento da amostra de argamassa endurecida na panela de aço. Por causa desse tritramento da amostra para se chegar às dimensões adequadas ao ensaio de granulometria a laser, além da quebra dos compostos hidratados do cimento já formados, o resultado da granulometria do produto fugiu da realidade, ao contrário de quando é feito nas amostras contendo apenas cimento e cal anidros (em pó sem hidratação com água). Então, se esse ensaio fosse feito em amostras em pó (estado anidro) contendo somente cimento e cal, cujas dimensões são inferiores a 75  $\mu$ m e adequadas ao ensaio, o resultado da curva granulométrica sairia perfeito, dentro da realidade. Então, conforme se pode notar, a moagem e o tritramento de amostras de argamassas industrializadas falseiam o resultado obtido, também por conterem areia, cujas dimensões não são apropriadas para o ensaio.

De acordo com IBRACON, op. cit., após entrar em contato com a água, o cimento Portland é submetido a processos de transformações químico-mineralógicas, que contribuem para agregar e consolidar os agregados, pedras, blocos e blocos cerâmicos ou de concreto. Isso devido à avidéz do cimento por água para reação exotérmica que está relacionada à necessidade dos componentes do clínquer atingirem seu campo de estabilidade sob as condições ambientais reinantes. Assim, os elementos químicos, agora contando também com a molécula de água, se rearranjam em novos sistemas cristalinos, conferindo à mistura água-cimento sua rigidez e a propriedade reológica principal requerida do produto. Esses processos de endurecimento, conforme afirmam Bauer, op. cit., e Neville, op. cit., compostos por reações de natureza ainda não totalmente entendidas e complexas, mas conhecidamente envolvendo a dissolução da mistura que contém o cimento Portland na água, com precipitação de cristais e gel com hidrólises (quebra e dissolução de determinados componentes do cimento pela água, com a fixação de íons de hidrogênio ou de hidroxila) e hidratações das partículas de cimento. Então, segundo IBRACON, op. cit., para melhor compreender o processo de hidratação do cimento, pesquisadores passaram a estudar em separado o comportamento exibido pelas diversas fases mineralógicas que compõem o clínquer Portland. Segundo Zampieri (1989), citado por IBRACON, op. cit., e Mehta e Monteiro, op. cit., a hidratação da alita e da belita no cimento Portland, que não se hidratam no seu estado sólido (anidro), tendo então de se dissolverem antes, para depois produzirem a fase menos solúvel

silicato de cálcio hidratado, estruturalmente representado por  $C-S-H$  (a hifenização demonstra que não é um composto totalmente conhecido), que se precipita em solução supersaturada com a morfologia que varia desde fibras pouco cristalinas a um reticulado cristalino, com cristalinidades, formas e composições bastante variáveis, dependendo do tempo de reação, teores de adição do cimento, temperatura e relação água/cimento ( $a/c$ ). Por isso, é freqüentemente citado como  $C-S-H$  gel em literatura tradicional, com características semelhantes ao mineral natural tobermorita. Isso é confirmado pelo Neville, op. cit., que diz que a estrutura desse composto hidratado se assemelha à das argilas montmorilonitas, cujas camadas de planos individuais são bem cristalizadas e mantêm uma distância bem definidas entre as mesmas, espaço esse capaz de acomodar quantidades variáveis de cal sem modificações apreciáveis (propriedade tixotrópica). Segundo Neville, op. cit., estes compostos são aparentemente amorfos, mas o MEV revela o seu caráter cristalino. Ainda esse autor descreve esse composto como partículas fibrosas, planas, achatadas e como malha de reticulados, grãos irregulares, todas difíceis de serem definidas. No entanto, segundo este autor, a forma predominante é a de partículas fibrosas, possivelmente maciças, possivelmente ocas, algumas vezes achatadas, algumas vezes se ramificando nas extremidades. Tem comprimento característico entre 0,5 e 2  $\mu\text{m}$  e largura menor do que 0,2  $\mu\text{m}$ . A estrutura dos silicatos de cálcio hidratados é muito desordenada para ser definida pelas técnicas disponíveis, não fornecendo uma imagem bem definida e precisa desse composto, tendo de ser feito um cruzamento de informações obtidas pelo MEV e o DRX (NEVILLE, op. cit.). Porém, segundo Mehta e Monteiro, op. cit., devido às suas dimensões coloidais e à tendência a aglomerar, os cristais de  $C-S-H$  puderam ser observados somente com o advento do microscópico eletrônico.

Ainda segundo Mehta e Monteiro, op. cit., o  $C-S-H$  constitui de 50 a 60% do volume de sólidos de uma pasta de cimento Portland completamente hidratado, e é, conseqüentemente, a mais importante na determinação das propriedades da pasta, sendo, portanto, o maior responsável pela resistência mecânica da pasta de cimento Portland. Essa resistência do material é atribuída principalmente pela força de ligações atômicas denominadas força de van der Waals, sendo o tamanho dos poros do gel ou a distância sólido-sólido de aproximadamente 18Å. Embora a estrutura exata desse composto não seja conhecida, alguns modelos propostos e algumas técnicas de medição determinam áreas específicas de 100 a 700  $\text{m}^2/\text{g}$ .

Segundo Mehta e Monteiro, op. cit., a fase formada por cristais de hidróxido de cálcio, também denominado Portlandita, tem uma estequiometria bem definida,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Embora

eles ocupem um volume de 20 a 25% dos sólidos na pasta hidratada, o potencial de contribuição desse composto para a resistência mecânica devido às forças de van der Waals é limitado e, conseqüentemente possui uma área específica consideravelmente menor do que a do silicato de cálcio hidratado. Já, segundo o IBRACON, op. cit., o hidróxido de cálcio não contribui para a resistência mecânica da pasta de cimento.

Além disso, Mehta e Monteiro, op. cit., dizem que a morfologia desses cristais de  $Ca(OH)_2$  varia bastante, apresentando desde formas não definidas até pilhas de placas geometricamente bem definidas de cristais prismáticos grandes. Eles descrevem que a sua morfologia é afetada pelo espaço disponível, temperatura de hidratação, e impurezas presentes no sistema. Além disso, por ser a solubilidade do hidróxido de cálcio maior do que a do  $C-S-H$ , a presença de uma quantidade considerável de  $Ca(OH)_2$  no cimento Portland hidratado tem um efeito desfavorável sobre a sua resistência química a soluções ácidas. Porém, o único aspecto positivo é a alcalinidade do  $Ca(OH)_2$  conferida ao meio, responsável pela passivação das armaduras em concretos armados. Também, de acordo com os autores do IBRACON (2005), o composto  $Ca(OH)_2$  é de fácil solubilização, lixiviação e carbonatação. Por isso, estes autores dizem que a resistência mecânica final e a durabilidade da pasta endurecida frente a ataques químicos de águas ácidas e sulfatadas de um cimento Portland com elevado teor de  $C_3S$  sejam menores que as de um cimento de alto teor de  $C_2S$ . E ainda, segundo Neville (1997), a hidratação do  $C_3S$  caracteriza o comportamento do cimento, de um modo em geral, com a formação inicialmente rápida de  $Ca(OH)_2$  na solução que forma uma camada externa de silicato de cálcio hidratado ( $C-S-H$ ) com cerca de 10 mm de espessura. Esta camada dificulta a hidratação subsequente, tornando a hidratação muito lenta por certo tempo.

A fase sulfaluminato de cálcio, segundo Mehta e Monteiro, op. cit., ocupa de 15 a 20% do volume de sólidos na pasta endurecida e, conseqüentemente desempenham um papel menor nas relações estrutura-propriedade. Durante os primeiros estágios da hidratação do cimento relação iônica sulfato/alumina da solução geralmente favorece a formação de trissulfato hidratado,  $C_6AS_3H_{32}$ , denominado etringita, que tem a forma de cristais prismáticos aciculares. Em pastas de cimento Portland, a etringita transforma-se eventualmente em monossulfato hidratado,  $C_4ASH_{18}$ , que cristaliza em placas hexagonais. A presença de monossulfato hidratado em concreto de cimento Portland, assim como em argamassas, torna-os vulneráveis ao ataque por sulfato.

Segundo Neville, op. cit., à hidratação completa das partículas de cimento não ocorre quando elas têm grandes dimensões. Para que isso não ocorra, é preciso praticar a moagem das partículas de cimento, até que atinjam um diâmetro inferior a  $50\mu\text{m}$ . Após 28 dias de cura, foram encontrados grãos de cimento hidratados superficialmente a profundidade de até  $4\mu\text{m}$  e, após um ano, de até  $8\mu\text{m}$ . No fim de vários meses, foram encontradas partículas graúdas de cimento não hidratadas contendo tanto  $C_3S$  como  $C_2S$ . Também de acordo com Mehta e Monteiro, op. cit., dependendo da distribuição do tamanho das partículas de cimento anidro e do grau de hidratação da pasta, alguns grãos de clínquer não hidratado podem ser encontrados na microestrutura de pastas de cimento hidratado, mesmo após longo período de hidratação. Segundo esses autores, as partículas de clínquer de cimentos Portland atuais situam-se geralmente no intervalo de tamanho de 1 a  $50\mu\text{m}$ . Por causa do espaço disponível limitado entre as partículas, os produtos de hidratação das partículas menores tendem a cristalizarem-se muito próximos das partículas do clínquer maiores em hidratação, o que dá a aparência de formação de um revestimento ao redor delas. Em idades posteriores, devido à falta de espaço disponível, a hidratação in loco de partículas do clínquer resulta na formação de um produto de hidratação muito denso, cuja morfologia às vezes assemelha-se à de uma partícula do clínquer original.

A durabilidade de pastas, argamassas e concretos a base de cimento Portland está diretamente associada à porosidade desses materiais no estado endurecido (IBRACON, op. cit.). E é durante a hidratação do cimento que são gerados os poros na estrutura, segundo Mehta e Monteiro, op. cit.. Por isso, a lenta reação de hidratação proporcionada pelos materiais pozolânicos colaboram para a produção de concretos e argamassas com maiores durabilidades.

Segundo Mehta e Monteiro, op. cit., os diferentes tipos de vazios influenciam nas propriedades da pasta endurecida. O espaço interlamelar, que varia entre 5 a  $25\text{Å}$ , na estrutura  $C-S-H$  é responsável por 28% da porosidade capilar no  $C-S-H$  sólido. Esse tamanho de vazio é irrelevante para desfavorecer na resistência mecânica e na permeabilidade da pasta. No entanto, a água retida nesses vazios por meio de pontes de hidrogênio pode contribuir somente para a retração por secagem e para a fluência, depois de removida sob determinadas condições. Por outro lado, de acordo com Neville, op. cit., a retração hidráulica observada em pastas de cimento está associada à água contida nos poros capilares (com dimensão entre 100  $\text{Å}$  e 1000  $\text{Å}$ , a origem principal é a relação água/cimento) e à água associada aos vazios

existentes entre os géis de  $C - S - H$  (entre 30 Å e 100 Å). Para ambos os autores, a água combinada quimicamente não apresenta efeito de retração.

Então, de acordo Mehta e Monteiro, op. cit., como volume de vazios, porosidade e a distribuição do tamanho dos poros é afetada pelo nível de hidratação da pasta e, conseqüentemente pela quantidade de água de amassamento misturada ao cimento, fator água/cimento, a resistência da pasta será prejudicada à medida que isso aumentar a presença de grandes vazios capilares e de permeabilidade e porosidade do sistema composto pela pasta de cimento ou argamassa endurecida. Isso porque, segundo esses autores, a concentração de tensões e ruptura subsequente sob a ação de carga começa nos grandes vazios capilares e nas microfissuras invariavelmente presentes nesses sistemas heterogêneos e complexos.

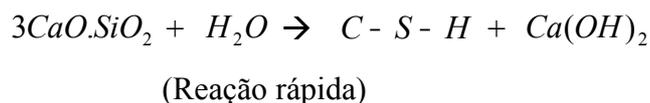
Segundo Neville, op. cit., o volume total dos produtos sólidos da hidratação do cimento e o volume total dos poros preenchidos ou não com água depende não só da relação a/c da mistura, como também do estágio da hidratação. Em geral, para cimentos perfeitamente hidratados, o volume de produtos sólidos da pasta endurecida é superior a 60%.

Algumas das principais matérias-primas utilizadas na fabricação do cimento, segundo Mehta e Monteiro, op. cit., são:

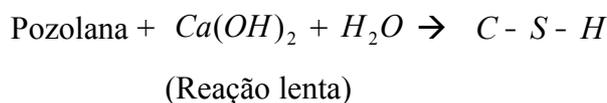
- Escória de alto-forno, que é um produto não metálico, consiste essencialmente de silicatos, aluminatos, silicatos de cálcio e outras bases;
- Escória granulada, que é um produto vítreo (amorfo) ou não cristalino formado quando a escória de alto-forno fundida é rapidamente resfriada, como por exemplo, pela imersão em água. Esse material finamente moído é auto-cimentante, isto é, não precisa de  $Ca(OH)_2$  para formar produtos cimentantes como o C-S-H. Portanto, quando a escória granulada de alto-forno hidrata por si mesma, a quantidade de produtos cimentantes formados e as taxas de formação são insuficientes para aplicação com cimento Portland, a hidratação da escória é acelerada na presença de hidróxido de cálcio e gipsita;
- Pozolana, que é um material silicoso ou sílico-aluminoso que em si mesmo possui pouca ou nenhuma propriedade cimentante, mas numa forma finamente dividida e na presença de umidade, reage quimicamente com hidróxido de cálcio a temperaturas ambientes para formar compostos com propriedades cimentantes.

Ainda de acordo com Mehta e Monteiro, op. cit., com relação à reação principal de formação de *C-S-H*, é útil uma comparação entre cimento Portland e cimento pozolânico com a finalidade de se compreender as razões para as diferenças entre os seus comportamentos:

#### Cimento Portland



#### Cimento Portland pozolânico



Então, ainda de acordo com esses autores, a importância técnica dos cimentos pozolânicos (e também dos cimentos de alto-forno) deriva principalmente de três aspectos da reação pozolânica:

- 1º) A reação é lenta e, portanto, a taxa de liberação de calor e de desenvolvimento da resistência serão conseqüentemente lentas;
- 2º) A reação consome óxido de cálcio, ao invés de produzi-lo, o que representa uma contribuição importante para a durabilidade da pasta endurecida de cimento frente a meios ácidos;
- 3º) Estudos sobre a distribuição do tamanho dos poros dos cimentos pozolânicos hidratados mostram que os produtos da reação são bastante eficientes no preenchimento dos espaços capilares grandes, melhorando assim a resistência e impermeabilidade do sistema.

Segundo Souza et alii, op. cit., a escória granulada de alto forno possui propriedades hidráulicas, isto é, endurece na presença de água, formando compostos praticamente estáveis, muito semelhantes aos formados pelo cimento puro na presença de água. Os materiais pozolânicos são aqueles que quando pulverizados na presença de água reagem com o hidróxido de cálcio, formando compostos hidráulicos. Os materiais carbonáticos são inertes, ou seja, não possuem propriedades hidráulicas. Porém, por serem bastante “finos”<sup>1</sup>, preenchem pequenos vazios da pasta de cimento endurecida.

No Brasil são comercializados os tipos de cimentos apresentados na tabela 7. Apesar disso, os autores Cincotto e Bolorino (1997) dizem que o cimento CP II-E32 é um dos aglomerantes mais utilizados nas composições das argamassas. Ainda hoje isso acontece, embora tenha aumentado bastante o uso do CPIII 40, porque o preço no mercado brasileiro deste cimento se igualou ao do CPII-E32, sendo que ele pode alcançar uma maior resistência à compressão final, além de resistirem bem mais do que o CPII-E32 a ambientes agressivos. Isso será mais explicado adiante, de acordo com as citações de IBRACON, op. cit., e Mehta em Monteiro, op. cit..

Tabela 7 - Tipos de cimento Portland comercializados no Brasil em função de suas composições.

Nome técnico do cimento Portland	Sigla	Classes	Conteúdo dos componentes (%)			
			Clínquer + gesso	Escória	Pozolana	Fíler calcário
Comum	CPI	25,32,40	100	-	0	-
Comum com adição	CPI-S	25,32,40	99--95	-	1--5	-
Composto com escória	CPII-E	25,32,40	94--56	6--34	0	0--10
Composto com pozolana	CPII-Z	25,32,40	94--76	0	6--14	0--10
Composto com filer	CPII-F	25,32,40	94--90	0	0	6--10
Alto forno	CPIII	25,32,40	65--25	35--70	0	0--5
Pozolânico	CPIV	25,32	5--45	0	15--50	0--5
Alta resistência inicial	CPV-ARI	-	100--95	0	0	0--5
Resistente a sulfatos	RS	25,32,40	-	-	-	-
Baixo calor de hidratação	BC	25,32,40	-	-	-	-
Branco estrutural	CPB	25,32,40	-	-	-	-

Fonte: (IBRACON, 2005)

Obs.: Dois outros tipos de cimento especiais são também produzidos: cimento Portland branco não estrutural (CPB) e cimento para poços petrolíferos (CPP-Classe G).

Souza et alii, op. cit., dizem que a escolha do tipo de cimento para cada uso depende das características desejadas em relação ao tempo de desforma, à cura do concreto ou da argamassa e às necessidades de resistência mecânica e química. Para usos comuns, podem ser utilizados os cimentos CP I, CP II, CP III ou CP IV. Nos casos dos cimentos CP III (alto-forno) e CP IV (pozolânico), verificar se o tempo de início e fim de pega não prejudica o serviço em questão, principalmente para a execução de chapisco ou outros serviços que demandem tempo de cura acelerado. Ainda de acordo com Souza et alii, op. cit., os usos dos cimentos CP III (alto-forno) e CP IV (pozolânico) são recomendados em ambientes mais agressivos, sujeitos a ataque químico (atmosfera muito poluída, água ou solo poluído/contaminado). Este autor também diz que o cimento CP V não tem seu uso recomendado para a execução das argamassas, devendo-se evitar sua utilização também em ambientes sujeitos a ataque químico. Os autores Carasek et alii (2001) confirmam isso, observando que, apesar de argamassas confeccionadas com cimento CP V ARI apresentarem maiores valores de resistência de aderência que as demais, um cuidado especial deve ser tomado, pois sua maior finura<sup>1</sup> pode conduzir mais facilmente a fissuração (comparando-se com a utilização de outros cimentos, considerando-se o mesmo consumo). Finalmente, a ABCP (2002) diz que são apropriados para a utilização em argamassas de revestimento e assentamento de blocos, os seguintes tipos de cimento: comum (CP I, CP I-S), composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de alto-forno (CP III) e pozolânico (CP IV).

Ao avaliarem os cimentos Portland CP II-E, CP II-F, CP III, CP V ARI e CP V ARI-RS e as cales CH-I e CH-III, na confecção de argamassas mistas, de cimento: cal: areia, na proporção 1:1:6, em massa, Cincotto e Bolorino, op. cit., observaram que os valores mais baixos de resistência à compressão axial foram encontrados na utilização do CP II - F (CP com adição de filler calcário) e os mais elevados foram encontrados na utilização do CP V ARI-RS (CP com teor elevado de  $C_3S$  e adição de escória). Eles também observaram que os cimentos que contêm escória (CP II-E e CP III) apresentaram crescimento da resistência até 63 dias, ao contrário dos restantes que apresentaram um patamar a partir dos 28 dias. Na realização de painéis revestidos com as argamassas produzidas com estes cimentos, foi observado que, quanto à utilização do cimento CP III, a retração não levou à formação de fissuras nos revestimentos (explicado por sua menor velocidade de hidratação), ao contrário dos painéis que foram utilizados o cimento CP V ARI-RS, nos quais foram verificadas fissuras (comportamento justificado pela velocidade de hidratação acelerada e maior retração inicial). Esse comportamento do cimento CP III é ideal para a sua utilização em argamassas de

revestimentos, principalmente para as aplicadas em revestimentos de fachadas externas, onde estão sujeitas às intempéries. Isso é facilmente percebido ao se verificar as características descritas para este cimento pelos autores de IBRACON, op. cit., e Mehta e Monteiro, op. cit., assim como são percebidas as aplicações dos cimentos Portland comercializados no Brasil, segundo as suas propriedades, conforme descritas por esses mesmos autores e relacionadas a seguir:

- a) O cimento Portland comum CP I e CP I-S (NBR 5732) é utilizado em construções em geral, quando não são exigidas propriedades especiais do cimento. Por exemplo, quando não há exposição a sulfatos do solo ou de águas subterrâneas. Não há limites impostos para nenhum dos quatro compostos principais;
- b) O cimento Portland comum com adições CP I-S (NBR 5732) é comercializado com 5% em massa de material pozolânico, ou de escória granulada de alto forno, ou de filer calcário (material carbonático). É recomendado para construções em geral, com as mesmas características do CP I;
- c) O cimento Portland composto CPII-Z (NBR 11578), que tem a adição de material pozolânico, gera calor numa velocidade muito menor do que o cimento Portland comum é utilizado quando se deseja moderada resistência ao sulfato ou moderado calor de hidratação. Esse cimento é recomendado para concreto-massa, no qual há grande volume de concretagem e uma superfície relativamente pequena que reduz a capacidade de resfriamento da massa e, também, para concreto empregado em obras subterrâneas, marítimas e industriais, como também para produção de argamassas, concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento, com o objetivo de produzir produtos mais impermeáveis e, portanto, mais duráveis;
- d) O cimento Portland composto CP II – E, com a adição de escória granulada de alto forno (NBR 11578), é a composição intermediária entre o cimento Portland comum e o cimento Portland de alto-forno. É recomendado para estruturas que exijam um desprendimento de calor moderadamente lento ou que possam ser atacadas por sulfatos;
- e) O cimento Portland composto CP II-F, com a adição de material carbonático (fíler ou mineral moído) (NBR 11578) é o que torna o concreto ou argamassa mais trabalháveis. Serve para aplicações em geral, tais como para o preparo de argamassas de assentamento, de argamassas de revestimento, de argamassas armadas, de concreto simples, de concreto armado, de concreto protendido, de concreto projetado, de concreto rolado, de concreto

magro, de concreto-massa, de elementos pré-moldados e artefatos de concreto, tais como pisos e pavimentos de concreto, como solo-cimento, dentre outros;

f) O cimento Portland de alto-forno CP III, com escória (NBR 5735), é o que apresenta maior impermeabilidade e durabilidade, além de baixo calor de hidratação e alta resistência à expansão devido à reação álcali-agregado, além de resistência a sulfatos. É utilizado também quando se deseja obter uma alta resistência inicial, característica alcançada não só pelo atendimento à normalização no controle aos limites de teores de compostos no clínquer, tal como o  $C_3S$ , mas também por controlar a superfície específica do grão de cimento, produzindo partículas maiores do que as do cimento Portland tipo I. Têm aplicações em argamassas de assentamento, revestimento, argamassa armada, de concreto simples, armado, protendido, projetado, rolado, magro e outras. É também recomendado para uso em obras de concreto-massa, tais como barragens, peças de grandes dimensões, fundações de máquinas, pilares, ambientes agressivos, tubos e canaletas para condução de líquidos agressivos, esgotos e efluentes industriais, concretos com agregados reativos, pilares de pontes ou obras submersas, pavimentação de estradas e pistas de aeroportos;

g) O cimento Portland pozolânico CP IV, com pozolana (NBR 5736), usado quando se deseja um baixo calor de hidratação. Uma vez que o  $C_3S$  e o  $C_3A$  produzem altos calores de hidratação, enquanto o  $C_2S$  produz muito menor quantidade de calor, a norma impõe limites máximos de 35 e 7 % de  $C_3S$  e  $C_3A$ , respectivamente, e estabelece um mínimo de 40% de  $C_2S$  no cimento. Os concretos e argamassas feitos com esse cimento se tornam mais impermeáveis, mais duráveis, apresentando resistências mecânicas à compressão superiores às de concretos feitos com cimentos Portland comum a idades avançadas. Por isso, é especialmente indicado em obras expostas à ação de água corrente e a ambientes agressivos. Apresenta também características particulares que favorecem sua aplicação em casos de grandes volumes de concreto, devido ao baixo calor de hidratação desprendido. É utilizado para obras correntes, sob a forma de argamassa, concretos simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento;

h) O cimento Portland CP V ARI (alta resistência inicial) (NBR 5737), que é usado quando se deseja uma alta resistência mecânica inicial e uma desforma rápida. Essa propriedade é conseguida pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer (que resulta em elevação dos conteúdos de silicato alita -  $C_3S$  - e de aluminato celita -  $C_3A$ ), e pela moagem “fina”<sup>1</sup> do cimento. É recomendado no preparo de concreto e

argamassa para produção de artefatos de cimento em indústrias de médio e pequeno porte, como fábricas de blocos para alvenaria, blocos para pavimentação, tubos, lajes, meio-fio, mourões, postes, elementos arquitetônicos pré-moldados e pré-fabricados e em obras em geral que se precisa das suas características;

i) O cimento Portland RS (Resistente a sulfatos) (NBR 5733), que são os cimentos resistentes a sulfatos. Os cimentos CP I, CP II, CP II, CP IV, CP V-ARI podem ser resistentes aos sulfatos, desde que eles se enquadrem em pelo menos uma das seguintes condições:

- Teor de aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) do clínquer e teor de adições carbonáticas de no máximo 8% e 5% em massa, respectivamente;
- Cimentos do tipo alto-forno que contiverem entre 60% e 70% de escória granulada de alto-forno, em massa;
- Cimentos do tipo pozolânico que contiverem entre 25% e 40% de material pozolânico, em massa;
- Cimentos que tiverem antecedentes de resultados de ensaios de longa duração ou de obras que comprovem resistência aos sulfatos;

j) O cimento Portland de baixo calor de hidratação (BC) (NBR 13116), que é usado para retardar o desprendimento de calor em peças de grande massa de concreto, evitando o aparecimento de fissuras de origem térmica, devido ao calor desenvolvido durante a hidratação do cimento. É designado por siglas e classes de seu tipo, acrescidas de BC. Por exemplo: CP III – 32 (BC) é o cimento de alto forno com baixo calor de hidratação, determinado pela sua composição;

k) O cimento Portland branco (CPB) (NBR 12989), é subdividido em estrutural e não estrutural. O estrutural é aplicado em concretos brancos para fins arquitetônicos, com classes de resistência 25,32 e 40, similares às dos demais tipos de cimento. Já o não estrutural não tem indicações de classe e é aplicado, por exemplo, em rejuntamento de azulejos e em aplicações não estruturais. Pode ser utilizado nas mesmas aplicações do cimento cinza. A cor branca é obtida a partir de matérias-primas com baixos teores de óxido de ferro e manganês, em condições especiais durante a fabricação, tais como resfriamento e moagem do produto e, principalmente, utilizando o caulim no lugar da argila. O cimento branco oferece a possibilidade de escolha de cores, uma vez que pode ser associado a pigmentos coloridos.

Segundo Mehta e Monteiro, op. cit., o produto final de hidratação em cimentos contendo mais de 5% de  $C_3A$  potencial, como calculado pelas equações de Bogue, é o monossulfato

hidratado, o qual é instável quando exposto a uma solução de sulfato: a etringita é o produto estável em meios sulfatados, e a conversão do monossulfato a etringita é geralmente associada à expansão e fissuramento. Por outro lado Carasek, Cascudo e Scartezini (2001) dizem que essa tendência à fissuração do cimento Portland CP V ARI utilizado em revestimentos é devido à maior finura<sup>2</sup> das partículas deste cimento, não atribuindo nenhum percentual desse aspecto negativo ao maior teor de  $C_3A$  nele contido. Já Neville, op. cit., diz que essa fissuração depende de uma combinação de fatores, e, na realidade, muito raramente a um único fator. Também Cincotto et alii, op. cit., atribui diversas causas às fissuras dos revestimentos argamassados, tais como:

- Retração da argamassa de revestimento por excesso de finos de agregado;
- Cimento como único aglomerante;
- Água de amassamento;
- Expansão da argamassa de assentamento por hidratação retardada dos óxidos de magnésio e de cálcio (cal viva ou cal virgem);
- Expansão da argamassa de assentamento por reação cimento-sulfatos, ou devida à presença de argilo-minerais expansivos no agregado;
- Retração da argamassa de assentamento por excesso de finos no agregado;
- Movimentação higrotérmica do componente.

Segundo Sabbatini (1998), a retração na secagem ocorre devido à evaporação da água de amassamento da argamassa e, também, pelas reações de hidratação e carbonatação dos aglomerantes, o que pode acabar causando a formação de fissuras prejudiciais ao revestimento, porque isso permite a percolação da água no revestimento endurecido, comprometendo a sua estanqueidade. Ele ressalta que os fatores que levam a esse comportamento são:

- As características e o proporcionamento dos materiais constituintes da argamassa;
- A espessura e o intervalo de aplicação das camadas;
- O respeito ao tempo de sarrafeamento e desempenho (período de tempo necessário para a argamassa perder parte da água de amassamento e chegar a uma umidade adequada para iniciar essas operações de acabamento superficial da camada de argamassa).

No que diz respeito ao proporcionamento dos materiais que influencia a retração na secagem, ainda segundo Sabbatini (1998), as argamassas com um alto teor de cimento, denominadas “fortes” ou “ricas”, estão mais sujeitas às tensões causadoras do aparecimento de fissuras prejudiciais durante a secagem, além das trincas e possíveis descolamentos da argamassa endurecida do substrato.

Os cimentos devem atender algumas exigências físicas e químicas normalizadas, de acordo com os tipos de cimentos Portland comercializados no Brasil, conforme tabelas 8 e 9, a fim de que as argamassas e concretos com eles produzidos alcancem as propriedades requeridas tanto nas suas formas de aplicações ou lançamentos, quanto nas características requeridas dos produtos acabados.

Tabela 8 - Exigências físicas dos cimentos segundo as normas brasileiras.

C i m e n t o	C l a s s e	Finura		Tempo de pega		Expansibilidade Le Chatelier		Resistência mecânica à compressão			
		#200 (75mm)	Blaine (m <sup>2</sup> /Kg)	Início (h)	Fim (h)	A frio (mm)	A quente (mm)	1 dia (MPa)	3 dias (MPa)	7 dias (MPa)	28 dias (MPa)
CPI	25	≤ 12,0	≥ 240	≥ 1,0	≤ 10,0	≤ 5,0	≤ 5,0	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0
	32	≤ 12,0	≥ 260						≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0
	40	≤ 10,0	≥ 280						≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0
CPI-S	25	≤ 12,0	≥ 240	≥ 1,0	≤ 10,0	≤ 5,0	≤ 5,0	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0
	32	≤ 12,0	≥ 260						≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0
	40	≤ 10,0	≥ 280						≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0
CPII-E	25	≤ 12,0	≥ 240	≥ 1,0	≤ 10,0	≤ 5,0	≤ 5,0	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0
	32	≤ 10,0	≥ 260						≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0
	40	≤ 10,0	≥ 280						≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0
CPII-Z	25	≤ 12,0	≥ 240	≥ 1,0	≤ 10,0	≤ 5,0	≤ 5,0	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0
	32	≤ 12,0	≥ 260						≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0
	40	≤ 12,0	≥ 280						≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0
CPII-F	25	≤ 10,0 280	≥ 240	≥ 1,0	≤ 10,0	≤ 5,0	≤ 5,0	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0
	32	≤ 12,0	≥ 260						≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0
	40	≤ 12,0	≥ 280						≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0
CPIII	25			≥ 1,0	≤ 12,0	≤ 5,0	≤ 5,0	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0
	32	≤ 10,0	-						≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0
	40								≥ 15,0	≥ 23,0	≥ 40,0
CPIV	25			≥ 1,0	≤ 12,0	≤ 5,0	≤ 5,0	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0
	32	≤ 8,0	-						≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0
CPV-ARI	-	≤ 6,0	≥ 300	≥ 1,0	≤ 12,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≥ 14,0	≥ 24,0	≥ 34,0	-
RS	-	≤ 6,0	≥ 300	≥ 1,0	≤ 12,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≥ 11,0	≥ 24,0	≥ 34,0	-

Fonte: IBRACON, 2005.

Obs.: Outras características podem ser exigidas, como calor de hidratação, inibição da expansão devida à relação álcali-agregado, resistência a meios agressivos, tempo máximos de início de pega.

Tabela 9- Exigências químicas dos cimentos segundo as normas brasileiras.

Tipo de cimento	Resíduo insolúvel (%)	Perda ao fogo (%)	Teores de óxidos		
			MgO	SO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>
CPI	≤ 1,0	≤ 2,0	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 1,0
CPI-S	≤ 5,0	≤ 4,5	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 3,0
CPII-E	≤ 2,5	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 5,0
CPII-Z	≤ 16,0	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 5,0
CPII-F	≤ 2,5	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 5,0
CPIII	≤ 1,5	≤ 4,5	-	≤ 4,0	≤ 5,0
CPIV	-	≤ 4,5	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 3,0
CPV-ARI	≤ 1,0	≤ 4,5	≤ 6,5	(*)	≤ 3,0
RS	-	≤ 4,5	≤ 6,5	(*)	≤ 3,0

(\*) ≤ 3,5 para C3A ≤ 8,0% e ≤ 4,5 para C3A > 8,0%.

Fonte: IBRACON, 2005.

Em relação ao acondicionamento do cimento no canteiro de obra, Souza et alii, op. cit., recomendam o armazenamento em pilhas de no máximo 15 sacos, no almoxarifado de ensacados do canteiro, por não mais que 30 dias. Para isto, o estoque deve ser feito de maneira a garantir que os sacos mais velhos sejam utilizados antes dos sacos recém-entregues. Também, Souza et alii, op. cit., recomendam que o depósito de cimento não esteja com uma distância maior do que 20 metros da praça de descarga, além de sua cobertura dever ser reforçada para minimizar os riscos de perda do material por goteiras ou vazamentos despercebidos. O piso deve ser revestido com estrado de madeira (pontaletes e tábuas ou chapas de compensado). Em regiões litorâneas, recomendam também uma proteção adicional contra a umidade, indicando a cobertura do lote com uma lona plástica (não hermeticamente) para garantir a durabilidade e o prazo de estocagem do cimento.

### 5.2.3 - A Cal

Os aglomerantes derivados da calcinação de carbonatos como a rocha calcária, são não-hidráulicos porque seus produtos de hidratação não resistem à água, como descrevem Mehta e Monteiro, op. cit.. Ainda segundo esses autores, as argamassas de cal usadas em estruturas antigas construídas pelos romanos e gregos foram tornadas hidráulicas por adição de materiais pozolânicos, os quais reagiram com a cal para produzir um produto cimentante resistente à água.

De acordo com os autores Cincotto et alii, op. cit., as cales podem ser classificadas, segundo as suas composições químicas ou naturezas, em: cálcica (teor de CaO  $\geq$  90%, em relação aos óxidos totais), magnésiana ( $65\% < \text{CaO} < 90\%$ ) e dolomítica ( $\leq 65\% \text{ CaO}$ ).

De acordo com Guimarães, op. cit., a cal é o mais antigo e valioso produto químico aglomerante derivado das rochas carbonatadas cálcio-magnesianas. O produto é composto de óxidos anidros de cálcio e, eventualmente, de magnésio, sendo obtido por calcinação da matéria-prima sob temperaturas entre 900 °C e 1200°C.

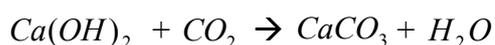
Bauer, op. cit., descreve as reações que dão origem ao constituinte básico do aglomerante cal, a cal hidratada, até o seu endurecimento por recombinação deste hidróxido com o gás carbônico da atmosfera, reconstituindo o carbonato original, tais como:



(Reação de calcinação)



(Reação de hidratação ou extinção da cal - altamente exotérmica)



(Reação de recarbonatação – de endurecimento lento da cal hidratada misturada e aplicada com água e areia como revestimento, muitas vezes chamada de reação de recarbonatação da cal, porque a cal hidratada volta a sua forma original de pedra calcária).

Os autores Cincotto et alii, op. cit., afirmam que a prática tem mostrado que a utilização do aglomerante cal repercute favoravelmente na trabalhabilidade da argamassa devendo-se, no

entanto, analisar posteriormente a influência do teor desse aglomerante nas demais propriedades. Ainda esses mesmos autores afirmam que a influência da cal sobre a trabalhabilidade e a consistência das argamassas provém das condições de coesão interna que a mesma proporciona em função da diminuição da tensão superficial da pasta aglomerante e da adesão ao agregado. A estabilidade plástica das argamassas origina-se também da coesão interna.

Ainda de acordo com estes, a retenção de água é a capacidade da argamassa fresca em manter a sua consistência ou trabalhabilidade e plasticidade, quando sujeita às solicitações que provocam perda de água (por evaporação, sucção ou absorção pelo substrato). O tempo disponível para o pedreiro aplicar, regularizar e desempenar a camada de revestimento também depende da retenção de água, característica esta que é melhorada substancialmente pelo aumento da utilização da cal, cujas partículas têm uma área da superfície específica bem superior aos grãos de cimento. Assim, quanto menor o tamanho dos grãos de aglomerantes, o que é proporcionado pela cal, aumenta-se a retenção distribuição de água na argamassa mista, o que favorece para uma perfeita hidratação dos aglomerantes cal e cimento ao longo do tempo.

Cincotto et alii, op. cit., os fatores que influenciam sobre a capacidade de retenção de água das argamassas são:

- A área específica dos materiais constituintes e o número de íons ativos por unidade de superfície;
- A maturação prévia das argamassas de cal;
- A natureza da cal;
- A relação cal/cimento no traço;
- A relação agregado/aglomerante do traço.

Também de acordo com Cincotto et alii, op. cit., o teor de cal nos traços das argamassas mistas é o principal responsável pela retenção de água nas argamassas. Assim, para que haja alterações significativas nessa propriedade é necessário que a adição de cal ocorra pelo menos em igual proporção ao teor de cimento. Quanto à relação agregado/aglomerante, observa-se que, em caso de grande consumo de aglomerante, a retenção de água é elevada, independentemente do teor de cal. No entanto, segundo esses autores, quando decresce o

consumo de aglomerante, a retenção de água da argamassa aumenta com o aumento da relação cal/cimento, conforme estudos realizados na EPUSP (1986). Ainda de acordo com este estudo descrito por estes autores, fixando-se a relação cal/cimento, a retenção de água decresce com o aumento da relação agregado/aglomerante. Também Han e Kishitani (1984) estudaram o efeito que a retenção de água de uma argamassa exerce num nível de hidratação do cimento Portland após o contato dela com substratos adsorventes. Para tanto, eles empregaram três tipos de blocos cerâmicos, com taxas de sucção de água bem distintas. Através de análise térmica diferencial e análise termo-gravimétrica os referidos pesquisadores constataram que à medida que se aumenta a capacidade de retenção de água, pelo acréscimo da cal hidratada nas argamassas mistas, aumenta-se também o nível de hidratação do cimento, o que favorece na resistência à aderência do revestimento endurecido.

Segundo os autores Carasek, Cascudo e Scartezini, *op. cit.*, a cal, além de ser um material aglomerante, possui, por sua finura<sup>1</sup>, importantes propriedades plastificantes e de retenção de água. Dessa forma, as argamassas contendo cal preenchem mais fáceis e de maneira mais completa toda a superfície do substrato, propiciando maior extensão de aderência. Por sua vez, a durabilidade da aderência é proporcionada pela habilidade da cal em evitar fissuras e preencher vazios, o que é conseguido através da reação de recarbonatação que se processa ao longo do tempo. Esse aspecto particular da cal conhecido como restabelecimento ou reconstituição autógena, representa uma das vantagens do uso desse aglomerante nas argamassas de revestimento e assentamento. Dessa maneira, as argamassas com elevado teor de cimento são por eles consideradas menos duráveis. Isso devido à maior tendência a desenvolver fissuras, porém, em geral apresentam elevada resistência de aderência à tração dos revestimentos, o que cresce à medida que se aumenta a proporção de cimento no traço da argamassa mista de cal e cimento, como constatou Carasek (1996). Assim, de acordo com esta autora, melhorias tanto na extensão quanto no valor da resistência de aderência podem ser obtidas pela adição de pequenas proporções de cal às argamassas de cimento Portland. Da mesma forma constataram Carasek et alii, *op. cit.*, e concluíram que as argamassas ideais são aquelas que reúnem as qualidades dos dois materiais, ou seja, as argamassas mistas de cimento e cal.

Da mesma forma, Guimarães, *op. cit.*, descreve uma melhora das argamassas na utilização da cal hidratada na construção civil, dizendo que a sua principal função é de ligar, como aglomerante, de forma eficiente e duradoura, geralmente com aditivos, os blocos construtivos naturais ou artificiais. Assim, este autor descreve o comportamento que evita a fissuração por retração pela recarbonatação da cal hidratada nos revestimentos argamassados mistos de cal e

cimento Portland, confirmando o que já haviam descrito os autores Carasek, Cascudo e Scartezini, op. cit.. Segundo Guimarães, op. cit., esse comportamento da cal é proporcionado pelo preenchimento dos vazios da argamassa por meio do seguinte mecanismo por ele descrito:

Nas argamassas mistas de cal e cimento, a cal forma com a água e os inertes que a encorpam, uma mistura pastosa que penetra nas reentrâncias e vazios dos blocos construtivos, cimentando-os, principalmente pela recristalização dos hidróxidos e de sua reação química com o anidrido carbônico do ar. Durante o endurecimento, as partículas muito finas de hidróxidos se aglomeram, formando cristais que aumentam em número e tamanho à medida que a água se evapora. Estes cristais se entrelaçam, formando uma malha resistente que retém os agregados numa estrutura do tipo ofítica<sup>3</sup>. Paralelamente a isso, o hidróxido de cálcio dessas argamassas se transforma em carbonato anidro - em função do anidrido carbônico (gás carbônico) do ar incorporado - enquanto o magnésio, muito lentamente, transforma-se em carbonatos básicos, do tipo da lansfordita, hidrogiobertita, hidromagnesita, artinita e nesquehonita. Seus hidróxidos transformados em carbonatos, anidros (ácidos) ou básicos, ambos de maior volume, visto que o cristal de hidróxido de estrutura cristalina unitária da ordem de 3,58 Å x 3,58Å x 4,89Å, evoluem para estruturas cristalinas de carbonatos, com dimensões maiores, aproximadamente de 6,36 Å x 6,36Å x 6,36Å. Tal aumento de volume nas partículas provoca expansões e, conseqüentemente, compactação e maior rigidez dos componentes do sistema (maior preenchimento dos tão comuns vazios existentes nas argamassas), já acentuadas com o natural desenvolvimento dos cristais formados.

Assim, Komar (1979), conforme descrito por Guimarães, op. cit., atribui as conseqüências ao endurecimento das argamassas com cal inicialmente à secagem - perda da água de amassamento - e à formação de uma nova estrutura cristalina da massa de cristalinós de hidróxido de cálcio, do tipo ofítica<sup>3</sup>, com os componentes entrelaçados em trama sub-microscópica. Em seguida à secagem, forma-se uma camada superficial de carbonato de cálcio - calcita sobre o hidróxido de cálcio  $Ca(OH)_2$  da cal utilizada, pela ação do anidrido carbônico do ar, exterior ou incorporado na argamassa. Ao abordar esse tema na Rússia, Vorobiev (1967), também citado pelo Guimarães, op. cit., afirma que a recarbonatação nas argamassas com cal é superficial e acrescenta: a espessura da interface argamassa/ar atingida

<sup>3</sup> Ofítico diz-se da textura em que os cristais de feldspato em forma de baguete produzem um entrelaçamento cujos interstícios são preenchidos por um mineral ferromagnésiano posteriormente formado.

pela ação do anidrido carbônico é muito pequena, inferior a 1 cm, alcançando seus valores máximos somente após vários meses. O autor explica a razão desse adensamento progressivo das películas superficiais da argamassa provocado pela transformação do hidróxido em carbonato de cálcio, que impede o acesso do anidrido carbônico ao interior dos espaços intergranulares. Também Guimarães, op. cit., confirma isso, quando a camada de revestimento é única (reboco mais emboço), ao dizer que somente parte de sua espessura (de 7 a 10 milímetros ou pouco mais) é alcançada pelas reações de recarbonatação. O restante da camada se estabiliza pelo aperfeiçoamento da malha ofítica<sup>3</sup> estrutural dos hidróxidos da cal hidratada.

Cincotto et alii, op. cit., descrevem que as argamassas com a adição de cal apresentam características favoráveis de retenção de água pela elevada superfície específica do grão de cal em relação ao de cimento, o que para Guimarães, op. cit., causa a penetração e a obstrução das fendas mais estreitas, além da sua grande capacidade de adsorção de seus cristais (até 100% do seu volume). Além disso, eles absorvem um filme de água ao seu redor – devido à alta tensão superficial (entre o  $Ca(OH)_2$  e a solução saturada no local), o que estreitam mais as passagens e detêm mais as águas circulantes. E que, ainda segundo Guimarães, op. cit., a cal acrescenta melhorias sensíveis às argamassas por ter cristalinos muito pequenos e com capacidade de reter em sua volta uma película líquida de água firmemente aderida. Assim, de acordo com este autor, à capacidade de retenção de água da cal hidratada na argamassa traz algumas vantagens adquiridas, tais como:

- O pequeno teor de álcalis ( $K_2O$  e  $Na_2O$ ) que ocasiona sensível redução da eflorescência, além de outras manifestações patológicas, tais como: reações que provocam expansões e fissurações que são prejudiciais a estrutura das argamassas;
- Permite regular perda de água para elementos construtivos vizinhos com alta porosidade;
- Resistência à compressão compatível com as exigências estruturais comuns exigidas para as alvenarias;
- Melhor interface bloco construtivo/argamassa;
- Melhor trabalhabilidade das argamassas;
- Maior recuperação de sobras de aplicação;

- Melhor absorção dos acomodamentos iniciais das estruturas, em função da maior flexibilidade das ligações;
- Melhor estocagem da água necessária ao desenvolvimento das reações que provocam o aparecimento de constituintes cimentantes;
- Melhorias do meio ambiente obtidas nas argamassas com cal, pela alcalinidade (pH maior que 11,5) transmitida ao meio, tornando-o mais asséptico e menos propenso a proliferação de insetos, muitos deles vetores de doenças;
- O alto ponto de fusão dos óxidos de cálcio (2570 °C) auxilia a “resistência ao fogo de paredes” de argamassas com cal.

Cincotto et alii, op. cit., não escondem a ocorrência de retração por carbonatação dos hidróxidos de cálcio e magnésio existentes nas argamassas mistas de cal e cimento devido à presença da cal, porém, sem efeito físico, permitindo, devido à cal, maior deformação sem fissuração da argamassa de reboco. Eles dizem que, considerando que o traço da argamassa mista de reboco tenha uma boa distribuição granulométrica de seus agregados (pois é a distribuição granulométrica a maior responsável pelo maior ou menor volume de vazios existentes na argamassa, e, conseqüentemente, pelas maiores ou menores retrações nas argamassas), um controle adequado no teor de água e uma cal utilizada bem maturada ou curada para aumentar a sua capacidade de retenção de água e aderência, o aumento no teor de cimento eleva o potencial de retração da argamassa, passando a ser o grande vilão das fissurações nos revestimentos de reboco causados pela retração devido à hidratação do cimento.

Também, segundo o mais recente Manual de Revestimentos de Argamassa da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), em argamassas mistas, de cal e cimento, devido à finura<sup>2</sup> da cal há retenção de água em volta de suas partículas e conseqüentemente maior retenção de água na argamassa. Assim, a cal pode contribuir para uma melhor hidratação do cimento, além de aumentar significativamente a trabalhabilidade e a capacidade de absorver deformações.

Porém, Bauer, op. cit., alerta para que se tenha cuidado na dosagem de traços de argamassas mistas de cal e cimento Portland proporcionados pela utilização da cal, pois a carbonatação do hidróxido de cálcio se realiza com perdas de volume, razão pela qual os revestimentos de reboco contendo este material estão sujeitos a retração com o aparecimento de fissuras. Então,

ele recomenda para reduzir os efeitos dessa retração, o emprego da cal normalmente misturada com agregado miúdo em proporções convenientes.

Então, há divergências entre os autores Bauer, op. cit., e os autores Cincotto et alii, op. cit., quanto ao comportamento da cal em revestimentos argamassados. Entretanto, eles concordam que a melhoria da distribuição granulométrica dos agregados na argamassa pode evitar a retração e a fissuração dos revestimentos de reboco com argamassa mista de cimento e cal.

No entanto, o autor Sabbatini (1981) concorda com Bauer, op. cit., ao mostrar sucintamente na tabela 10 que há muito mais desvantagens do que vantagens na utilização da cal em argamassas mistas de cimento e cal. Assim, contrariando na maioria das vezes os demais autores citados, ele ressalta as conseqüências negativas de perdas de propriedades para a argamassa endurecida, tais como queda na resistência à compressão, na resistência à tração, na capacidade de aderência, na durabilidade, na impermeabilidade e na resistência às altas temperaturas, as quais não compensam proporcionalmente os ganhos com trabalhabilidade e plasticidade da argamassa no seu estado fresco. Então, apesar de Sabbatini dizer que há uma melhoria na elasticidade e trabalhabilidade da argamassa mista com redução da retração no reboco endurecido, a durabilidade deste é comprometida pelas características negativas proporcionadas pelo aumento na utilização da cal.

Tabela 10 - Variação das propriedades com origem na variação da proporção de utilização do aglomerante cal (argamassa de cimento, cal e areia).

<b>PROPRIEDADE</b>	<b>AUMENTO DE CAL NO AGLOMERANTE</b>
Resistência à compressão (E)	Decresce
Resistência à tração (E)	Decresce
Capacidade de aderência (E)	Decresce
Durabilidade (E)	Decresce
Impermeabilidade (E)	Decresce
Resistência a altas temperaturas (E)	Decresce
Resistências iniciais (F)	Decresce
Retração na secagem inicial (F)	Cresce
Retenção de água (F)	Cresce
Plasticidade (F)	Cresce
Trabalhabilidade (F)	Cresce
Resiliência(E)	Cresce
Módulo de elasticidade (E)	Decresce
Retração na secagem reversível (E)	Decresce
Custo	Decresce

Fonte: (SABBATINI, 1981).

Obs.: E= estado endurecido, F= estado fresco

Obs.: Considerar que se manteve constante a proporção volume de aglomerante e agregado e a consistência. Alterando-se para mais o teor da água, pioram-se todas as condições, com exceção da trabalhabilidade (até certo limite de água que, se ultrapassado, conduz a perda de trabalhabilidade).

Quanto aos tipos de cal utilizados em revestimentos de reboco com argamassa mista, no que diz respeito à cal virgem, Guimarães, op. cit., afirma que a matéria-prima, o processo de fabricação e as impurezas têm grande significado sobre a sua qualidade, principalmente quando são ligadas aos óxidos de cálcio e magnésio desde a origem e os elementos, tais como o mercúrio e o boro, não são eliminados pelo calor de calcinação.

Em termos logísticos no processamento dos revestimentos de argamassa mista de cal e cimento no canteiro de obras, o autor Bauer, op. cit., diz que a cal hidratada oferece vantagem sobre a cal virgem, o que é proporcionado pela adição de aditivos pela indústria seriada. Por isso, a cal hidratada transportada, armazenada, manuseada e misturada com maior facilidade dentro do canteiro, podendo até eliminar nele a operação de extinção e, subsequente de envelhecimento. Dessa maneira, há um ganho enorme de espaço no canteiro de obras, com o aumento da velocidade de produção de argamassa mista de cal e cimento, com a redução de movimentações desnecessárias de materiais e mão-de-obra no canteiro e com a possibilidade de produção da argamassa próxima ao local de aplicação do revestimento de reboco.

A reação de extinção da cal virgem ( $CaO$ ) consome um tempo mínimo de uma semana, antes da sua utilização na argamassa, conforme ABNT NBR 7200 (1998). Além disso, esta reação é altamente exotérmica, liberando muito calor (podendo provocar incêndios), com um considerável aumento de volume. Nesse processo se tem de controlar a velocidade de água adicionada à cal viva, o que influencia na velocidade da reação, sendo preciso alternar entre a velocidade de reação mais rápida e mais lenta. Isso porque uma reação mais rápida, apesar de altamente calórica, forma uma maior proporção coloidal de hidróxidos de cálcio e, uma reação mais lenta forma uma proporção maior de cristais de hidróxidos de cálcio, sendo mais desejável que se obtenha maior proporção da fase coloidal, pois, é a que melhora a plasticidade, o rendimento e a capacidade de sustentação de areia, melhorando, portanto, a qualidade da cal hidratada produzida (BAUER, op. cit.). E ainda mais, a escolha do tipo de cal, cálcica ou magnesiana, influencia na velocidade, aumento de volume e violência da reação de extinção da cal virgem, sendo mais lenta a obtida com a cal magnesiana. Porém, a plasticidade das argamassas preparadas com cal hidratada é ordinariamente inferior à das argamassas feitas com pasta de cal resultante da extinção da cal viva -  $CaO$  (obtida pela

reação de calcinação já demonstrada neste item 5.2.3, que consiste no aquecimento de aproximadamente 900°C da pedra natural de calcário -  $\text{CaCO}_3$ ), embora a cal hidratada tipo CH-I contém aditivos incorporadores de ar para melhorar ainda mais a plasticidade da argamassa mista, assim como a sua trabalhabilidade e elasticidade. Mas, ainda assim, o rendimento destas cales hidratadas é menor do que o da cal virgem, assim como a sua capacidade de sustentação de areia, conforme diz Bauer, op. cit.. Segundo este mesmo autor, muitas cales hidratadas, por defeito nos processos de fabricação, apresentam tão baixa proporção de colóide que suas plasticidades são extraordinariamente reduzidas. Então, Bauer, op. cit. constata que há grandes perdas em qualidade ao trocar a utilização da cal virgem pela cal hidratada, considerando que os seus processamentos em canteiro de obras, em termos técnicos, foram corretamente executados.

Apesar dos problemas com qualidade apresentados pelas cales hidratadas, elas vêm sendo muito utilizadas em construções de edifícios no Brasil, ao invés das cales virgens, por proporcionarem potenciais ganhos logísticos no canteiro de obras devido à redução ou até eliminação do tempo necessário para a maturação da cal (também chamada de reação de extinção ou de reação de hidratação da cal). Dessa forma é eliminado o controle no processamento de extinção da cal virgem, que é extremamente complexo e demorado, como já descrito.

No entanto, é preciso ter cuidado quanto à eliminação total da maturação da cal hidratada. Isso porque se deve ter certeza, por meio do fabricante, de que o tipo de cal utilizado contém um percentual zero de óxidos de cálcio e de magnésio não hidratados. Caso contrário, se deve proceder conforme recomenda a norma ABNT NBR 7200 (1998), produzindo a dosagem e mistura prévia de cal hidratada e areia, acrescentando posteriormente água até a obtenção de uma consistência seca e, deixando, seqüencialmente, que esta mistura descanse ou mature durante 16 horas no mínimo.

Também, as cales hidratadas devem atender ao disposto na norma ABNT NBR 7175 (2003) – “Cal hidratada para argamassas – Especificação”, conforme tabelas 11 e 12.

Tabela 11 – Exigências químicas.

Compostos	Limites		
	CH-I	CH-II	CH-III
Anidrido carbônico (CO <sub>2</sub> ) - na fábrica	≤ 5%	≤ 5%	≤ 13%
Anidrido carbônico (CO <sub>2</sub> ) - no depósito ou na obra	≤ 7%	≤ 7%	≤ 15%
Óxidos de cálcio e magnésio não hidratado calculado (CaO + MgO)	≤ 10%	≤ 15%	≤ 15%
Óxidos totais na base de não-voláteis (CaO + MgO)	≥ 90%	≥ 88%	≥ 88%

Fonte: adaptado da ABNT NBR 7175 (2003).

Tabela 12 – Exigências físicas.

Compostos	Limites		
	CH-I	CH-II	CH-III
Finura (% retido acumulado)-peneira 0,600 mm (n <sup>o</sup> 30)	≤ 0,5%	≤ 0,5%	≤ 0,5%
Finura (% retido acumulado)-peneira 0,075 mm (n <sup>o</sup> 200)	≤ 10%	≤ 15%	≤ 15%
Retenção de água	≥ 75%	≥ 75%	≥ 70%
Incorporação de areia	≥ 3%	≥ 2,5%	≥ 2,2%
Estabilidade	Ausência de cavidades ou protuberâncias		
Plasticidade	≥ 110	≥ 110	≥ 110

Fonte: adaptado da ABNT NBR 7175 (2003).

Para a compra, a cal hidratada mais recomendada pela ABNT NBR 7175 (2003) é a do tipo CH-I, pois tem menor quantidade de óxidos de cálcio e magnésio, conforme se pode observar nas tabelas 11 e 12, para reagirem com a água e causar patologias nos revestimentos após executados. Alguns fabricantes já oferecem a cal hidratada CH-I com 0% de óxidos de cálcio e de magnésio, sendo esta a melhor escolha por eliminar a etapa de maturação ou descanso da massa branca (mistura de cal hidratada, mais areia e água) por 16 horas antes de proceder com a mistura do cimento. Isso porque proporciona um maior ganho logístico na produção da argamassa de reboco numa obra de edificação, além de, com isso, se evitar as tão comuns patologias de revestimentos, pois poucas obras no Brasil realizam a maturação da cal hidratada. Esse comportamento muitas das vezes é influenciado por completo

desconhecimento do engenheiro das características do material comprado, aliado ao problema de pressão aos gestores para o atendimento a cronogramas apertados.

Recentemente, os autores Araújo, Oliveira, Carasek (2007) fizeram um estudo para entendimento da influência da maturação da cal hidratada na trabalhabilidade de argamassas. Isso foi feito pela comparação por meio de ensaios de consistência, retenção de água, teor de ar e densidade de massa, além de análises táctil-visuais. Foram efetuadas três determinações para cada ensaio realizado para a caracterização das argamassas no estado fresco. Para isso, foram realizados ensaios com duas amostras de argamassa mista de cimento e cal nos traços, em volume, 1:2:9 e, em massa, 1:0,89:10,98. Essas amostras foram compostas cada uma por uma marca de cal hidratada magnésiana do tipo CH I, e ambas as amostras pelo mesmo tipo de cimento Portland CP V e o mesmo tipo de agregado miúdo de origem natural quartzosa, classificada de acordo com a NBR 7217 (ABNT, 1987). Para determinação da quantidade de água das argamassas, um primeiro traço foi misturado e a água adicionada, até obtenção de uma argamassa trabalhável, adequada para revestimento. Esse teor de água foi mantido para os demais traços, com pequenas variações. As argamassas foram preparadas em betoneira com capacidade para 120 litros e foram adicionados em seqüência os seguintes materiais: areia, cal, cimento e água. A NBR 7200 (ABNT, 1998) orienta que o tempo para processo mecanizado de mistura das argamassas esteja entre 3 e 5 minutos. Entretanto, para o presente trabalho, este tempo de mistura não foi suficiente para homogeneizar a argamassa, sendo então, estabelecido o tempo padrão de mistura de 9 minutos. Já as cales submetidas ao processo de maturação, foram misturadas em betoneira durante 4 minutos com a areia e parte da água. Em seguida, a mistura foi transferida para recipientes metálicos e cobertas por plástico, evitando perdas de umidade por evaporação da água. Após 24 horas, adicionou-se cimento e o complemento da água a essa mistura, produzindo as argamassas com um tempo de mistura de 9 minutos. Este estudo concluiu que a maturação das duas marcas de cales magnésianas CH-I não alterou a trabalhabilidade das argamassas nos ensaios realizados. Contudo, visualmente, as argamassas produzidas com uma dessas marcas de cal apresentaram textura uniforme, lisa, grãos bem homogeneizados e, portanto, melhor trabalhabilidade. Também, apesar de não indicada na embalagem das duas marcas testadas, detectou-se a presença de aditivo incorporador de ar nesses materiais. Esta presença foi identificada nos ensaios de teor de ar e de densidade de massa. Isso melhora a trabalhabilidade, a plasticidade e a elasticidade das argamassas. Assim, a maturação das cales magnésianas aditivadas não é necessária sob o ponto de vista de trabalhabilidade. Tal procedimento produtivo em canteiro

de obras foi até negativo no caso de uma das marcas analisadas, pois a maturação gerou a formação de grumos de difícil homogeneização após as 24 horas de repouso.

Com o não esclarecimento total pelo fabricante de cal, da composição e alterações do produto, gera uma dificuldade na interpretação do comportamento das argamassas mistas de cal e cimento no estado fresco e endurecido. Anteriormente, com as cales não aditivadas, era comum realizar análises comparativas entre argamassas mistas (cimento, cal e areia) e argamassas contendo aditivo incorporador de ar (cimento, areia e aditivo). Na atualidade, estas alterações na cal levam à necessidade de uma análise mais complexa, considerando a ação conjunta dos dois materiais plastificantes, a cal e o aditivo.

Então, ao se optar por um determinado tipo de cal para a composição de um revestimento argamassado de reboco misto de cal e cimento, deve-se fazer uma análise equilibrada da qualidade quanto ao desempenho do material e ao seu desempenho logístico, sem deixar de lado o aspecto custo e rendimento do produto aplicado.

Segundo Souza et alii, op. cit., a cal (fornecida em sacos) deve ser armazenada em pilhas de no máximo 20 sacos, no almoxarifado de ensacados no canteiro. Segundo a ABNT NBR 7175 (2003), o saco de cal hidratada deve ser armazenado sobre estrados, em área coberta e em ambiente seco e arejado. O prazo de estocagem não deve ser superior a seis meses e o estoque deve ser feito de maneira a garantir que os sacos mais velhos sejam utilizados antes dos sacos recém-entregues. Também, os sacos entregues na obra não podem estar furados, rasgados ou estragados, e devem trazer registrados o nome do fabricante, o tipo da cal, a massa líquida do saco, a massa unitária da cal e o selo de conformidade da Associação Brasileira dos Produtores de Cal (ABCP).

Além disso, ao receber o saco de cal hidratada, a ABNT NBR 7175 (2003) recomenda que seja retirada uma amostra, de acordo com a ABNT NBR 6471, para a execução de ensaios de inspeção das exigências químicas e físicas, devendo estes procedimentos seguir a seguinte seqüência:

- a) Retirada e preparação de amostra: ABNT NBR 6471;
- b) Análise química: ABNT NBR 6473;
- c) Finura: ABNT NBR 9289;
- d) Água da pasta de consistência normal: ABNT NBR 14399;
- e) Retenção de água: ABNT NBR 9290;
- f) Estabilidade: ABNT NBR 9205;
- g) Incorporação de areia: ABNT NBR 9207;
- h) Plasticidade: ABNT NBR 9206.

Esses ensaios devem ser realizados em laboratório idôneo, competindo ao comprador avaliar os resultados obtidos, de acordo com as exigências químicas e físicas da NBR 7175 (2003) constantes, seqüencialmente, nas tabelas 11 e 12 apresentadas anteriormente.

#### 5.2.4-Água de amassamento

Braga et alii (2002) cita Hachich (1998) que diz que a água é um mineral de comportamento bem mais complexo do que sua simples composição química,  $H_2O$ . Os dois átomos de hidrogênio, em órbita em torno do átomo de oxigênio, não se encontram em posições diametralmente opostas. Do movimento constante dos átomos resulta um comportamento para a água que poderia ser interpretado como se os dois átomos de hidrogênio estivessem em posições que definiriam um ângulo de  $105^\circ$  com o centro no oxigênio, o que faz com que a molécula de água possua uma tensão superficial elevada. Em conseqüência, a água atua como um bi-polo, orientando-se em relação às cargas externas. Então, para que haja uma redução dessa tensão superficial da água e, conseqüentemente, um aumento da sua molhabilidade, se adiciona a ela aditivos redutores de água. Isso aumenta a capacidade da água em hidratar o cimento em concretos e argamassas, evitando-se, com isso, proporcionando um aumento na resistência à compressão desses elementos compostos por cimento Portland.

A maior característica química da água é a de ser um solvente universal, o que significa que ela é capaz de dissolver um grande número de substâncias orgânicas ou inorgânicas nos estados sólido, líquido e gasoso, segundo Braga et alii, op. cit.

Ainda de acordo com Braga et. Alii, op. cit., a característica física da água é que a sua densidade varia de acordo com a concentração de substâncias dissolvidas, pressão e temperatura, variando de modo marcante de acordo com esta última. Isso porque a água no estado sólido entre  $0^\circ C$  e  $4^\circ C$  é menos densa do que a água no estado líquido, o que faz com que o congelamento flutue sobre a água. Isso provoca um aumento de volume na água em regiões de temperatura frias, podendo causar a fissuração de concretos porosos. Já o pH (medida de acidez ou alcalinidade em uma solução) da água pura a  $25^\circ C$  é igual a 7, e varia entre 0 e 7 em meios ácidos e entre 7 e 14 em meios alcalinos. A água saturada de gás carbônico terá um pH igual a 5,6. Nesta condição proporciona um ambiente propício à corrosão no concreto armado.

Segundo Guimarães, op. cit., a água utilizada nas argamassas não pode conter matéria orgânica e colóides em suspensão, e tampouco “resíduo a 180°” (que reflete sua salinidade), acima dos tolerados pelos índices de potabilidade.

Segundo IBRACON, op. cit., geralmente, as águas potáveis são adequadas para o concreto ou argamassa. Entretanto, pode haver necessidade de uso de águas não tratadas em situações peculiares. Nesses casos, é conveniente respeitar alguns limites de substâncias nocivas totais presentes no concreto, que incluem substâncias trazidas pela água. Talvez seja conveniente respeitar antigos limites impostos pela NBR 6118 (1980) da ABNT, segundo cita IBRACON, op. cit., tais como: para matéria orgânica, 3mg/l (prevenção de retardo na pega e hidratação); resíduo sólido, 5g/l (impurezas em geral); sulfatos, 0,30g/l (reações expansivas); açúcar, 5mg/l (prevenção de retardo na pega e hidratação). Esses limites devem incluir as substâncias trazidas pelos demais constituintes, referidos à quantidade de água presente no concreto ou argamassa. Porém, de acordo com Corrêa (1978), para o amassamento da argamassa se aceita a água potável e a água que respeita aos seguintes índices: pH entre 5,8 e 8,0; Matéria orgânica (expressa em oxigênio consumido): 3mg/l; Sulfatos (expressos em íons  $\text{SO}_4^{2-}$ ): 600mg/l; Cloretos (expressos em íons  $\text{Cl}^-$ ): 1000mg/l; Açúcar: 5mg/l.

De acordo com o Manual de Revestimentos de Argamassa da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), a água, embora seja o recurso diretamente utilizado pelo pedreiro para regular a consistência da mistura, fazendo a sua adição até a obtenção da trabalhabilidade desejada, deve ter o seu teor atendendo ao traço pré-estabelecido, seja para argamassa dosada em obra ou na indústria. Considera-se a água potável como a melhor para elaboração de produtos à base de cimento Portland. Não devem ser utilizadas águas contaminadas ou com excesso de sais solúveis. Em geral, a água que serve para o amassamento da argamassa é a mesma utilizada para o concreto e deve seguir a NBR NM 137.

De acordo com o site da Companhia de Saneamento de Minas Gerais, COPASA, a água potável é aquela que pode ser consumida sem risco para a saúde, tendo de atender a determinados requisitos de natureza física, química e biológica. Os requisitos físicos a serem atendidos para que a água seja considerada potável são: a) Ser inodora (alterações do cheiro podem ser conseqüências da decomposição da matéria orgânica, lixo, esgoto, óleo queimado, carvão, detergentes e desinfetantes); b) Ser incolor quando em pequena quantidade, e azulada, quando em grande quantidade (a água turva pode conter argila, algas, matérias orgânicas – cor verde escura indica excesso de matéria orgânica, restos industriais – cor leitosa, esbranquiçada, ou muito escura, cinzenta); c) Ter sabor indefinível, mas que permite

distingui-la de qualquer outro líquido; d) Ser fresca, sensação que depende da temperatura ambiente. Já os requisitos químicos a serem atendidos para que a água seja considerada potável, são: a) Ser arejada (conter certa quantidade de oxigênio); b) Conter em pequena quantidade sais minerais, como cálcio e magnésio; c) Não conter nenhum sal tóxico. Quanto aos requisitos biológicos, a água não pode conter organismos patogênicos (causadores de doenças). A presença de elementos estranhos e tóxicos, como o arsênio, o chumbo, o cádmio e o mercúrio (metais pesados) torna a água imprópria para o consumo humano.

Quando em excesso, segundo Mehta e Monteiro, *op. cit.*, as impurezas na água de amassamento do concreto podem afetar não somente a resistência, mas também o tempo de pega, a ocorrência de eflorescência (depósito de sais sobre a superfície do concreto) e a corrosão da armadura passiva ou protendida. Mas isso raramente é uma preocupação, pois, em geral, a qualidade da água de amassamento que é fornecida por uma concessionária local, por serem potáveis, já atendem as especificações para a execução das misturas de concreto. A água potável distribuída por uma concessionária raramente contém sólidos dissolvidos excedendo a 1000ppm.

Porém, ainda segundo Mehta e Monteiro, *op. cit.*, a água imprópria para beber não é necessariamente imprópria para o amassamento do concreto. Do ponto de vista da resistência do concreto, a água ácida, alcalina, salgada, salobra, colorida ou com mau cheiro não deve ser rejeitada imediatamente. Isso é importante, porque as águas recicladas da mineração e várias outras operações industriais podem ser usadas seguramente como água de amassamento para o concreto. O melhor método para determinar a aptidão de uma água de desempenho desconhecido para o preparo do concreto é comparar o tempo de pega do cimento e a resistência de corpos-de-prova de argamassa feitos com água desconhecida e uma água limpa de referência. Nessa comparação, a qualidade da água de amassamento não pode afetar o tempo de pega do cimento a um nível inaceitável.

Ainda segundo Mehta e Monteiro, *op. cit.*, a água do mar, que contém aproximadamente 35.000 ppm de sais dissolvidos, não é prejudicial à resistência de concretos e argamassas. No entanto, no concreto armado ou protendido aumenta o risco de corrosão da armadura; portanto, o uso da água do mar como água de amassamento deve ser evitado nessas condições. Como orientação geral, do ponto de vista da resistência do concreto a presença de quantidades excessivas de algas, óleo, sal ou açúcar na água de amassamento deve ser vista como um sinal de advertência

Como descrevem Carasek et alii, op. cit., “a água é um ingrediente essencial na argamassa uma vez que ela possui duas funções primordiais: (a) como um líquido possibilita que a mistura seja trabalhável e; (b) combina-se quimicamente com os aglomerantes proporcionando o endurecimento e a resistência da argamassa.”

Ainda segundo Carasek et alii, op. cit., para se obter melhores resultados de aderência, o conteúdo de água das argamassas deve ser o máximo possível compatível com a trabalhabilidade, garantindo a coesão e a adequada plasticidade da argamassa. Assim, manter uma relação água/cimento (a/c) baixa, aspecto tão importante no aumento da resistência à compressão do concreto, perde a importância quando se deseja obter uma adequada resistência de aderência de revestimentos. Por analogia ao concreto, essas argamassas devem ser relacionadas com os concretos preparados com agregado leve, nos quais, mais importante do que o fator a/c é o teor de cimento da mistura, uma vez que o agregado poroso retira parte da água disponível, fazendo com que a relação a/c real seja mais baixa do que a inicialmente existente (NEVILLE, op. cit.). No caso das argamassas de revestimento, raciocínio semelhante é válido, pois a argamassa no estado fresco com alta relação a/c (geralmente na faixa de 0,7 a 2,8), ao entrar em contato com a base (geralmente alvenaria de blocos cerâmicos ou de concreto) perde rapidamente parte da água por sucção do substrato.

É importante lembrar, que segundo os autores Mehta e Monteiro, op. cit., a retração hidráulica observada em pastas de cimento está associada à água contida nos poros capilares e a água associada aos vazios existentes entre os géis de C-S-H (entre 30Å e 100Å). Já a água não evaporável, referente à água combinada quimicamente e à contida nos poros da estrutura do C-S-H (entre 5Å e 30Å), não influencia nessa retração.

### 5.2.5-Aditivos

A moderna indústria química de aditivos para concreto e argamassa prepara numerosos produtos que permitem obter materiais com maiores durabilidades e rendimentos. Esses produtos permitem que as características ou propriedades do concreto ou da argamassa sejam modificadas para atender às necessidades exigidas pelos clientes ou construtoras.

Segundo IBRACON, op. cit., a norma europeia EM 934 (2001 parte 2), os aditivos para concreto são definidos como “materiais adicionados ao concreto durante o processo de mistura em uma quantidade não superior aos 5% sobre a massa do cimento contido no

concreto, para modificar as propriedades da mistura no estado fresco e/ou no estado endurecido”

Segundo a norma brasileira “Aditivos para concreto de cimento Portland”, NBR 11768 (EB-1763/92), conforme cita IBRACON, op. cit., define os aditivos como “produtos que adicionados em pequena quantidade a concretos de cimento Portland modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições”.

Segundo as normas norte americanas citadas pelos autores de IBRACON, op. Cit., “Standard Terminology Relating to Concrete Aggregates “(ASTM C 125), os aditivos são materiais, além da água, agregados, cimentos hidráulicos e fibras, empregados como um constituinte do concreto ou argamassa e adicionado na betoneira imediatamente antes ou durante a mistura.

Os aditivos são substâncias ou produtos que podem atuar sobre uma e/ou várias propriedades dos concretos e argamassas. Por isso, o seu uso consciente e correto é necessário para que atinja ao fim desejado. Dessa forma, os autores de IBRACON, op. cit., dizem que o aditivo tem uma função principal de produzir uma determinada modificação nas características do concreto ou da argamassa. Concomitantemente assume uma função secundária de alterar alguma ou algumas das características dos mesmos materiais. Por essas razões, antes das suas aplicações nas obras, é necessário realizar testes prévios com os materiais aditivados, segundo EB1401 (1992) e, se possível, com as mesmas condições de uso (IBRACON, op. cit.). Além disso, segundo IBRACON, op. cit., é preciso considerar que a dosagem dos aditivos, junto às condições de emprego e à natureza dos cimentos e agregados, influenciam a ação de um determinado aditivo.

Os autores Mehta e Monteiro, op. cit., e IBRACON, op. cit., listam algumas das finalidades mais importantes para as quais os aditivos são empregados, citando algumas das suas funções mais importantes, tais como:

- Aumentar a plasticidade ou trabalhabilidade do concreto ou argamassa sem aumentar o teor de água, reduzir a exsudação e a segregação, aumentando com isso a durabilidade dos materiais;
- Retardar ou acelerar o tempo de pega, o que deve ser calculado de acordo com a programação estabelecida na obra;
- Acelerar a velocidade de desenvolvimento da resistência nas primeiras idades, o que pode favorecer a programação e a aceleração na execução de etapas da obra;

- Retardar a taxa de evolução de calor, o que é muito importante na utilização para o preenchimento de peças em concreto com grandes volumes;
- Aumentar a durabilidade em condições específicas de exposição.

As adições de aditivos plastificantes ao concreto têm as seguintes funções:

- Aumentar a tensão de ruptura do concreto à compressão aos 28 dias, quando comparado a outro sem esse aditivo e com o mesmo consumo de aglomerante ou com a mesma relação agregado/aglomerante;
- Aumentar o grau de trabalhabilidade do concreto para uma mesma dosagem de água e cimento;
- Permitir a redução da água de amassamento, quando se pretende manter a trabalhabilidade igual à do concreto sem esse aditivo, e por isso obter também um concreto mais impermeável e mais durável;

Esses mecanismos de ações proporcionados pelos aditivos ocorrem, segundo notas de aula de Gomes (2005), das seguintes formas:

a) Quando se mistura cimento e inertes com água, as suas partículas não ficam todas dispersas nesse líquido, formando-se associações de grãos com diversas dimensões, que aderem entre si graças à ação dos meniscos de água provocados pelo ar incluído entre os grãos, o que confere a essas associações uma boa coesão capilar. Porém, quando se adiciona um agente plastificante à água ocorre o fenômeno da “plastificação”, que é um mecanismo da redução de água de amassamento. O plastificante é um aditivo formado por partículas tenso-ativas que compreendem umas partes hidrófilas, cujo efeito é baixar a tensão superficial da água na intersuperfície em que está adsorvida, e outra parte hidrófoba. Quando as partículas de cimento entram em contato com a água na qual se dissolveu ou dispersou um plastificante, elas são mais bem molhadas pelo líquido devido à adsorção da parte hidrófoba da molécula do dispersante pela superfície dos grãos, e a extremidade hidrófila da molécula fica mergulhada e ionizada na água, conferindo a partícula de cimento uma carga elétrica de certo sinal. Essas partes hidrófobas das moléculas do aditivo tenso-ativo ficam orientadas à superfície do grão com a parte hidrófoba rigidamente ligada à superfície do grão do inerte e do cimento, e a extremidade hidrófila da molécula que fica bem mergulhada na água formando uma camada fixa; sobre essa camada forma-se outra de sinal oposto ao dela, composta por íons liberados pela molécula do aditivo tenso-ativo. À medida que se afastam da partícula, as forças de atração da primeira camada vão reduzindo de intensidade, e essa segunda camada fica

constituída por uma atmosfera iônica cuja concentração vai diminuindo à medida que se distancia da partícula. Dessa forma, as partículas de cimento adquirem um potencial elétrico negativo ou positivo, conforme a substância adsorvida, criando-se uma repulsão eletrostática entre elas, o que as tornam dispersas no meio líquido, expulsando todo o ar entre si e não floculando. Assim, reduz-se a água de amassamento e mantém-se a mesma trabalhabilidade do concreto sem esse aditivo. Esse potencial orienta por sua vez os dipolos que constituem as moléculas de água à roda das partículas, formando-se, portanto, uma camada de moléculas de água aderente a essas partículas, que impede a aproximação entre elas. Uma das conseqüências desse mecanismo é que a água que separava os grãos de cimento, diferente de quando não havia o dispersante, fica agora livre entre as partículas dispersas. E também, devido à camada das moléculas de água orientadas à roda das partículas, o atrito entre estas é muito reduzido, não sendo então necessária para a redução do atrito a existência de camadas muito espessas de água, o que permite aproximá-las umas das outras sem que aumente o atrito. Por isso, esses aditivos são chamados também de agentes redutores de água, expondo uma maior área superficial de cimento à hidratação, a qual progride com uma velocidade mais elevada, obtendo assim uma distribuição mais uniforme de cimento pelo concreto. Por essa razão, há um aumento da tensão de ruptura à compressão do concreto, comparada a outro com a mesma relação A/C, mas sem esse tipo de aditivo;

b) Os aditivos superplastificantes tornam o concreto num líquido de baixa viscosidade, se tornando auto-nivelante e auto-adensaste, o que dispensa a vibração do concreto. Isso favorece em muito na aplicação de concretos com armaduras de alta densidade, nos quais fica quase impossível praticar a vibração e adensamento. A sua função básica é reduzir a água de amassamento de um concreto permitindo que chegue a valores elevadíssimos de redução da relação água-cimento, quando comparado a um concreto sem esse aditivo, tornando-o fluido ao mesmo tempo, sem assim influenciar nas reações de hidratação do cimento, diferente de como acontece com os plastificantes que podem até comprometer o endurecimento do concreto;

c) O concreto endurecido contém vazios provenientes do ar naturalmente introduzido durante o processo de amassamento, e que não foi possível expulsar durante a sua vibração e compactação, e da evaporação de parte da água de amassamento. Esses vazios têm formas mais ou menos irregulares que vão desde canais capilares até cavidades com alguns milímetros. Quando se utiliza o aditivo introdutor de ar, esses vazios se transformam em bolhas esféricas com praticamente as mesmas dimensões, as quais ligam os capilares entre si e se dispersam bem pelo concreto. O mecanismo de introdução de ar ocorre com as partículas

de ar aprisionado entre os finos grãos de cimento ou de areia floclados, os quais são arrastados para o interior do meio aquoso do concreto. Adicionando um agente introdutor de ar, que é um tenso-ativo, na água de amassamento, as suas moléculas se orientam na intersuperfície ar-água, localizada entre os finos grãos floclados, onde mantém a sua parte hidrófila, que é solúvel em água, dissolvida na água. A outra extremidade dessa molécula, que é a parte hidrófoba constituída por uma longa cadeia de carbono, diferente das moléculas dos aditivos plastificantes, fica voltada para o lado do ar, favorecendo assim a formação de bolhas de ar estáveis entre os grãos de areia e de cimento. A extremidade hidrófila ioniza-se na água, conferindo às bolhas de ar uma carga de certo sinal causador de repulsão elétrica entre elas e de dispersão delas pela pasta de cimento. Devido à tensão resultante da energia superficial da película que limita a bolha, esta se torna esférica.

A introdução de ar pode ser necessária nos seguintes casos:

- Para aumentar a resistência ao congelamento e descongelamento;
- Para tornar os concretos secos e pobres mais trabalháveis;
- Quando for necessário tornar o concreto mais impermeável, reduzindo a sua capilaridade e impedindo a sucção de água pela rede capilar.

Porém, de acordo com Mehta e Monteiro, op. cit., o monitoramento da quantidade de ar que se introduz no concreto é necessário para não acontecer uma forte queda na sua tensão de ruptura à compressão e à flexão devido à diminuição da sua compacidade. Ainda de acordo com esses autores, o monitoramento torna-se ainda mais essencial devido à variação do ar introduzido influenciada pelos seguintes fatores inerentes ao concreto, como por exemplo, a temperatura dele, as variações acidentais na sua granulometria (em especial dos elementos finos), e por outros fatores estranhos.

O teor de ar, dimensão e distribuição dos vazios no concreto provocado pelos aditivos introdutores de ar são influenciados por vários fatores, tais como: natureza do aditivo; natureza do cimento e do inerte; granulometria do inerte; formato do inerte; finura do cimento; proporções de cimentos e inertes; temperatura; tipo de betoneira; duração do amassamento; processo de compactação no lançamento do concreto ou aplicação da argamassa e o grau de compacidade atingido;

d) Ao produzir um concreto sem aditivos aceleradores ou retardadores de pega, a velocidade com que ocorre a pega no concreto, ou com que o constituinte cimento reage com o solvente água, depende da composição química de cada cimento, além de sua superfície específica e

das diferentes impurezas presentes nesse sistema cimento Portland-água. As reações iniciais desses compostos do cimento com a água ocorrem primeiramente por dissolução-precipitação, isto é, esses compostos primeiro se ionizam para depois formarem outros compostos hidratados nessa solução de água. Devido à solubilidade limitada, esses produtos hidratados cristalizam-se. Os fenômenos de enrijecimento de pastas de concreto são decorrentes dessa cristalização, a qual ocorre de maneira progressiva. Com a adição de certas substâncias químicas atuantes como aditivos aceleradores ou retardadores de pega a esse sistema, pode-se influenciar na velocidade de ionização dos compostos do cimento ou na velocidade de cristalização dos produtos da hidratação do cimento, afetando as características de pega e endurecimento destas pastas. Porém, o mecanismo de ação desses aditivos pode ser atribuído mais à ação sobre a dissolução dos constituintes anidros, do que sobre a essa cristalização. Os retardadores são usados especialmente para combaterem os efeitos da aceleração da pega devido, por exemplo, a temperaturas elevadas, a demoras no transporte e para proporcionar uma concretagem contínua de elementos estruturais em que, por razões estruturais, arquitetônicas, ou outras, não se deva fazer juntas de trabalho. Já os aceleradores são usados em trabalhos de urgência, como estancar fugas de águas e obturar veios de água em trabalhos subterrâneos de galerias, túneis, etc. E também nas concretagens realizadas em tempo frio, com o fim de obter rapidamente a passagem ao estado sólido, antes que a água congele.

A velocidade com que se faz à pega depende da solubilidade dos componentes anidros do cimento, que varia de acordo com a concentração e natureza dos íons presentes na água de amassamento. Certos tipos de íons diminuem ou impedem a solubilidade dos aluminatos, retardando a pega. Outros precipitam íons de cálcio, impedindo a hidratação dos aluminatos, sendo então retardadores de pega. Mas os que originam hidróxidos mais solúveis do que os de cálcio aceleram a pega. Muitos sais em pequenas doses atrasam a pega, mas em elevadas doses aceleram-na. Então, esses aditivos aumentam ou diminuem a velocidade de endurecimento de uma pasta constituída por certo tipo de cimento, dependendo da concentração e natureza desses íons presentes no solvente desse sistema.

Já as substâncias minerais ou orgânicas sempre retardam a pega da pasta de cimento, mesmo em doses bem pequenas. O mecanismo de ação dessas parece ser devido a sua absorção pelas partículas de cimento, ou a forma dos precipitados na superfície das partículas de cimento, que resultam camadas suficientemente impermeáveis para dificultarem muito o contato com água;

Segundo Mehta e Monteiro, *op. cit.*, a escolha do tipo de aditivo a utilizar deve ser sempre feita sem se esquecer de que a aceleração ou retardamento da pega do concreto é influenciado

por muitos fatores, como por exemplo, os efeitos dos retardadores variam muito em função do tipo de cimento utilizado, da relação água-cimento e especialmente da temperatura do concreto e do ambiente. Porém, tem-se de estar alerta da alteração feita por ambos os aditivos nas propriedades do produto final (o concreto). Isso porque a resistência mecânica do concreto endurecido pode ser tanto mais alta quanto mais lenta for a sua pega. E tanto mais baixa quanto mais acelerada for a sua pega. Ainda segundo Mehta e Monteiro, no primeiro caso, os cristais formados podem ser mais perfeitos do que no segundo caso, pois têm mais tempo para desenvolverem-se e ocupar um lugar disponível dentro do concreto, atingindo maior perfeição. Já no segundo caso, os cristais formados não se desenvolvem regularmente e o crescimento cristalino é significativamente mais desordenado.

Então, pode-se dizer que aditivos aceleradores e retardadores de pega são quaisquer substâncias químicas solúveis em água e utilizadas para atuarem quimicamente acelerando ou retardando a velocidade das reações químicas do sistema cimento Portland-água. Mas, tem-se de tomar cuidado buscando evitar as possíveis alterações malélicas nas propriedades do concreto endurecido;

e) Os aditivos hidrofugantes, os quais são aditivos impermeabilizantes, se dividem em dois tipos: os hidrófugos de massa, que são aditivos que são misturados à massa de concreto, e os hidrófugos de superfície, que se referem aos revestimentos feitos na superfície do concreto.

Os hidrófugos de massa podem ser formados por substâncias químicas de natureza mineral ou orgânica, ou por substâncias coloidais. Os com base em substâncias minerais atuam por precipitação de sais insolúveis nos poros capilares do concreto. Os com base em substâncias orgânicas agem da seguinte forma: As moléculas destas substâncias, altamente hidrófobas, são adsorvidas nas paredes dos capilares pela extremidade polar, hidrófila, ficando com a parte hidrófoba virada para fora; cria-se assim uma hidrofugação dos capilares que somente é eficaz depois de se ter dado a saída, por evaporação, da água que os enche. Então, a nova molhagem do capilar é extremamente dificultada, devido essa hidrofugação formada. As constituintes substâncias coloidais se expandem por ação da água tampando os poros;

f) Os expansores ou expansivos são aditivos utilizados que são misturados à massa do concreto, da argamassa ou de caldas de cimento, para compensarem o assentamento dos seus componentes mais pesados, a conseqüente exsudação da água de amassamento (devido ao excesso de água que é necessário para ter maior trabalhabilidade e ser injetável) e o excesso de vazios e cavidades formados pelo excesso de água de amassamento. Esses aditivos podem melhorar a estabilidade da pasta de cimento, a sua homogeneidade e provocar ao mesmo

tempo uma ligeira expansão dela, contrariando assim os efeitos da exsudação da água de amassamento e o assentamento das partículas finais do inerte e do cimento;

g) Os pigmentadores são aditivos misturados à massa do concreto para conferir-lhe certa cor, sendo encontrados na forma de pós, muito finos, de uma substância inerte para o concreto. Sua adição não deve ultrapassar os 10% do peso do cimento, a não ser que um ensaio prévio demonstre que a pega e o endurecimento não são prejudicados;

h) Os fungicidas, germicidas e inseticidas são aditivos misturados à massa do concreto ou argamassa para impedir o crescimento de fungos, algas, líquens, entre outros, após os seus endurecimentos. Não podem ser utilizados em proporções elevadas pelo fato de serem da mesma forma e na mesma proporção tóxicos para o homem, sendo então ineficazes;

i) Os inibidores de corrosão são aditivos misturados à massa de concreto para inibir a corrosão das armaduras de aço ocasionada pelo íon cloro. Para isso, também podem ser aplicados sobre as armaduras pinturas de calda de cimento com benzoato de sódio ou 2% de nitrito de sódio. O mais importante fator inibidor de corrosão é que não haja no aço da armadura a presença de cloretos. Um forte fator que pode piorar a situação de corrosão é quando existem partículas de ferrugem no aço da armação, impedindo que o inibidor atinja o metal que está por baixo, e estabelece uma combinação de pequenos anodos e grandes catodos. Outro problema que surge é a dificuldade de se evitar a corrosão de armaduras do concreto exposto à água ou solos salinos, que contém cloretos que podem atingir o aço tanto por difusão, através do concreto, como por entrada através das fendas (principalmente porque conter fissuras é uma característica inerente a natureza do concreto);

j) Os aditivos endurecedores de superfície podem ser misturados à massa do concreto durante o amassamento, ou impregnados à superfície do concreto endurecido. No primeiro caso são formados por polímeros orgânicos ou resinas sintéticas, que quando adicionados ao concreto melhoram algumas de suas propriedades mecânicas como aumento da resistência à flexão, aumento do módulo de elasticidade, aumento da resistência ao desgaste, diminuição da deformabilidade e melhoria de sua fragilidade. Em contrapartida, aumentam-se as contrações nos interiores dos concretos e a expansão dentro da água. Já no segundo caso, impregnam-se os concretos já endurecidos, que é um material poroso, pela sua superfície com qualquer substância líquida fundida (que de preferência deve ter baixo ponto de fusão e baixa viscosidade) aumentando as características mecânicas do concreto endurecido. Aumenta-se, por exemplo, a durabilidade do concreto, como a sua tensão de ruptura à compressão, assim como o seu módulo de elasticidade em relação ao concreto tradicional, e torna a fluência quase nula. Também se aumenta a aderência ao aço, além de tornar a absorção de água

desprezível, o que dá ao concreto uma resistência praticamente total ao congelamento e descongelamento;

Atualmente, para a argamassa industrializada basta que se adicione água para que a sua aplicação possa ser realizada na obra, pois, o aditivo já vem incorporado ao produto para atender às solicitações dos clientes e as especificidades da obra. Isso evita erros no proporcionamento junto às argamassas no canteiro de obras, colaborando para que haja um aumento no seu desempenho em termos de qualidade dos materiais, de ganhos logísticos e produtivos no seu processamento. Assim, os aditivos podem ser considerados fortes aliados às atividades logísticas no processamento de mistura e aplicação de argamassas, assim como no processamento de mistura e lançamento de concretos no canteiro de obras.

### 5.2.6-Adições

As adições são materiais finamente divididos, com capacidade de conferir algumas propriedades à argamassa. Esses materiais são dosados às argamassas em quantidades maiores do que a dos aditivos, os quais são sempre dosados em pequena proporção ao traço. Na maioria das vezes, não possuem poder aglomerante, atuando como agregados, e, de modo geral, possuem poder aglutinante (promovem a liga).

As adições mais comuns presentes nas argamassas são as pozolanas (materiais provenientes de rochas vulcânicas, resíduos de termoelétricas e outros que apresentem atividade pozolânica), o pó calcário, também conhecido como filler (material finamente dividido constituído essencialmente de calcário ou dolomitos) e os pigmentos (apenas conferem à argamassa coloração, não interferem em resistência mecânica e se diferenciam entre si pelos tipos: orgânicos e inorgânicos).

De acordo com Carvalho Júnior, *op. cit.*, outras adições que merecem hoje a atenção e estudos de pesquisadores da área de argamassas são os rejeitos industriais e as fibras poliméricas. Este autor diz também que são analisados os desempenhos de argamassas com adições de rejeitos industriais, como no caso da sílica ativa (sílica no estado amorfo obtida como subproduto da fabricação de ferro-silício ou silício metálico) e da escória de alto-forno granulada finamente moída, além das fibras poliméricas. Este autor cita o que dizem os autores Aguilar et alii (2002), os quais concluíram que as fibras poliméricas são de grande efetividade quando se deseja diminuir o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas (situação desejável no sentido da redução da fissuração por secagem dos revestimentos). Porém, caso este seja o

objetivo, não se deve proceder ao uso conjunto de fibras e sílica ativa, pois os efeitos destas duas adições no módulo de elasticidade parecem se cancelarem (a indicação conjunta de fibras e sílica ativa seria recomendada quando o objetivo fosse o aumento da resistência mecânica). O uso da sílica ativa foi capaz de diminuir a permeabilidade da mistura. Os efeitos da adição de sílica ativa juntamente com escória finamente moída indicaram que a escória contribuiu pouco no desempenho, culminando com a sugestão dos autores para uma avaliação do efeito da escória como única adição mineral para que se possa ter uma visão mais clara de sua atuação.

Contudo, há que se tomar cuidado com alguns tipos de adições, tais como os filitos, que são minerais obtidos de rochas constituídas por quartzo, caulinita e micas, que são finamente moídas ou geralmente friáveis, com baixo resíduo em peneira de 0,075 mm de abertura. Outro que pode reduzir a qualidade da argamassa são solos finos provenientes de rochas sedimentares minerais já decompostas, que não guardam o aspecto da rocha matriz, sendo em geral argilosos e de granulometria variada. Eles são adicionados as argamassas para torná-las mais trabalháveis, porém, podem incorporar ao produto outras propriedades totalmente indesejáveis, reduzindo a durabilidade dos revestimentos de reboco.

## **CAPÍTULO 6 - COMPARATIVO LOGÍSTICO ENTRE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO DE REBOCO PRODUZIDA NO CANTEIRO DE OBRA E A INDUSTRIALIZADA EM SACOS – ESTUDO DE CASO**

Os tipos de materiais escolhidos para a elaboração das argamassas influenciam em suas características finais e de aplicação e nos seus processamentos no canteiro de obras. Dessa forma, os materiais traçados para serem utilizados nas argamassas interferem também na logística de canteiro, tendo esses de serem estudados neste aspecto, além da análise de seus comportamentos físicos, e assim avaliados quanto aos seus desempenhos logísticos antes que se tomem a decisão de quais materiais serão especificados para serem utilizados nos projetos construtivos (executivos).

### **6.1 Objetivo**

O objetivo deste estudo foi comparar os desempenhos logísticos, de rendimento e custo, qualitativamente e quantitativamente as etapas dos processos de preparo e aplicação das argamassas de revestimento de reboco utilizadas internamente em obras de edificações. Também foi avaliado o desempenho dos materiais em termos de qualidade do revestimento executado, por meio de ensaios de arrancamento “in loco”, após 28 dias de cura.

### **6.2 Metodologia**

Foi realizada a comparação da logística de preparo e aplicação entre a argamassa virada na obra “A”, de um residencial de apartamentos de alto luxo executado pela construtora “1”, entre a argamassa industrializada utilizada na obra “B”, de um apart-hotel executado por uma construtora “2”, e entre a argamassa rodada na obra “C”, de um residencial de apartamentos padrão médio executado pela construtora “3”, sendo todas obras situadas em Belo Horizonte – MG. Durante um mês de visita às obras, foram analisados, por meio de observação, como os

processos de preparo dessas argamassas ocorriam na prática, desde o recebimento dos insumos até a sua aplicação. Essa avaliação ocorria segundo as diretrizes básicas consagradas da logística, considerando sempre a experiência técnica e a criatividade profissional. O rendimento da argamassa aplicada foi avaliado por meio de ensaios laboratoriais, seguido de pesquisa mercadológica dos preços dos insumos utilizados e apurada a produtividade da mão-de-obra no canteiro, para então definir o custo do produto argamassa de reboco para paredes internas aplicado e acabado. Também foi realizada uma avaliação do desempenho qualitativo dos materiais utilizados no revestimento de reboco pronto, para as diversas obras pesquisadas, por meio de ensaios de arrancamento após 28 dias de aplicação e cura da argamassa. Tanto o preparo das amostras quanto a execução dos arrancamentos dos corpos-de-prova foram realizados de acordo com as normas referentes ao assunto.

### **6.3 - Compreensões dos processos**

As figuras 7 e 8 mostram os fluxogramas simplificados dos processos, envolvendo o preparo das argamassas rodadas no canteiro, estudadas para serem utilizadas pela obra “A”. O da figura 7, que foi o escolhido pela construtora “1”, é obtido pela mistura do saco de 20 Kg de pré-misturado composto de aglomerantes, cal hidratada CH-I aditivada e cimento CP II-E 32, mais o proporcionamento em obra de areia industrial (gnaisse) fina e média, com a adição de água variando de acordo com o teor de umidade da areia. A figura 8 mostra o processo da argamassa com o proporcionamento e mistura dos aglomerantes feitos na obra “C” por uma construtora “3”, de cal hidratada CH-I (informado pelo fabricante conter 0% de óxidos não hidratados, o que dispensa a necessidade da etapa de maturação da cal) e cimento CP III 40.

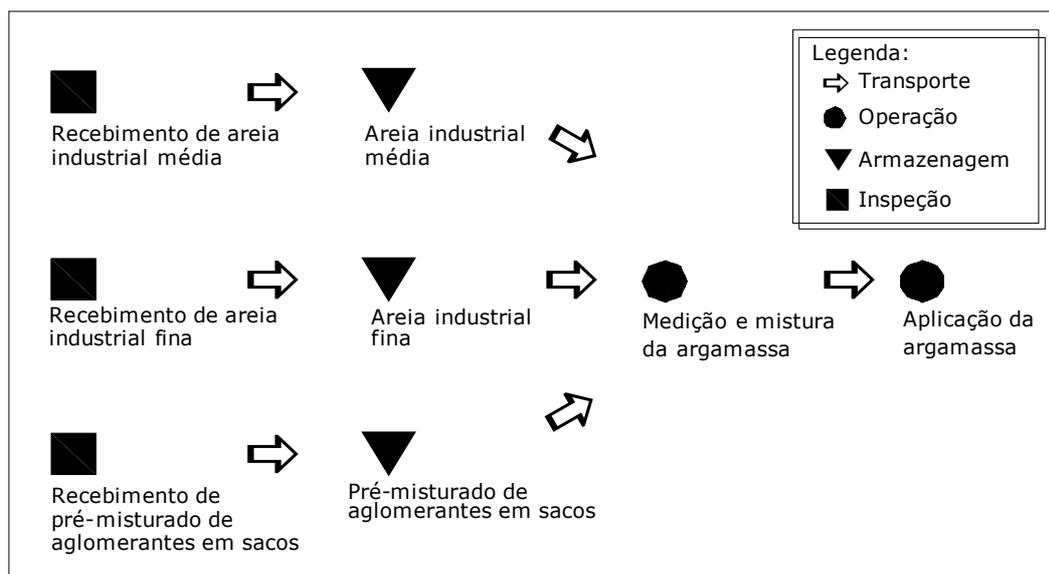


Figura 7 - Fluxograma dos processos para argamassa mista rodada na obra “A”.

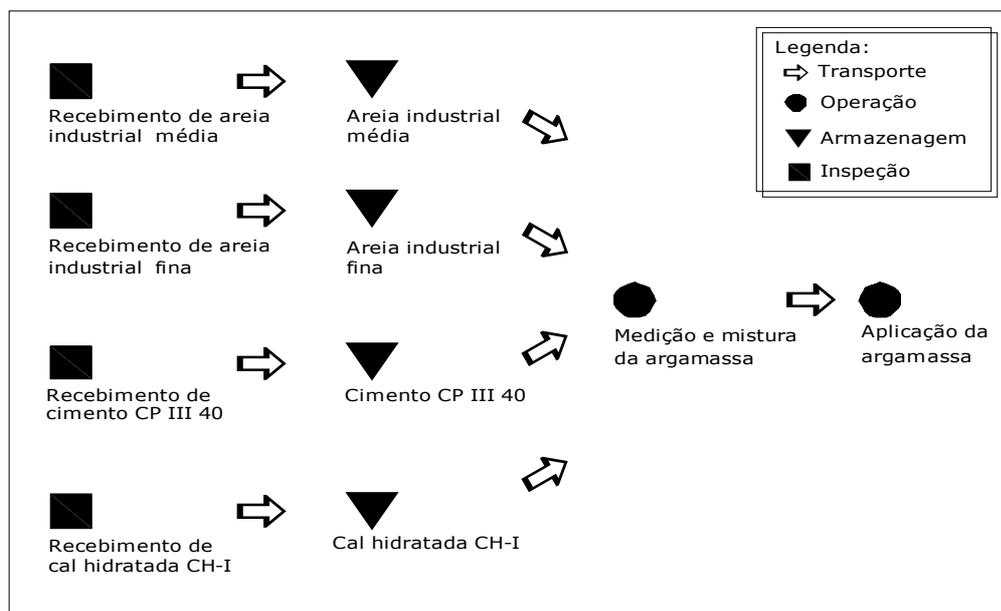


Figura 8 - Fluxograma dos processos para argamassa mista rodada na obra “C”.

A figura 9 mostra o fluxograma simplificado dos processos, envolvendo o preparo da argamassa industrializada escolhida pela obra “B”. Os materiais componentes da argamassa industrializada para revestimento interno de paredes, segundo informações do fabricante, são

aglomerante cimento Portland CP II ou CPV, mais areia industrial calcária, mais aditivo incorporador de ar, mais aditivo retentor de água. Observe que o fabricante não revelou exatamente o tipo de cimento utilizado, nem a sua classe de resistência à compressão, que pode ser de 25, 32 ou 40 MPa, nem o material exato dos aditivos aplicados e o traço utilizado. Porém, a grande vantagem deste processo é que basta adicionar o volume correto de água e aplicar a mistura dentro do prazo estabelecido pelo fabricante.

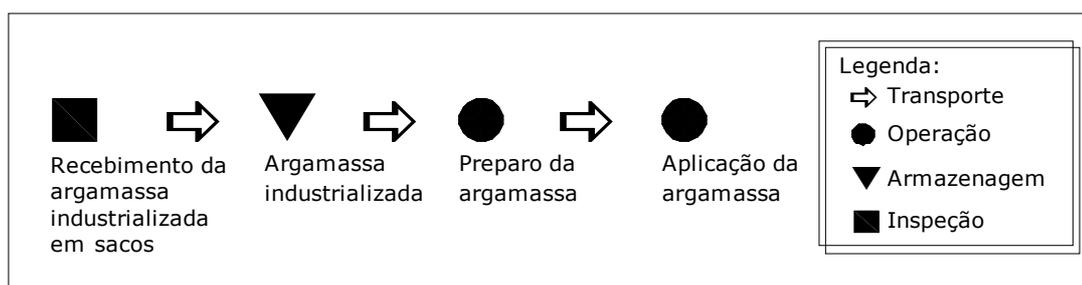


Figura 9 – Fluxograma dos processos para argamassa industrializada em sacos da obra “B” (REGATTIERI e SILVA, 2006).

Comparando-se as figuras 7, 8 e 9, pode-se notar que as argamassas rodadas nos canteiros das obras “A” e “C” apresentam um maior número de controles a serem feitos na sua produção, recebimento, transporte e estocagem de seus materiais. Isso se deve ao fato da mesma ser constituída de um maior número de componentes a serem misturados do que a argamassa industrializada ensacada.

A vantagem da utilização do aglomerante cal hidratada CH-I com o percentual zero de óxidos de cálcio e magnésio, ao invés dos outros tipos de cales hidratadas, na obra “C” foi que no preparo da argamassa mista de cal e cimento não foi preciso proceder primeiramente à mistura de cal, areia e água, formando o traço bipartido de massa branca, também denominada de argamassa intermediária, conforme se pode observar na figura 10. Caso a prática disso fosse necessária pelo tipo de cal hidratada escolhida, se teria de aguardar no mínimo 16 horas de descanso da massa branca para uma perfeita maturação da cal (reação de extinção ou hidratação da cal), antes que pudesse ser adicionado cimento à mistura, de acordo com a exigência da ABNT NBR 7200 (1998), o que na prática do canteiro não ocorre, conforme a experiência em obras deste autor. Assim, os procedimentos para a produção de argamassas com todos os tipos de cal hidratada, exceto essa com 0% de óxidos não hidratados, devem seguir esta normalização, conforme apresentado na figura 10. Isso porque existem nestes outros tipos de cales hidratadas percentuais de óxidos de cálcio e magnésio ainda não

hidratados. Assim, se não proceder com a maturação dessas cales hidratadas, como indicado em norma, poder-se-á ocorrer problemas patológicos no revestimento de reboco, conforme exposto no item 5.2.3, no qual se observa que a reação de extinção ou hidratação da cal, quando a água combina com a cal viva (CaO), a qual não está hidratada, há uma liberação de calor (reação exotérmica), acompanhada por um aumento de volume considerável da argamassa de reboco aplicada, a qual contém este material não maturado antes de sua aplicação no revestimento. Esse aumento de volume, de acordo com Cincotto, op. cit., gera problemas patológicos nos revestimentos de reboco argamassados, tais como descolamento com empolamento, fissuras horizontais, empolamento da pintura formando vesículas. No entanto, a cal hidratada CH-I é a mais recomendada, mesmo as que não contêm 0% de óxidos de cálcio e de magnésio, pois os percentuais desses constituintes exigidos pela ABNT NBR 7175 (2003) é menor ou igual a 10%, o que é menor do que os da cales CH-II e CH-III. Porém, mesmo quando se utiliza a cal CH-I, quando o fabricante não revela o percentual de óxidos de cálcio e de magnésio, deve-se proceder com a maturação da cal hidratada, porque é muito comum a presença de óxidos não hidratados na cal hidratada, o que normalmente não é considerado pelo construtor, conforme experiência deste autor.

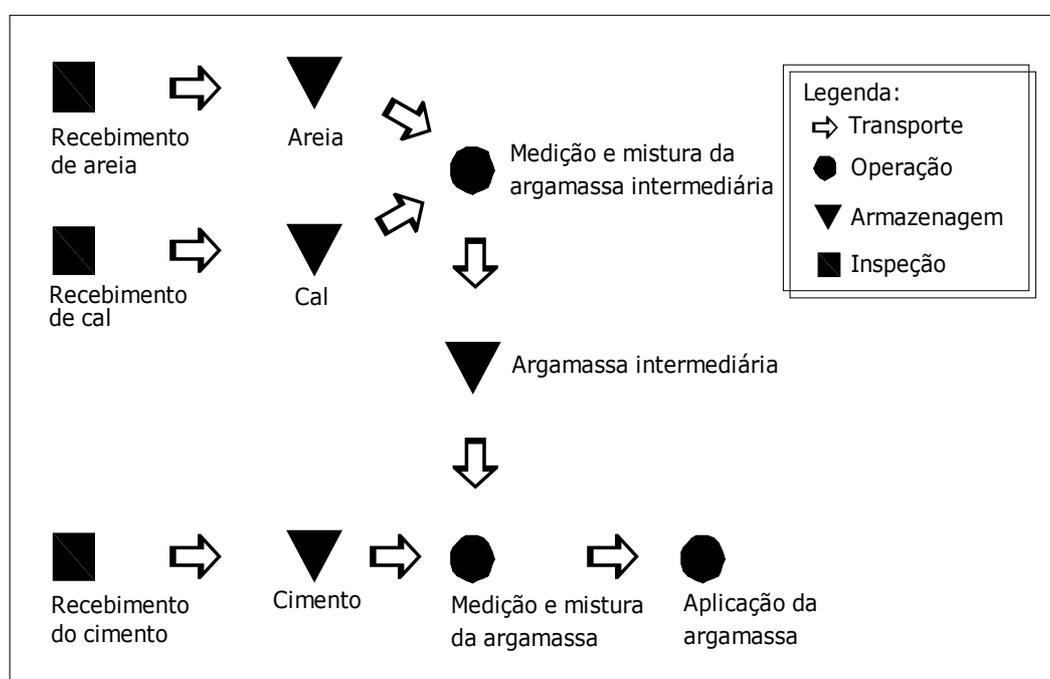


Figura 10 - Fluxograma dos processos para argamassa mista preparada em obra – diferente das obras estudadas (REGATTIERI; SILVA, 2006).

Então, com a utilização da argamassa mista de cal hidratada tipo CH-I com 0% de óxidos não hidratados, eliminou-se na obra “C” a possibilidade do surgimento de patologias originárias da hidratação retardada dos óxidos de cálcio e magnésio no reboco já aplicado. É muito comum as construtoras brasileiras não realizarem o procedimento correto na produção da argamassa para revestimento, que se consiste na maturação das cales hidratadas, o que consiste em um enorme erro, principalmente quando se trata das cales tipo CH-II e CH-III. Por isso surgem as patologias citadas. Conforme já aqui descrito, outra vantagem detectada num estudo recente realizado pelos autores Araújo, Andrielli, Carasek, op. cit., que revelou que a cal hidratada tipo CH-I contém aditivo incorporador de ar, o que melhora a sua plasticidade, trabalhabilidade, elasticidade e, conseqüentemente, aumenta a propriedade aderente das argamassas mistas de cal e cimento. Isso faz aumentar o seu rendimento, enquanto a ausência de óxidos não hidratados promove um ganho potencial logístico na produção de argamassas mistas no canteiro de obras, com ganhos substanciais de espaço físico ao se eliminar a etapa de produção para a obtenção em primeiro lugar da argamassa intermediária (massa branca), conforme visto na figura 10, aguardando 16 horas antes que se possa adicionar cimento à mistura. Esse ganho de espaço proporcionou áreas livres de extrema importância para estocagens e movimentações dos inúmeros itens de materiais necessários em obras de edificação (subsetor da construção civil que chega a ter 50.000 itens de materiais a serem controlados), normalmente tão carentes de espaço. Além disso, gerou ganhos de produtividade por redução dos fluxos de serviços, mão-de-obra e produtos, o que também significou um enorme ganho logístico.

## 6.4 Recebimentos dos materiais

Na tabela 13, percebe-se que o número de controles no recebimento de insumos da argamassa virada em obra é muito maior do que em relação à argamassa industrializada. O custo para realização desta tarefa, na maioria das vezes, é negligenciado quando se realiza o planejamento do empreendimento.

Tabela 13 – Controles de recebimento de materiais

<b>Material</b>	<b>Forma de Recebimento</b>	<b>Verificação quantitativa</b>	<b>Verificação visual</b>
Areia	A granel	Cubagem da caçamba do caminhão	Coloração, granulometria e impurezas
Cimento	Em sacos	Contagem dos sacos	Existência de sacos rasgados, furados, molhados, com empedramento, fora do prazo de validade e com selo de conformidade da ABCP
Cal hidratada	Em sacos	Contagem dos sacos	Existência de sacos rasgados, furados, molhados, com empedramento, fora do prazo de validade e com selo de conformidade da ABCP
Pré-misturado de cimento e cal hidratada	Em sacos	Contagem dos sacos	Existência de sacos rasgados, furados, molhados, com empedramento, fora do prazo de validade e com selo de conformidade da ABCP
Argamassa industrializada	Em sacos	Contagem dos sacos	Existência de sacos rasgados, furados, molhados, com empedramento, fora do prazo de validade e com selo de conformidade da ABCP

Fonte: adaptado de SOUZA; TAMAKI (2001) apud de REGATTIERI & SILVA (2006).

A descarga dos sacos nas obras era feita pela retirada manual do caminhão e empilhamento (de 7 em 7 sacos) no carrinho plataforma, conforme figura 11. Em todas as obras, o caminho a ser percorrido pelo insumo em saco tinha mais ou menos a mesma distância desde o recebimento até o local de armazenamento, utilizando elevadores de carga para o transporte vertical. Porém, na obra “B” havia muito mais interferências nas passagens do que na obra “A” e “C”, pois estas contavam com um espaço físico de canteiro muito mais amplo. Apesar disso, alguma perda em produtividade era compensada na obra “B” com a utilização da argamassa pronta industrializada, na qual bastava adicionar água, o que acelerava e reduzia a possibilidade de erros no processo produtivo da argamassa feita no canteiro.



Figura 11 – Transporte horizontal de argamassa industrializada com carrinho plataforma.

A carência de espaço para estocagem de materiais na obra “B” foi o fator que mais influenciou na decisão dos gestores em utilizar a argamassa industrializada, sem que fosse realizado anteriormente qualquer estudo da logística de canteiro, e também de rendimento do produto e de custo de produção. Mas também, os transtornos causados pela argamassa rodada no canteiro de obras, tais como a estocagem de areia (que geralmente é na entrada, por facilidade de acesso e falta de espaço), foram eliminados, proporcionando também um ganho logístico. Isso porque a estocagem da areia provoca grandes movimentações de pessoas e materiais na produção da argamassa, com desperdícios de recursos humanos e materiais no transporte, podendo ainda causar grandes obstruções das passagens de um ambiente já tão estrangulado, o que gera um aumento do número de controles a serem feitos nos processos produtivos intrínsecos a esse tipo de produto, que vão desde o recebimento das matérias-primas até a aplicação da argamassa pronta. Isso pode ser facilmente percebido num confronto direto entre os fluxogramas anteriormente apresentados neste capítulo, os quais são excelentes representações dos processos produtivos dos diversos tipos de argamassas no canteiro de uma edificação.

Porém, a desvantagem do aumento do número de descargas a serem feitas na obra “A” foi compensada pela sua condição particular e estratégica de descarga, realizada pelo próprio caminhão basculante ao despejar a areia industrial diretamente em dois orifícios (um para cada granulometria de areia) na laje do pavimento térreo, conforme figura 12, conduzindo o material diretamente às baias localizadas nos cantos do subsolo (economizando mão-de-obra de descarga). Estes locais não obstruíam passagens de pessoas e materiais, além de estar localizado ao lado da betoneira de 580 litros com carregador. A areia que não passava pelos orifícios era facilmente conduzida pela enxada para o mesmo destino, de modo que não precisava para isso “bater pá” (termo utilizado no canteiro de obras para representar a retirada

da areia do caminhão basculante por meio da ferramenta pá, e não basculando a carroceria do caminhão) e/ou movimentar a areia com carrinho-de-mão.



Figura 12 – Sistema de descarga e armazenamento de areia industrial da obra “A”

## 6.5- Armazenamentos dos materiais

Para evitar alguns problemas, tais como: perdas quantitativas e qualitativas de materiais; quantidades excessivas de transportes de materiais, com desperdício de mão-de-obra e materiais; prejuízo à funcionalidade da obra; e problemas com a segurança dos operários, o correto armazenamento dos insumos, a organização da obra e o planejamento das etapas de serviços são primordiais.

A argamassa rodada no canteiro não colabora para tal organização, pois, gera um maior número de movimentações e manuseios de materiais do que a argamassa industrializada, pois conta com uma característica própria de processamento, e com um maior número de matérias-primas a serem misturadas em canteiro. Isso torna mais complexa a logística no canteiro para a argamassa virada na obra, na qual tem de haver mais espaço para estocagem de materiais. Além disso, os estoques têm de estar perfeitamente localizados, seguindo “layouts” ou desenhos previamente estudados das diversas etapas de construção no canteiro, os quais servirão como referência para melhores planejamentos das execuções dos serviços, escolhendo os mais adequados equipamentos a serem utilizados para o transporte e para a mistura dos componentes da argamassa, sem deixar de lado o aspecto custo e prazo. Salienta-se, positivamente, que a construtora da obra “A”, antes de planejar os serviços a serem executados e definir os locais a serem estocados os seus materiais nas diversas fases da obra, fez os desenhos do “layout” de pelo menos 3 etapas mais críticas da obra, tais como a da fundação, a da superestrutura e a dos acabamentos.

É comum em obras de edificação haver a falta de espaço físico no canteiro. Assim, muitas delas optam pela argamassa industrializada, como fez a obra “B”, para não terem que se preocupar tanto com a logística e o planejamento das diversas etapas de produção, por lidarem apenas com um produto ensacado para fabricação da argamassa de reboco. Assim, a organização do canteiro e o fluxo de materiais eram muito favorecidos pela condição de terem que lidar apenas um só tipo de sacaria de argamassa na obra. Além disso, os sacos de argamassa industrializada contavam com a vantagem de poderem ser distribuídos, estocados e misturados no próprio local de sua aplicação, ou nos pavimentos tipo, dando maior agilidade aos transportes do material fresco, com menos riscos de passagens do prazo da aplicação da argamassa misturada com água. Além disso, o fato de ter somente a água a ser adicionada à sua mistura gerou uma condição de menores riscos de falhas de produção dos revestimentos. Também, não se pode esquecer que a areia jamais pode ser estocada nas lajes, por problema de sobrecarga, o que inviabiliza a produção da argamassa rodada no canteiro, próxima ao local de sua aplicação. Isso é possível para a argamassa industrializada, pois contém quase todos os componentes confinados em um só saco, menos o solvente universal água, podendo assim ser distribuídos os pesos em sacos nos andares, próximo aos pilares, para que assim sejam evitadas sobrecargas indesejáveis.

## 6.6- Medições dos materiais

Conforme a norma ABNT NBR 7200 (1998), o traço deve ser estabelecido pelo projetista ou construtor, obedecendo às especificações de projeto e as condições para execução dos serviços, sendo que se as medições dos materiais nos canteiros de obra forem feitas em volume, devam ser utilizados recipientes cujos volumes sejam conhecidos, não devendo se realizar a dosagem com instrumentos que não assegurem um volume constante, como pás ou latas.

Porém, segundo Cincotto et alii, op. cit., e experiência deste autor, não se observa geralmente um controle efetivo da dosagem dos materiais constituintes das argamassas nas construções (adicionando muitas vezes água em excesso, o que faz reduzir a resistência mecânica e a durabilidade dos revestimentos argamassados). Muitas vezes, por utilizar volumes inadequados, obtêm-se resultados indesejáveis, tais como patologias, deficiência das propriedades requeridas, comprometendo a qualidade final e o desempenho das argamassas, acarretando, muitas vezes, um aumento dos custos de produção além de retrabalhos.

Ainda de acordo com Cincotto et alii, op. cit., os traços das argamassas para revestimento aplicadas para uma determinada função não seguem um consenso no Brasil, o que demonstra o completo desconhecimento com relação aos fatores que devem determinar a especificação de traços e composições das argamassas de revestimento, bem como todas as condições necessárias ao longo do processo de produção da edificação para assegurar um desempenho satisfatório, podendo assim resultar em diferenças significativas de custo e perdas econômicas.

Isso colocava a argamassa rodada na obra “A” e “C” em desvantagem quando comparadas com a argamassa industrializada ensacada da obra “B”. Como já dito, para a composição da argamassa industrial, só era necessário medir e adicionar água, podendo com isso minimizar os erros de dosagens e as suas respectivas patologias por reduzir a participação dos operários no processamento do produto. Isso foi também considerado na escolha da argamassa da obra “B”, pois a sua mão-de-obra era de caráter eventual e de pior qualidade do que nas outras obras, pois o foco desta empresa “2” não era edificação, procurando esta industrializar o máximo os seus processos no canteiro (terceirização da maior parte da produção da argamassa para a indústria seriada) para minimizar o risco de falhas produtivas. Já, para o processamento da argamassa produzida nas obras “A” e “C”, havia maiores números de matérias-primas a serem medidas e misturadas ao produto final, aumentando o número de operações e a probabilidade de incorrer em erros de quantidades nos proporcionamentos dos materiais a serem dosados para mistura. No entanto, apesar da obra “C” ter ainda um maior número de insumos a serem controlados na mistura do que a obra “A”, o ensaio de arrancamento do item 6.10 adiante deu positivo, ao contrário da obra “A”, acusando de que não houve erros significativos na dosagem dos materiais da argamassa de reboco.

A obra “A” escolheu a argamassa rodada no canteiro, composta de pré-misturado de cal hidratada CH-I ensacado, com 0% de óxidos de cálcio e magnésio não hidratados, cimento CP II-E 32 e areia artificial de gnaiss baseada em estudos prévios de dosagens e traços de seus componentes realizados em laboratórios na busca de um melhor rendimento e custo do material aplicado, conforme comparação das tabelas comparativas 14, 15, 16 e 17, mas sem quantificar o custo logístico de produção e aplicação. Assim, para a tomada de decisão na escolha do tipo de argamassa para o revestimento de reboco interno, a construtora “1” levou em consideração o aspecto qualidade das matérias-primas (pois escolheu a areia artificial, livre de impurezas), a logística de canteiro (isso porque, embora não tivesse sido realizado um projeto de produção e de planejamento logístico para avaliar em termos de custo a logística de canteiro, a escolha do pré-misturado de cimento e cal hidratada CH-I reduziu o número de

sacarias na obra em relação à obra “C”, além de eliminar a etapa de maturação da cal) e principalmente o aspecto custo de produção.

Também, para se evitar erros de dosagem na obra “A”, foi aplicado somente um traço para revestimento, sendo utilizado o mesmo traço para o revestimento externo e interno, para assegurar que não houvesse erros de dosagens no proporcionamento das matérias-primas, além de se evitar a troca de traços a serem aplicados em locais não especificados ou inadequados. Isso jogava a favor da segurança, uma vez que os traços externos eram mais resistentes às intempéries. Outra metodologia adotada pela empresa “A” para se evitar erros de dosagens foi a utilização de carrinhos-padiola (enquanto a padiola precisa de dois serventes de pedreiro para o seu transporte, o carrinho-padiola necessita só de um), que são os equipamentos mais adequados para a medição em obra dos constituintes das argamassas, exceto para a água. Para fazer uso desta vantagem, foram calculados traços inteiros para que fosse praticado um enchimento completo do carrinho-padiola, arrasando a sua superfície rente a “boca” com régua metálica, o que tornava plana a superfície da “boca”, evitando mais uma vez os erros de dosagem. Na obra “C” foram também utilizados os mesmos procedimentos de dosagens e equipamentos.

Além do mais, para favorecer a qualidade e o desempenho físico da argamassa aplicada, foram utilizadas na obra “A” e “C” areia industrial, nas quais os traços eram virados no canteiro. Isso porque essa areia é livre de teor de argila em torrões, material pulverulento e impurezas orgânicas, além de ser maior a confiabilidade de sua fonte, pois é difícil controlar a procedência da areia lavada de rio, além de conter sempre essas impurezas, seja em maior ou em menor quantidade. A água era adicionada à betoneira em latas de 18 litros com medidor por um operador de betoneira treinado e experiente, que adicionava a quantidade de água necessária para tornar o produto trabalhável, dependendo da umidade da areia observada.

## 6.7- Mistura da argamassa

De acordo com a norma ABNT NBR 7200 (1998), as misturas devem ser feitas por processos mecanizados ou, em caso excepcional, por processo manual. Isso porque manualmente não é garantida a correta homogeneização da argamassa, comprometendo as suas propriedades. Dessa forma, todas as obras pesquisadas seguiram esse procedimento.

O ideal é que o processo de mistura da argamassa seja feito com equipamento específico, denominado argamassadeira que são recomendadas pelos fabricantes, por conseguirem

homogeneizar melhor a mistura. Mas uma limitação da argamassadeira é a sua capacidade de produção, comparando-se com equipamentos de maior capacidade, tal como a betoneira de 580 litros utilizada pela obra “A” e “C”. Então, os construtores dessas obras optaram por este equipamento de mistura devido a sua capacidade de produção, que não foi uma preocupação da obra “B”, a qual tinha pouco volume de argamassa a ser confeccionado (todas as vedações internas da obra “B” eram constituídas de painéis de gesso acartonado). O único inconveniente é que a betoneira de 580 litros é muito pesada para locomoção, sendo bom que a sua posição de produção seja bem definida e estudada, tanto para fabricação da argamassa, como para do concreto, para se evitar movimentações do equipamento. Pelo seu peso e por ser utilizada para argamassas rodadas na obra, que precisa do insumo areia que sobrecarrega os andares, a betoneira não pode ser posicionada nos pavimentos tipo, como pode ser feito com a argamassadeira.

A decisão da obra “B” de utilizar a argamassadeira horizontal foi balizada principalmente pelas decisões anteriores em se empregar a argamassa industrializada (por motivos já descritos) e o concreto usinado bombeado, podendo, com este equipamento de mistura, que é facilmente deslocável e leve, reduzirem as interferências nos transportes de materiais quando produzida próxima ao local de sua aplicação.

## 6.8-Transportes dos materiais e locais de preparo das argamassas

Para melhor se entender qual o tipo de transporte é mais viável, deve-se avaliar o tempo empregado pelo operário no transporte para a produção, subdividindo o transporte em ciclos. Como exemplo, para a argamassa virada na obra tem-se o ciclo de transporte da argamassa da betoneira ao elevador, ciclo de transporte vertical (subida do elevador) e ciclo de transporte do elevador no andar até a caixa de argamassa do pedreiro, sempre considerando o retorno do carrinho vazio da mesma forma, até o equipamento misturador. Somente com esse estudo, os sistemas de transporte podem ser racionalizados na obra. Neste estudo logístico não foi apropriado o tempo de deslocamento, por não ser este o ponto de estrangulamento desta fase da produção das obras visitadas, ficando os serventes, que distribuían este produto fresco, com a maior parte de seu tempo ocioso.

A necessidade de transporte da argamassa até o local de aplicação e o tipo de equipamentos utilizados para isso estão relacionados com:

- A forma de preparo intrínseca ao tipo de argamassa produzida;
- Com o arranjo físico do canteiro de obras (desenhos de “layout” do canteiro nas diversas etapas da obra), pois maiores distâncias entre as áreas de armazenamento, mistura e aplicação determinam maior necessidade de transporte.

O ganho em quantidades de materiais a serem deslocados pelo transporte vertical (que era o equipamento de transporte mais exigido na etapa de revestimento argamassado) da argamassa industrializada em sacos da obra “B” foi significativo diante da argamassa rodada na obra “A” e “C”. Quando a argamassa industrializada era produzida nas lajes da edificação, próxima ao local de aplicação, seus insumos, quase todos contidos em um único saco, podiam ser transportados de uma só vez pelo elevador, proporcionando ganhos no transporte vertical, que ainda podiam ser maximizados quando utilizados fora dos horários de pico. Por isso, o fator peso da areia e do equipamento não foram as únicas razões pelas quais a argamassa rodada no canteiro não podia ser produzida nos pavimentos superiores da obra “A” e “C”, sendo também, no aspecto logístico, essa operação inviabilizada. Isso no que tange as maiores quantidades de transportes de matérias-primas, aumentando o número de interferências nos deslocamentos de materiais e pessoas, com maiores riscos de acidentes e maiores desperdícios de mão-de-obra e materiais. Assim, a única maneira de se executar o revestimento com a argamassa rodada na obra era transportando pelo elevador de carga a argamassa fresca com carrinho-de-mão ou jericas, como se pode ver na figura 13, o que limitava bastante a quantidade desse produto a ser deslocada pelo elevador.



Figura 13 – Transporte da argamassa fresca para os andares superiores.

A boa escolha do local de produção de argamassa rodada em obra e da estocagem de materiais é muito importante, porque influencia no fluxo de materiais e pessoas, no transporte

e na produtividade, bem como nas perdas de materiais e nas horas despendidas pela mão-de-obra no transporte, o que era uma vantagem da obra “B” em relação às outras, pois podia executar todas estas etapas próximas ao local de aplicação da argamassa de revestimento. Isso teve de ser considerado pela empresa “2”, pois, como já descrito anteriormente, a sua obra era composta de um canteiro estreito e com muitas interferências no deslocamento.

Conforme ocorreram nas obras “A” e “C”, a argamassa rodada em canteiro deve ser misturada em local único (central de preparo) e o mais próximo possível do elevador, sendo que este local geralmente próximo ao portão de entrada dos materiais, onde é mais fácil a descarga e estocagem da areia pelo caminhão basculante. Neste ponto, devido a particularidades já mencionadas da obra “A”, a areia era facilmente posicionada próxima ao elevador, longe da entrada da obra e em baias estrategicamente posicionadas nos cantos das paredes do subsolo, onde não causava nenhum transtorno ao fluxo de materiais e operários (vide figura 12).

## 6.9-Rendimento e custo

O estudo de viabilidade econômica da argamassa de reboco só foi realizado pela construtora “1”, por meio de ensaios laboratoriais com estudo dos melhores traços, obtendo a massa unitária da argamassa de reboco depois de aplicada no painel, para que assim chegasse aos rendimentos e consumos reais dos materiais. Assim, a construtora “1” foi a única que realizou um estudo comparativo do custo de produção e aplicação entre os diversos tipos de argamassa de reboco, com ensaios laboratoriais para a obtenção de rendimento, para que isso lhe auxiliasse na decisão de qual tipo de argamassa a ser empregada no revestimento de reboco. Isso também serviu de base na análise feita do custo dos tipos de argamassas aplicadas no reboco aqui estudadas. Dessa maneira, a construtora “1” obteve os preços dos revestimentos de reboco acabados por metro cúbico, como mostram as tabelas 14 e 15, podendo ser convertidos em metros quadrados de acordo com a espessura do revestimento executado na obra. A partir dos resultados dessas tabelas, foi apropriado na obra “A” o volume diário médio de argamassa produzido e aplicado para as espessuras de reboco de 2 cm praticadas. Assim foi orçado o preço da execução deste serviço, considerando a mão-de-obra para a sua execução e os preços da argamassa industrializada e rodada no canteiro de pré-misturado de cimento CP II-E 32 e cal hidratada CH-I. A partir disso, foi possível calcular os preços unitários dos revestimentos de reboco, tanto em metros cúbicos, quanto em metros quadrados.

As argamassas industrializadas foram todas descartadas de serem empregadas pela construtora “1”, pois, comparando-se os seus preços unitários de acordo com os seus rendimentos nas tabelas 14 e 15, os seus preços eram bem superiores aos das argamassas rodadas no canteiro de obras.

A construtora “1” não escolheu o sexto traço feito com a cal hidratada CH-I da tabela 15 porque, embora fosse a mais econômica, envolveria dois produtos em sacos, cimento e cal, solicitando mais espaço para o armazenamento desses produtos, enquanto que o pré-misturado de aglomerantes envolveria uma sacaria a menos na obra. Assim, foi escolhido o terceiro traço da tabela 15, de argamassa rodada em canteiro com pré-misturado de aglomerantes, pelos aspectos menor custo e logístico. Isso tornou a logística e o planejamento de canteiro da obra “A” menos complexo, congestionando menos a obra, além de reduzir o número de insumos a serem medidos, misturados e controlados pela produção, diminuindo a possibilidade de incorrer em falhas nesta operação. É uma pena que isto não evitou tais erros nesta obra, pois, produzir revestimentos de qualidade depende também de outros fatores, tais como conhecimento dos engenheiros gestores, treinamento de mão-de-obra, dentre outros. Porém, a escolha do sexto traço da tabela 15 resultaria em mais um produto a ter de ser descarregado e transportado, gastando-se mais com mão-de-obra de servente. Em fim, essa decisão provou que não foi apenas os custos da mão-de-obra e do material os únicos fatores determinantes na escolha do tipo de argamassa (quanto a sua forma de produção), embora foram os que mais pesaram, sendo também a logística no canteiro de obra um fator preponderante na escolha.

Tabela 14 – Ensaio de rendimento feitos em laboratório.

I- Argamassas industrializadas											
Produto	Embalagem	Quantidade de água (l)/saco	Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) após mistura	Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) do painel	Quantidade de água (l)/m <sup>3</sup>	Sacos/m <sup>2</sup> após mistura	Sacos/m <sup>2</sup> aplicado no painel	Preço unitário do saco (RS)/saco	Preço RS/m <sup>2</sup> após mistura	Preço RS/m <sup>2</sup> aplicado painel	Variação (%)
Argamassa X revestimento externo	Saco 50 Kg	8,00	1,89	2,12	261,00	32,62	36,52	7,75	252,81	283,01	10,07
Argamassa Y múltiplo uso	Saco 50 Kg	8,00	1,77	1,99	245,00	30,57	34,22	7,20	220,10	246,38	10,07
Argamassa Z múltiplo uso	Saco 40 Kg	6,50	1,84	2,07	257,00	39,59	44,49	6,10	241,51	271,42	11,00

Observações: Para esta tabela 14, ressaltam-se as seguintes considerações: 1<sup>a</sup>) Não foi considerado o custo da mão-de-obra; 2<sup>a</sup>) Não foi considerada a perda de material por

manuseio/desperdício; 3ª) A massa unitária das areias foi de 1.243,75 Kg/m³; 4ª) A data da coleta dos preços foi 05/07/2007.

Tabela 15 - Ensaio de rendimento feitos em laboratório.

P r o d u	Are ia ind ust rial	T r a ç o	Embalage m - Saco(Sc)	Quan t. de á gua (l)/sc	Dens (g/ cm³) após mistu ra	Dens (g/ cm³) aplica da paine	M a i t a e l e r	Consum o/m³ após mistura	Consu mo/m³ aplicada paine	Preço unitár io saco (R\$)	Preço R\$/m³ após mistur a	Preço R\$/m³ aplica da paine	Var ia ção (% )
1º) Pré- mist. revest. ext. G	A	R	Pré-mist. 20Kg	13,00	1,85	2,04	Pré- mist.	16,60 sc	18,33 sc	5,66	137,12	151,39	9,4
							Areia mista méd.	1,349 ton	1,489 ton	32,00			
							Água	196 lit	216 lit				
2º) Pré- mist. revest. ext. G	A	M	Pré-mist. 20Kg	12,50	2,04	2,19	Pré- mist.	20,45 sc	21,97 sc	5,66	161,25	173,26	6,9
							Areia mista méd.	1,422 ton	1,528 ton	32,00			
							Água	238 lit	256 lit	X			
3º) Pré- mist. revest. ext. G	B	M	Pré-mist. 20Kg	12,50	1,87	2,04	Pré- mist.	19,05 sc	20,74 sc	5,66	117,97	128,48	8,1
							Areia méd.	0,979 ton	1,065 ton	31,10			
							Areia fina	0,326 ton	0,355 ton	31,10			
							Água	219 lit	238 lit	X			
4º) Cal hid. revest. ext. H	A	R	Cim. 50Kg	11,50	1,80	2,04	Cim. CPIIE 32	5,36 sc	6,09 sc	8,50	113,07	122,94	8,0
							Cal CH-I	5,40 sc	6,14 sc	4,97			
							Areia mista méd.	1,271 ton	1,444 ton	32,00			
							Água	195 lit	222 lit	X			

Prodotu	Área industrial	Traço	Embalagem - Saco(Sc)	Quant. de água (l)/sc	Dens (g/cm <sup>3</sup> ) após mistura	Dens (g/cm <sup>3</sup> ) aplicada paine	Material	Consumo/m <sup>3</sup> após mistura	Consumo/m <sup>3</sup> aplicada painel	Preço unitário saco (R\$)	Preço R\$/m <sup>3</sup> após mistura	Preço R\$/m <sup>3</sup> aplicada painel	Variação (%)
5º) Cal hid. revest. ext. H	A	M	Cim. 50Kg	7,50	1,84	2,02	Cim. CPIIE	4,46 sc	4,88 sc	8,50	112,36	118,91	5,5
			Cal CH-I 20Kg				6,25 sc	6,84 sc	4,97				
							1,356	1,485	32,00				
			Água				170 lit	186 lit	X				
6º) Cal hid. revest. ext. H	B	M	Cim. 50Kg	9,00	1,80	1,98	Cim. CPIII 40	4,30sc	4,75	8,50	76,45	83,40	8,3
			Cal CH-I				6,00sc	6,63sc	4,97				
							0,973 ton	1,075 ton	31,10				
							0,324 ton	0,358 ton	31,10				
			Água				195 lit	215 lit	X				

Observações: Para esta tabela 15, ressaltam-se as seguintes considerações: 1ª) Não foi considerado o custo da mão-de-obra; 2ª) Não foi considerada a perda de material por manuseio/desperdício; 3ª) A massa unitária das areias foi de 1.243,75 Kg/m<sup>3</sup>; 4ª) A data da coleta dos preços foi 05/07/2007.

Para que fosse possível efetuar uma comparação de custo de revestimento aplicado nas obras "A", "B" e "C", utilizaram-se as mesmas condições em canteiro, pois as diferenças do ambiente produtivo trariam dificuldades para a comparação, uma vez que há sempre muita variação de características e ambientes de trabalho entre obras diferentes (essas características do ambiente produtivo são mais previsíveis e menos variáveis entre indústrias seriadas). Então, partiu-se dos mesmos parâmetros produtivos para cálculo do custo da argamassa aplicada nessas três obras estudadas, sendo a única diferença o tipo de argamassa escolhida. Estes parâmetros estão descritos a seguir:

- Foi considerada a mesma mão-de-obra ou equipe utilizada na aplicação das argamassas, para que as produtividades fossem as mesmas nas três obras (01 servente de aplicação servindo a 02 pedreiros de aplicação);

- Utilizou-se o mesmo volume diário de argamassas produzidas e aplicadas nos canteiros das obras estudados, o qual foi de 0,62 m<sup>3</sup>/dia, para que assim pudesse calcular o custo do produto fabricado e aplicado para uma mesma produtividade;
- A mesma taxa de encargos sociais;
- Os serventes operadores da betoneira mediam e adicionavam os materiais nas betoneiras com carregadores sozinhos;
- Foram utilizados os ensaios laboratoriais de rendimentos das tabelas 14 e 15, para os quais foram utilizados os mesmos materiais aplicados na obra “A”, “B” e “C”;
- Foram consideradas as mesmas espessuras de revestimentos de dois centímetros para as três obras aplicados em paredes de blocos cerâmicos, compostos por chapisco mais uma camada de reboco.

Dessa forma, foi possível calcular os custos de produção por metro quadrado de revestimento aplicado das três obras estudadas, os quais podem ser utilizados numa comparação direta, conforme tabelas 16, 17 e 18 a seguir:

Tabela 16 - Preço unitário de produção e aplicação da argamassa rodada no canteiro utilizada pela obra “A”.

3º Traço de argamassa rodada com Pré-misturado e cimento CIII E 32 da obra A									
Espessura do reboco (m)	Produção média diária (m <sup>3</sup> /dia)	Pedreiro aplicação (R\$/hora)	Servente aplicação (R\$/hora)	Servente betoneira (R\$/hora)	Horas trabalhadas por dia	Preço mão-de-obra aplicação (R\$/m <sup>3</sup> )	Preço mão-de-obra aplicação (R\$/m <sup>2</sup> )	Preço produto aplicado (R\$/m <sup>3</sup> )	Preço produto aplicado (R\$/m <sup>2</sup> )
0,02	0,62	8,44	3,02	3,02	8,80	205,52	4,11	128,42	2,57
Preço unitário de reboco (R\$/m <sup>3</sup> )						333,94			
Preço unitário de reboco (R\$/m <sup>2</sup> )						6,68			

Tabela 17 - Preço unitário de produção e aplicação da argamassa industrial utilizada pela obra “B”.

2ª Argamassa industrializada Y múltiplo uso da obra B									
Espessura do reboco (m)	Produção média diária (m <sup>3</sup> /dia)	Pedreiro aplicação (R\$/hora)	Servente aplicação (R\$/hora)	Servente betoneira (R\$/hora)	Horas trabalhadas por dia	Preço mão-de-obra aplicação (R\$/m <sup>3</sup> )	Preço mão-de-obra aplicação (R\$/m <sup>2</sup> )	Preço produto aplicado (R\$/m <sup>3</sup> )	Preço produto aplicado (R\$/m <sup>2</sup> )
0,02	0,62	8,44	3,02	0,00	8,80	162,66	3,25	246,38	4,93
Preço unitário de reboco (R\$/m <sup>3</sup> )						409,04			
Preço unitário de reboco (R\$/m <sup>2</sup> )						8,18			

Tabela 18 – Preço unitário de produção e aplicação da argamassa rodada no canteiro utilizado pela obra “C”.

6º Traço de argamassa rodada com cal hidratada CH-I e cimento CPIII 40 da obra C									
Espessura do reboco (m)	Produção média diária (m³/dia)	Pedreiro aplicação (R\$/hora)	Servente aplicação (R\$/hora)	Servente betoneira (R\$/hora)	Horas trabalhadas por dia	Preço mão-de-obra aplicação (R\$/m³)	Preço mão-de-obra aplicação (R\$/m²)	Preço produto aplicado (R\$/m³)	Preço produto aplicado (R\$/m²)
0,02	0,62	8,44	3,02	3,02	8,80	162,66	3,25	83,40	1,67
Preço unitário de reboco (R\$/m³)					246,06				
Preço unitário de reboco (R\$/m²)					4,92				

Assim, conforme tabelas 16,17 e 18, constata-se que os custos por metro quadrado de aplicação, considerando os tipos de argamassas produzidas em canteiro e os seus materiais componentes, são maiores para a argamassa industrializada utilizada na obra “B”, do que para ambas as argamassas rodadas no canteiro utilizado nas obras “A” e “C”.

## 6.10-Ensaio de arrancamento

É um ensaio utilizado para medir os desempenhos dos materiais de revestimento após a sua aplicação, atestando assim a qualidade dos materiais componentes da argamassa, assim como a qualidade do serviço de preparo e aplicação da argamassa no revestimento de edificações.

### 6.10.1- Procedimentos para realização e análise dos resultados

Todos os procedimentos realizados na execução do ensaio de arrancamento seguiram as recomendações da ABNT NBR 13528 (1995). De acordo com essa normalização, procedeu-se da seguinte maneira:

Foram realizados cortes circulares perpendiculares ao plano do revestimento na parede de alvenaria revestida com argamassa de reboco após 28 dias de cura. Isso foi feito no meio dos panos das paredes, longe dos cantos e quinas, em localidades que não existiam telas para melhor aderência da argamassa, o que camuflaria o resultado, jogando os valores das tensões de tração para um valor acima do real. Para isso, utilizou-se uma serra copo de diâmetro 50 mm, com borda de vídea adaptada a uma furadeira de eixo central para garantir a estabilidade

no corte, ou seja, cortes efetuados sem vibrações prejudiciais aos resultados da operação. O corte foi feito até atingir o substrato (alvenaria de blocos cerâmicos). Porém, para que fosse avaliado o real efeito da aderência da camada única de argamassa de reboco, os cortes dos CPs adentraram a uma profundidade de aproximadamente 5 mm no substrato alvenaria. Isso foi importante para a consideração de todo o sistema composto pelos elementos alvenaria, chapisco e camada única de reboco, o que garantiu o rompimento na localidade ou na camada de menor resistência à tração. Dessa forma, foram cortados seis CPs cilíndricos como amostra representativa para cada tipo de argamassa de reboco, ou seja, seis CPs para a argamassa industrializada da obra “B”, mais seis CPs para a argamassa rodada no canteiro da obra “A”, além de mais seis CPs para a argamassa rodada no canteiro para a obra “C”. Depois, foram limpas as superfícies dos CPs com escova de nylon de cerdas duras, para assim prosseguir com o preparo de cola de secagem rápida, a qual foi passada com espátula nas superfícies das placas de alumínio de 50 mm de diâmetro, também limpas. Então, prosseguiu-se com a colagem das placas nas superfícies recortadas, removendo os excessos de cola e posicionando dois pregos 18x30 abaixo das placas, os quais serviam de apoio para que as mesmas não escorregassem antes da secagem total da cola. Após a secagem da cola, foram realizados acoplamentos do equipamento de tração modelo “DYNA PROCEQ PULL-OFF TESTER” digital, seqüenciado de arrancamentos feito dos CPs. Esse equipamento de tração digital vem acoplado a um dinamômetro, o qual calculava instantaneamente e diretamente a tensão de tração aplicada no ensaio de arrancamento, o que permitia leituras imediatas das tensões máximas aplicadas nos rompimentos dos CPs.

Para avaliar a resistência de aderência à tração em revestimentos de camada única de reboco de paredes internas, a norma ABNT NBR 13749 (1996) exige que seja separada uma área de 100 m<sup>2</sup> da parede interna, ou menos da área suspeita, para o arrancamento, em pontos aleatórios, de pelo menos 6 CPs referentes a uma amostragem, com procedimento de acordo com a norma ABNT NBR 13528 (1995). O revestimento desta área deve ser aceito, conforme a norma ABNT NBR 13749 (1996), somente se de cada amostra de seis ensaios realizados (com idade igual ou superior a 28 dias), pelo menos quatro valores forem iguais ou superiores a 0,20 MPa (para parede interna de reboco).

## 6.10.2- Quadros de resultados dos ensaios de arrancamento

(A) Formas de ruptura, segundo a norma ABNT NBR 13749 (1996):

- a) ruptura na interface argamassa de revestimento / substrato;
- b) ruptura na argamassa de revestimento;
- c) ruptura no substrato (alvenaria);
- d) ruptura na interface argamassa de revestimento / cola;
- e) ruptura na interface cola/pastilha;

Tabela 19 – Resultados dos ensaios de arrancamento da obra “A”.

OBRA "A"						
Corpo de prova	Tensão (MPa)	Forma de Ruptura <sup>(A)</sup> %				
		a	b	c	d	e
1	0,10	100				
2	0,13	100				
3	0,33	100				
4	0,07	100				
5	0,09	100				
6	0,16	100				

O resultado final dos ensaios de arrancamento para a obra “A” não atendeu a norma da ABNT NBR 13528 (1995), pois não teve pelo menos 4 dos valores das tensões máximas alcançadas nos arrancamentos dos corpos-de-prova realizados no revestimento de reboco iguais ou superiores a 0,20 MPa. Também, a média aritmética desses valores foi de 0,15 MPa, sendo ainda inferior aos 20MPa recomendado pela norma.

Tabela 20- Resultado do ensaio de arrancamento da obra “B”.

OBRA "B"						
Corpo de prova	Tensão (MPa)	Forma de Ruptura <sup>(A)</sup> %				
		a	b	c	d	e
1	0,48	100				
2	0,29	100				
3	0,42	100				
4	0,37			100		
5	0,30	100				
6	0,39	100				

O resultado final dos ensaios de arrancamento para a obra “B” atendeu a norma da ABNT NBR 13528 (1995), pois todos os valores das tensões máximas alcançadas nos arrancamentos dos corpos-de-prova realizados no revestimento de reboco foram superiores a 0,20 MPa. Também, a média aritmética desses valores foi superior aos 0,20 MPa recomendado pela norma, alcançando 0,38 MPa.

Tabela 21- Resultado do ensaio de arrancamento da obra “C”.

OBRA "C"						
Corpo de prova	Tensão (MPa)	Forma de Ruptura <sup>(A)</sup> %				
		a	b	c	d	e
1	0,30			100		
2	0,50			100		
3	0,42			100		
4	0,19			100		
5	0,60			100		
6	0,65			100		

O resultado final dos ensaios de arrancamento para a obra “C” atendeu a norma da ABNT NBR 13528 (1995), pois todos os valores das tensões máximas alcançadas nos arrancamentos dos corpos-de-prova realizados no revestimento de reboco foram superiores a 0,20 MPa. Também, a média aritmética desses valores foi superior aos 0,20 MPa recomendado pela norma, alcançando 0,44 MPa, superando o valor atingido pelas outras obras analisadas.

### 6.11-Avaliação do desempenho logístico

A avaliação do desempenho logístico na produção da argamassa de reboco nas três obras deste estudo de caso foi realizada qualitativamente e quantitativamente, enquadrando-as nos conceitos ótimo, bom, regular e insuficiente, para os quais foram atribuídos valores, segundo as diretrizes elencadas como as mais importantes para a tipologia das obras estudadas neste trabalho, levando em conta as diretrizes básicas da logística estudadas, a experiência e a criatividade profissional. Assim, para que pudesse ser feita uma comparação entre as obras analisadas, foram escolhidas edificações que melhor representassem o mercado da indústria da construção civil no Brasil, levando em conta as suas características comuns, tais como:

- A industrialização e a implantação de ferramentas tecnológicas na construção civil ainda é cara para a realidade econômica do Brasil;
- O aspecto cultural e o nível de estudo da classe operária pesam contra o processo de industrialização da construção no Brasil;
- As possíveis interferências entre o processo de produção de argamassa com outros serviços no canteiro de obras, uma vez que as execuções dos diversos serviços ocorrem em paralelo com outros;
- As argamassas escolhidas foram produzidas nos canteiros de obras de acordo com as normas vigentes, de acordo com a recomendação dos fabricantes.

Assim, a avaliação do desempenho logístico nas obras foi realizada com base nas respostas: sim ou não das 17 questões alicerçadas nos pressupostos logísticos anteriormente determinados neste trabalho dissertativo. Para cada sim, foi contado um ponto, enquanto que para cada não, zero pontos, podendo a nota total chegar ao máximo a 17 pontos finais. Para as notas de 15 a 17 pontos, foi atribuído o conceito “ótimo”. Já para as notas de 9 a 14 pontos, foi atribuído o conceito “bom”. Para as notas de 5 a 8, foi atribuído o conceito “regular”. Já para as notas de 0 a 4, foi atribuído o conceito “insuficiente”.

Tabela 22 – Quadro avaliatório da logística de canteiro das obras estudadas

Quesitos de avaliação da logística de canteiro	Resposta obra "A"	Resposta obra "B"	Resposta obra "C"
(1) Foi realizado o planejamento das etapas construtivas da edificação, antes que fosse feita a orçamentação da construção?	Sim	Sim	Não
(2) Caso a resposta ao quesito anterior seja sim, foi levada em consideração a logística de canteiro nesse planejamento?	Sim	Não	Não
(3) Na fase de concepção dos projetos, foram elaborados os projetos executivos com detalhamentos, e analisadas e sanadas todas as incompatibilidades percebidas entre os mesmos pela intercomunicação entre os projetistas e executores dos serviços?	Sim	Sim	Sim
(4) Se a resposta ao quesito anterior for sim, foram elaborados projetos executivos detalhados para revestimentos de reboco e sanadas todas as incompatibilidades percebidas entre os mesmos pela intercomunicação entre os projetistas e executores dos serviços?	Sim	Sim	Não
(5) Na fase de concepção dos projetos, foram elaborados projetos de produção para o canteiro de obras, utilizando-se os projetos executivos detalhados elaborados no quesito anterior?	Sim	Não	Não

<b>Quesitos de avaliação da logística de canteiro</b>	<b>Resposta obra "A"</b>	<b>Resposta obra "B"</b>	<b>Resposta obra "C"</b>
(6) Se a resposta ao quesito anterior for sim, foram elaborados projetos de produção, considerando a etapa revestimentos de reboco e levando em conta os projetos executivos detalhados do mesmo serviço executivo?	Sim	Não	Não
(7) Na orçamentação, foi levado em conta o planejamento logístico na execução dos serviços para a escolha do tipo de argamassa a ser utilizada na obra?	Sim	Não	Não
(8) Para a escolha do tipo de argamassa a ser utilizada, foi levado em conta o fator logístico de sua produção, mesmo que subjetivamente, ou seja, não foi somente considerado o custo dos materiais, equipamentos e mão-de-obra empregados para a execução do revestimento, mas também o custo logístico?	Sim	Sim	Não
(9) Foi levado em consideração o comportamento dos materiais para a escolha dos tipos de argamassas a serem utilizadas, quanto aos seus processos produtivos, técnicas executivas e qualidade logística?	Sim	Não	Não
(10) Foi considerada a entrega pontual dos materiais no canteiro de obras para a escolha dos fornecedores dos materiais?	Sim	Sim	Sim
(11) Foi estabelecido algum tipo de parceria, seja formalmente ou verbalmente, entre fornecedores e construtoras?	Não	Não	Não
(12) Foi considerada a facilidade de movimentação dos materiais componentes da argamassa pelo canteiro na escolha do tipo de argamassa ser utilizada?	Sim	Sim	Não
(13) Foi considerada a complexidade logística no processo produtivo e no planejamento logístico nas etapas envolvendo a produção de argamassa no canteiro de obras (o que considera a facilidade na dosagem, recebimentos, distribuição dos materiais no canteiro, até a aplicação da argamassa, conforme fluxogramas das figuras 7, 8, 9 e 10 apresentados), assim como as interferências com os outros processos produtivos da edificação, para a escolha do tipo de argamassa a ser utilizada?	Sim	Sim	Não
(14) Considerando o tipo de argamassa e a experiência profissional, foi adotada uma estratégia de movimentação dos materiais no canteiro de obras, envolvendo uma boa dose de criatividade?	Sim	Não	Não
(15) Considerando o tipo de argamassa escolhido para o revestimento de reboco, foram levadas em conta as fortes possibilidades de erros por falhas na produção da argamassa de reboco, gerando retrabalhos?	Não	Sim	Não
(16) Foi utilizada alguma ferramenta tecnológica para o monitoramento e controle dos estoques e da produção?	Não	Não	Não
(17) A mão-de-obra utilizada no preparo e aplicação da argamassa era devidamente treinada, não sendo praxe a construtora realizar contratações eventuais com frequência?	Sim	Não	Sim
<b>Conceito logístico atribuído</b>	<b>Bom</b>	<b>Regular</b>	<b>Insuficiente</b>

## 6.12-Resumo dos resultados

Tabela 23 – Quadro de resumo de resultados.

Materiais	Custo (R\$/m <sup>2</sup> )	Desempenho do material - Média dos testes de arrancamento (MPa)	Desempenho Logístico
Argamassa rodada na obra com pré-misturado de aglomerantes - Obra "A"	6,68	0,15	BOM
Argamassa industrializada em sacos - Obra "B"	8,18	0,38	REGULAR
Argamassa rodada na obra com cal hidratada CH-I - Obra "C"	4,92	0,44	INSUFICIENTE

## CAPÍTULO 7 - CONCLUSÃO

Apesar de ser difícil apropriar e mensurar as vantagens logísticas da industrialização da construção civil, principalmente por serem muito específicas de cada obra, não tendo um modelo padrão a ser seguido, ficou evidente de que com a adoção da argamassa industrializada, ao invés da argamassa rodada no canteiro de obras, obtêm-se ganhos logísticos significativos. Além disso, a argamassa industrializada minimiza o risco de falhas no processo produtivo no canteiro, principalmente quando a mão-de-obra empregada é de caráter eventual e/ou com deficiências de treinamento e qualificação, o que é bastante comum na construção civil no Brasil.

As argamassas rodadas no canteiro de obras apresentaram os melhores e piores resultados no quesito resistência de aderência, avaliado através de testes de arrancamento, denotando a maior variabilidade e incerteza deste procedimento. Já no aspecto custo dos materiais e da mão-de-obra para produção e aplicação, estas argamassas apresentaram os melhores resultados.

Antes de tudo, é importante ressaltar que o desempenho logístico da argamassa não tem correlação com o desempenho do material argamassa aplicada no revestimento, pois este mensura a qualidade do material ou técnica aplicada na execução do serviço revestimento de reboco, enquanto que aquele mensura os fluxos de materiais, mão-de-obra e de informações dentro de uma cadeia de suprimentos. Assim, o ensaio de arrancamento foi realizado apenas para análise das diferenças de riscos de falhas que envolvem o processo produtivo de uma argamassa rodada no canteiro de obras e de uma industrializada.

Entretanto, ao decidir em se utilizar ou não uma nova tecnologia, tal como a escolha do tipo de argamassa de revestimento de reboco, industrializando a construção ou terceirizando algumas etapas de produção para a indústria, deve-se analisar cada caso específico sob o aspecto custo do serviço executado, o que significa compor o seu preço considerando insumos postos em obra e a mão-de-obra para a sua execução, com os devidos encargos sociais, sob a ótica das diretrizes logísticas básicas necessárias ao planejamento adequado.

Somente considerando essas premissas ao planejar e executar uma obra é que as construtoras poderão resistir à competição acirrada do mercado de hoje.

## **CAPÍTULO 8 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Para estudos futuros de argamassas de revestimento de reboco, recomenda-se, para maiores análises logísticas, a utilização de uma obra simétrica, na qual uma metade do revestimento externo será executado com argamassa industrializada; e a outra metade com argamassa rodada em canteiro. Para ambos os revestimentos, a mão-de-obra de execução deverá ser a mesma dentro de uma mesma obra, a fim de que os parâmetros logísticos sejam adequadamente medidos. Isso deverá ser feito em diversas obras de edificação sobre a gerência de empresas diferentes, para que se tenha um número suficiente de dados amostrais visando um perfeito tratamento estatístico. Esse procedimento irá conferir uma maior heterogeneidade amostral, a qual culminará em um resultado estatístico bastante confiável e que retrata melhor a realidade.

## CAPÍTULO 9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGAPIOU, A.; CLAUSEN, L.E.; FLANAGAN, R.; NORMAN, G.; NOTMAN, D. **The role of logistics in the materials flow control process.** Construction management and economics, v.16, 131-137p.,1998.

AKINTOYE, A. **Just-In-Time application and implementation for building material management.** Construction management and economics, v.13, 105-113p., 1998.

AMATO NETO, João. **Desintegração vertical, “terceirização” e o novo padrão de relacionamento entre empresas: o caso do complexo automobilístico brasileiro.** Tese de Doutorado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.236p.

ARAÚJO, Janáina; OLIVEIRA, Andrielli Moraes; CARASEK, Helena. **Influência da maturação da cal hidratada na trabalhabilidade de argamassas.** In. CD ROOM DOS VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS (SBTA), Pernambuco-PB. Anais, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7200; **Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento.** Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13529; **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas.** Rio de Janeiro,1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276; **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7175; **Cal hidratada para argamassas.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13528; **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração.** Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13749; **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação.** Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281; **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12721; **Avaliação de custos unitários de construção imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2006.

ASSUMPÇÃO, J.F.P.; LIMA JR, J.R.**Gerenciamento de empreendimentos na construção civil:Modelo para planejamento estratégico da produção de edifícios.**Boletim Técnico,Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), Departamento de Engenharia

de Construção Civil, São Paulo, 1996. 31p. Disponível em:  
< [http://publicacoes.pcc.usp.br/BTs\\_Petreche/BT173-%20Assump%C3%A7%C3%A3o.pdf](http://publicacoes.pcc.usp.br/BTs_Petreche/BT173-%20Assump%C3%A7%C3%A3o.pdf)>  
Acessado em: 20 ag. 2007.

BALLARD, Glenn; HOWELL, Greg. **Shielding production: essencial step in production control.** Journal of Construction Engineering and Management, p. 11-17, jan/fev, 1998.

BALLOU, Ronald H. **Business logistics: importance and some research opportunities.** Revista Gestão e Produção, São Carlos: EESC-Dept. Eng<sup>a</sup> de Produção, v.4, n.2, 117-129 p., agosto, 1997.

BAUER, L.A.F. **Materiais de construção Vol.1.** 5.ed. revisada .Rio de Janeiro-RJ: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2000.471p.

BOWERSOX, D.J. CLOSS,D.J.;COOPER,M.B.**Gestão logística de cadeia de suprimentos.** Porto Alegre-RS: Bookman, 2006. 528p.

BOWERSOX, D.J. CLOSS,D.J.;COOPER,M.B.**Gestão da cadeia de suprimentos e logística.** Rio de Janeiro-RJ: Elsevier, 2007.442p.

BRAGA, B. et alii **Introdução à engenharia ambiental.** São Paulo: Editora Prentice Hall, 2002.305p.

BRANDÃO, P.R.G. **Notas de aula da disciplina Métodos de Instrumentação e Análise.** Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas – CPGEM. EE.UFMG, 2001.

CALLISTER, W.D.JR. **Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução.** 5.ed. Rio de Janeiro-RJ: Livros Técnicos e Científicos (LTC), 2002.589p.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos; avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação.** Tese de doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana São Paulo-SP: Escola Politécnica da USP, 1996. 285p.

CARASEK, Helena; CASCUDO, Oswaldo; SCARTEZINI, Luís Maurício. **Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa.** In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2001, Brasília-DF. Anais. Brasília: PECC/ANTAC, 2001.43 -67p.

CARDOSO, Francisco F. **Importância dos estudos de preparação e da logística na organização dos sistemas de produção de edifícios.** In. ANAIS do 1º SEMINÁRIO INTERNACIONAL: LEAN CONSTRUCTION. São Paulo-SP, 1996.

CARVALHO JÚNIOR, Antônio Neves. **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico.** Tese de Doutorado. Orientador: Prof. Paulo Roberto Gomes Brandão. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas gerais (UFMG), 2005.306p.

CHIAVENATO, I. **Iniciação ao planejamento e controle da produção: Série iniciação à administração.** São Paulo-SP: MacGraw-Hill, 1990.117p.

CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégias para redução de custos e melhoria dos serviços.** São Paulo: Pioneira, 1997.240p.

CINCOTTO, Maria Alba. **Patologias das argamassas de revestimentos: Análise e recomendações.** In: VÁRIOS. Tecnologia das Edificações (Publicação IPT 1801). 2. ed. São Paulo-SP: Pini, 1989. 549-554 p.

CINCOTTO, Maria Alba; BOLORINO, Heloísa. **A influência do tipo de cimento nas argamassas.** In. CD ROOM do II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (SBTA), Salvador-BA, 1997.

CINCOTTO, Maria Alba.; CARASEK, Helena; CASCUDO, Oswaldo; SILVA, Maria Angélica C. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio.** (Publicação IPT 2378). São Paulo-SP: IPT- Instituto de Pesquisa Tecnológica, 1995.118p.

COLAS, René et alii **Pour une logistique des chantiers.** Collection Recherche. Paris, Plan Construction et Architecture, 1997, 186p.

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais. Definição de água potável. Disponível em <<http://www.copasa.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=97>>Acessado em: 14 set.2007.

CORRÊA, Wanderley Guimarães – Tecnologia do concreto de pavimentação. IBRACON – Seminário sobre pavimentação de concreto. São Paulo-SP, 1978.  
Council Logistic Management. Disponível em: <[http://findarticles.com/p/articles/mi\\_hb3208/is\\_200210/ai\\_n7887205](http://findarticles.com/p/articles/mi_hb3208/is_200210/ai_n7887205)> Acessado em: 19 de jun.2007.

DASKIM, M.S. **Logistics: An overview of the state of the art and perspectives on future research.** New York: Transportation research (part A), set-nov, 1985 apud VIEIRA, H.F. Logística aplicada à construção civil: como melhorar o fluxo de produção nas obras. 1.ed. São Paulo:Pini, 2006.178p.

DROHOMERETSKI, E.; MÂNICA,R.. **Logística enxuta: Gerando diferenciais para a cadeia de suprimentos.** Disponível em:  
< <http://www.admpg.com.br/2007/index.php?page=5&lang=1&sub=17>> Acessado em: 10 de jan. 2008.

FLEURY, P. F.; FIGUEIREDO, K. F.; WANKE, P. **Logística empresarial: A perspectiva brasileira.** São Paulo-SP: Atlas, 2000. 177-208 p.

GOMES, Abdias Magalhães. Notas de aula da disciplina Reologia e Tecnologia do Concreto. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil de Minas – DMEC. EE. UFMG, 2005.

GRANEMANN, Sérgio R. **Especialização na moderna gestão empresarial – logística empresarial.** Apostila da Escola de Novos Empreendimentos da UFRS, 1995.

GUIMARÃES, J.E.P. **A cal: Fundamentos e aplicações na engenharia civil**. 2.ed. revisada, atualizada e ampliada. São Paulo-SP: Pini, 2002.341p.

GURGEL, Floriano C.A. **Administração dos fluxos de materiais e produtos**. São Paulo-SP: Atlas, 1996.206p.

IBRACON. Vários autores. **Concreto: Ensino, pesquisa e realizações. Vol. 1**. 1. ed. revisada. São Paulo-SP: Geraldo C.Isaia, 2005.792p.

ISBERNER, A.W. **Properties of masonry cement mortars**. In: Designing engineering and constructing with masonry products. Houston, Gulf, 1969. p42 – 50 apud SABBATINI, F. H. Argamassas de Assentamento para Paredes de Alvenaria Resistente; Estudo Técnico ET-91. 2.ed.São Paulo: ABCP, 1998. 44p. apud JÚNIOR, Antônio Neves de Carvalho. Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico. Tese de Doutorado. Orientador: Prof. Paulo Roberto Gomes Brandão. Universidade Federal de Minas gerais, 2005.306p.

KOMAR, A. (Versão de I.Savin). **Building material and components** – M.IR Publishers-1979 – Moscow- União Soviética apud GUIMARÃES, J.E.P. A cal : Fundamentos e aplicações na engenharia civil 2ª ed. São Paulo: Editora Pini, 2002. 341p.

KOSKELA, Lauri. **Application of the new production philosophy to construction**. Technical Report # 72. Center for Integrated Facility Engineering, Department of Civil Engineering, Stanford University, 1992. 75p. Disponível em: <<http://www.leanconstruction.org/pdf/Koskela-TR72.pdf>> Acessado em: 15 jul. 2007.

LAMBERT, Douglas M.; STOCK, James R. **Strategic logistics management**. 3.ed., Chicago: Irwin, 1993. 862p.

LEAN INSTITUTE BRASIL. Disponível em: <[http://www.lean.org.br/bases.php?interno=thinking\\_vocabulario#91](http://www.lean.org.br/bases.php?interno=thinking_vocabulario#91)>Acessado em: 21 ago 2007.

LIMMER, C.V. **Planejamento, orçamento e controle de projetos e obras**. Rio de Janeiro-RJ: LTC,1997.225p.

MANUAL DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA – Associação brasileira de cimento Portland (ABCP). 104 p. Disponível em: <[www.comunidade-da-construcao.com.br](http://www.comunidade-da-construcao.com.br)> Acessado em: 30/07/2007.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P.J.M. **Concreto, estrutura , propriedades e materiais** . 1. ed. São Paulo-SP: Pini, 1994.573p.

MELHADO, S.B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: Aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. Tese de Doutorado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.294p.

MERLI, Georgio. **Comakership: a nova estratégia para os suprimentos**. Rio de Janeiro-RJ: Qualitymark, 1990.249p.

MONKS, Joseph. **Administração da Produção**. Trad.Lauro Santos Blandy. São Paulo, McGraw-Hill, p.402-434, 1987.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. Tradução Salvador E. Giammusso, 2.ed. São Paulo-SP: Pini, 1997.828p.

NOVAES, Antônio G. ALVARENGA, Antônio C. **Logística aplicada: Suprimento e distribuição física**. 2.ed.,São Paulo-SP:Pioneira,1994.268p.

NOVAES, A.G. Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação. 3.ed.Rio de Janeiro-RJ: CAMPUS, 2007.400p.

OHNUMA, Daniel. K., CARDOSO,Francisco F. **Modelo de processos para a gestão de subempreiteiros: Estudo de casos em empresas construtoras de edifícios**. Boletim Técnico, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2003. 26p. Disponível em: <[http://pcc2302.pcc.usp.br/Textos/2004/BT%20Daniel%20Ohnuma%20&%20Cardoso%20\(provis%C3%B3rio\).pdf](http://pcc2302.pcc.usp.br/Textos/2004/BT%20Daniel%20Ohnuma%20&%20Cardoso%20(provis%C3%B3rio).pdf)> Acessado em: 18 ag. 2007.

PIRES, S.R.I. **Gestão da cadeia de suprimentos e modelo do consórcio modular**. Revista de Administração da Universidade de São Paulo, v.33, n.3, p5-15, 1998.

REGATTIERI, C. E; SILVA, L. L. R. **Ganhos potenciais na utilização da argamassa industrializada**. Disponível em: <<http://www.comunidadeaconstrucao.com.br/comunidade/calandra.nsf/0/560FCD07CB7D537483256D49004C0CDA?OpenDocument&pub=T&proj=Novo&can=Argamassas&secao=ArtigosTecnicos>> Acessado em: 01 nov. 2006.

RENSBURG, J. J. J. et alii **Factors influencing the bond strength calcium silicate bricks and mortar**. Pretoria, Council for Scientific and Industrial Research, 1978. (CSIR Research Report 340) apud SABBATINI, F. H. Argamassas de Assentamento para Paredes de Alvenaria Resistente; Estudo Técnico ET-91. 2.ed.São Paulo: ABCP, 1998. 44p.apud CARVALHO JÚNIOR, Antônio Neves de. Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico. Tese de Doutorado. Orientador: Prof. Paulo Roberto Gomes Brandão. Universidade Federal de Minas gerais, 2005.306p.

RIBAS, Leonardo Calcagno; CARVALHO JÚNIOR, Antônio Neves de. **Ganhos no potencial produtivo através da substituição de argamassa de revestimento rodada em obra por industrializada em sacos**. In.: CD ROOM DOS ANAIS DO XXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP),Foz do Iguaçu-PR, 2007.

RIBAS, Leonardo Calcagno. **Trabalho final sobre metodologias de análise micro e macroestruturais da argamassa industrializada**. Disciplina Métodos de Instrumentação e análise da UFMG, lecionada por Paulo Brandão. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas – CPGEM. EE.UFMG, 2001.

RIBEIRO,C.C.PINTO,J.D.S.,STARLING,T.**Materiais de construção civil**.2ed. Belo Horizonte -MG: Editora UFMG,2002.102p.

RIBEIRO POEPCKE, Patrícia Keila. **Gerenciamento do ciclo de aquisição de materiais na produção de edifícios** - Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos-SP, 2006. 144p.

SABBATINI, F.H. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**; Estudo Técnico ET-91.2<sup>a</sup> ed. São Paulo: ABCP, 1998. 44p. apud. CARVALHO JÚNIOR, Antônio Neves. Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico. Tese de Doutorado. Orientador: Prof. Paulo Roberto Gomes Brandão. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2005. 306p.

SABBATINI, F.H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcário**. São Paulo-SP, 1984. Dissertação de Mestrado. EPUSP/DECC apud CINCOTTO et alii Argamassas de revestimento: Características, propriedades e métodos de ensaio (Publicação IPT 2378). 1ed. São Paulo-SP: IPT, 1995. 118p.

SABBATINI, F. H. **Argamassas**. Curso de Materiais de Construção Civil. Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1981. Notas de aula.

SILVA, A. F. P. **Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana**. 1<sup>a</sup> ed. São Paulo: Editora Pini, 1995. 152p.

SILVA, Fred B.; FABRÍCIO, Márcio M.; MASSETO, Leonardo T. **Mudanças conjunturais e desverticalização na indústria da construção de edifícios**. In: CD ROOM DOS ANAIS DO XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGERP), Niterói-RJ, 1998.

SILVA, Fred B; FABRÍCIO, Márcio M. **A força engenharia e projetos e a competitividade das empresas construtoras**. Trabalho de disciplina PCC832 – Tópicos de Racionalização na Construção de Edifícios. São Paulo, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1997, 56p.

SLACK, N.; CHAMBERS, S. HARLAND, C. HARRISON, A. OHNSTON, R. **Administração da produção**. São Paulo: ATLAS, 1999 apud RIBEIRO POEPCKE, Patrícia Keila. Gerenciamento do ciclo de aquisição de materiais na produção de edifícios - Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos-SP, 2006. 144p.

SOUZA, Ana R. **O projeto para produção das lajes racionalizadas de concreto armado de edifícios**. Dissertação de Mestrado-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996. 367p.

SOUZA, R., MEKBEKIAN, G., FRANCO, L. S., BARROS, M. M. S. B., ASSAHI, P. N., UEMOTO, K. L. **Qualidade na aquisição de materiais e execução de obras**. 1ed. São Paulo-SP: Pini, 1996. 275p.

SPBERTELSEN, S.; NIELSEN, J. **Just-In-Time logistics in the supply of building materials**. In. FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONSTRUCTION INDUSTRY DEVELOPMENT: Building the future. Singapore, december, 1997.

STERMAN, J. D. **System dynamics modeling for Project management**. Report MIT – Sloan, Cambridge, MA, 1992 apud VIEIRA, H.F. **Logística aplicada à construção civil: como melhorar o fluxo de produção nas obras**. 1.ed. São Paulo: Pini, 2006.178p.

SZAJUBOK, Nadia Kelner; ALENCAR, Luciana Hazin; ALMEIDA, Adiel Teixeira de. **Modelo de gerenciamento de materiais na construção civil utilizando avaliação multicritério**. Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-6000200010&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-6000200010&script=sci_arttext&tlng=pt)>Acessado em: 15 set. 2007.

WALSH, k.D. et alii **Strategic positioning of inventory to match demand in a capital projects supply chain**. Journal of construction engineering and management – Asce, v.130, n.6,818-826p.,2004 apud SZAJUBOK, Nadia Kelner; ALENCAR, Luciana Hazin; ALMEIDA, Adiel Teixeira de. **Modelo de gerenciamento de materiais na construção civil utilizando avaliação multicritério**. Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-6000200010&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-6000200010&script=sci_arttext&tlng=pt)>Acessado em: 15 de setembro de 2007.

VIEIRA, H. F. **Logística aplicada à construção civil: Como melhorar o fluxo de produção nas obras**. 1. Ed. São Paulo-SP: Pini, 2006.178p.

VOROBIEV, V. **Materiaux de construction** (capítulo Chaux). Moscow-Rússia: Edition MIR, 1967 apud GUIMARÃES, J.E.P. **A cal: Fundamentos e aplicações na engenharia civil** 2ª ed. São Paulo-SP: Pini, 2002. 341p.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)