UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

CRISTINA CÂNCIO TRIGO

Pré-fabricados em argamassa armada:
material, técnica e desenho de componentes
desenvolvidos por Lelé

São Paulo
2009

CRISTINA CÂNCIO TRIGO

Pré-fabricados em argamassa armada:
material, técnica e desenho de componentes desenvolvidos por Lelé

Dissertação apresentada à Faculdade de Arquitetura da
Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em
Arquitetura e Urbanismo.

Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cláudia Terezinha de Andrade Oliveira

São Paulo
2009

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

E-MAIL: trigocris@hotmail.com

T828p Trigo, Cristina Cândia
Pré-fabricados em argamassa armada: material,
técnica e desenho de componentes desenvolvidos por Lelé/
Cristina Cândia Trigo. --São Paulo, 2009.
162 p. : il.

Dissertação (Mestrado - Área de Concentração: Tecnologia
de Arquitetura) - FAUUSP.
Orientadora: Cláudia Terezinha de Andrade Oliveira

1.Processos pré-fabricados 2.Argamassa 3.Desenho
4. Lima, João Filgueiras I.Título

CDU 69.057.1

Aos meus pais,
Sandra e Reginaldo

Agradecimentos

Aos meus pais, Sandra e Reginaldo, pelo amor incondicional, carinho e total apoio, sem os quais eu não poderia ter me dedicado a esse trabalho. Minha eterna gratidão a tamanha dedicação.

A meu marido, Lucas, pelo carinho, amor, compreensão e cumplicidade de todo dia.

Ao meu irmão, Xande, pelo seu exemplo e pelas ajudas e conselhos quando muito precisei.

À querida orientadora, Prof^a. Cláudia, por seu envolvimento e sua excelente orientação

A Lelé, por sua lição de vida materializada em Arquitetura e sua generosidade em disponibilizar seu tempo e saber para esta pesquisa.

À toda equipe do CTRS, que me recebeu sempre com muita boa vontade e presteza, em especial a Eugênia e Clícia (secretárias), Tomaz (pré-fabricados), Waldir (metalurgia), André e Ana Amélia (arquitetos), Filipe (estagiário) e Edvan (produção).

À Nadja (biblioteca) e Silvestre (produção), da DESAL, pela colaboração ao acesso às informações.

Aos amigos Iuri, Agnagildo e Ricardo, pela amizade e contribuição com seus conhecimentos técnicos.

Aos amigos e parentes tão queridos, pela força e apoio carinhoso de sempre.

E aprendi que se depende sempre
De tanta, muita, diferente gente
Toda pessoa sempre é as marcas
Das lições diárias de outras tantas pessoas

E é tão bonito quando a gente entende
Que a gente é tanta gente onde quer que a gente vá
E é tão bonito quando a gente sente
Que nunca está sozinho por mais que pense estar

É tão bonito quando a gente pisa firme
Nessas linhas que estão nas palmas de nossas mãos
É tão bonito quando a gente vai à vida
Nos caminhos onde bate, bem mais forte o coração

Gonzaguinha
Caminhos do Coração

Pré-fabricados em argamassa armada: material, técnica e desenho de componentes desenvolvidos por Lelé

Esta pesquisa objetiva documentar e analisar informações sobre projetos e processos desenvolvidos por João Filgueiras Lima, Lelé, para componentes pré-fabricados em argamassa armada sob o enfoque do desempenho nas fases de produção, montagem e uso final. A natureza descritiva desta pesquisa permitiu a sistematização do conhecimento nela reportado e analisado com base no estudo de documentos históricos e trabalhos técnicos, observação e entrevistas semi-estruturadas e livres. A escolha dos componentes que são objeto de estudo da dissertação (viga da escola e casca da creche) se deu com base na adequação do desenho ao seu material e à sua técnica construtiva e a oportunidade de evolução do projeto. Os componentes são analisados qualitativamente, com base nos seguintes requisitos de desempenho relativos às suas funções no edifício: desempenho estrutural, construtibilidade, adequação ao uso final. Destacam-se as interfaces entre os componentes de argamassa armada analisados e os demais componentes, elementos e subsistemas da construção.

Palavras-chave: Pré-fabricação / Argamassa armada / Desenho / Componentes / Lima, João Filgueiras / Lelé

Precast on ferrocement: material, technique and design of components developed by Lelé

This research aims to document and analyze information stemmed from projects and processes developed by João Filgueiras Lima, Lelé, to examine the performance stages of production, assembly and final use of the precasted components on ferrocement. The descriptive nature of this research led to the systematization and analysis of the knowledge reported on historical documents and technical works, observation, semi-structured and unstructured interviews. The election of the object of study (the beam of the school and shell of the nursery school), was based on the adequacy of the design to the material employed and to the constructive technique applied as well as on the opportunity of evolution of the project. The components are qualitatively analyzed, based on the following performance requirements: structural performance, constructibility and adequacy for final use. Interfaces between the components of ferrocement analyzed and other components, subsystems and elements of construction are also explored.

Key-words: Precast / Ferrocement / Design / Components / Lima, João Filgueiras / Lelé.

Lista de Figuras

Capítulo 2

Figura 1	À esquerda: Prédio de habitação da Colina, Brasília. À direita: Edifício da Disbrave, Brasília.....	32
Figura 2	À esquerda: Secretaria do CAB, Salvador. À direita: Abrigo de ônibus, Salvador.....	33
Figura 3	À esquerda: Componentes da escada drenante. À direita: Componente para contenção de encostas.....	34
Figura 4	À esquerda: Escola em Abadiânia. À direita: Imagem do manual ilustrado para construção da escola.....	34
Figura 5	Escola no Rio de Janeiro.....	36
Figura 6	À esquerda: Anteprojeto da Creche. À direita: Passarela no Iguatemi, Salvador.....	37
Figura 7	À esquerda: CTRS, pátio de carga e descarga. À direita: Oficina de argamassa armada.....	39
Figura 8	Planta do CTRS.....	41

Capítulo 3

Figura 1	Planta da Oficina de Pré-moldados (argamassa armada) do CTRS. Fonte: Redesenho da autora com base em planta cedida pelo CTRS.....	52
Figura 2	Vistas da usina de argamassa armada do CTRS em Salvador/BA. À esquerda: tanques de cura; ao centro : preparação das fôrmas; à direita: pátio de estoque e transporte.....	52
Figura 3	Fluxo de produção de componentes pré-moldados.....	54
Figura 4	À esquerda: Fôrma simples. À Direita: fôrma dupla.....	54
Figura 5	À esquerda: Limpeza da fôrma. À direita: Aplicação de desmoldante.....	55
Figura 6	Máquina para desbobinamento e calandragem de fios – “endireitadeira”.....	55
Figura 7	Máquina para desbobinamento e calandragem de tela – “endireitadeira”.....	56
Figura 8	Equipamento de corte de fios (à esquerda) e de tela (à direita) – “cortadeira”...	56
Figura 9	Equipamento de dobra de tela – “dobradeira”.....	57
Figura 10	Equipamento de dobra de fios – “dobradeira”.....	57
Figura 11	À esquerda: Montagem da armadura. À direita: Armadura soldada.....	57
Figura 12	À esquerda: Colocação de espaçadores. À direita: Armadura com espaçadores.....	59
Figura 13	À esquerda: Fibra de aço picada. À direita: Fibra de aço picada utilizada no CTRS.....	60
Figura 14	À esquerda: Colocação da armadura na fôrma. À direita: Fechamento de	

	fôrma dupla. Fonte:.....	60
Figura 15	Fechamento / travamento de fôrma dupla..	61
Figura 16	Argamassadeira (à esquerda) e Cláudia Oliveira (direita).....	62
Figura 17	Materiais: pó de pedra (esquerda) e vermiculita (à direita)..	62
Figura 18	À esquerda: recipiente de pré-mistura. À direita: controlador de dosagem.	63
Figura 19	À esquerda: colocação do cimento. À direita: Transporte por elevação até a misturadora.....	63
Figura 20	À esquerda: Interior da misturadora. À direita: Colocação das fibras de aço (quando houver).....	63
Figura 21	À esquerda: recipiente pós-misturador. À direita: Silo.....	63
Figura 22	À esquerda: Deslocamento da fôrma e mesa vibratória. À direita: Lançamento e adensamento.....	64
Figura 23	Lançamento e adensamento.	64
Figura 24	Enchimento de fôrma vertical.	65
Figura 25	Limpeza do ambiente..	65
Figura 26	À esquerda: Tanques de cura. À direita: Colocação de fôrmas no tanque.....	66
Figura 27	Colocação de fôrmas horizontais no tanque.	67
Figura 28	Colocação de fôrmas verticais no tanque..	67
Figura 29	À esquerda: Abertura da fôrma. À direita: Desfôrma da peça	68
Figura 30	À esquerda: Retirada da tampa da fôrma. À direita: Içamento da peça desmoldada.....	68
Figura 31	Desmolde de fôrma vertical..	68
Figura 32	À esquerda: Fôrmas recém retiradas do tanque de cura. À direita: Desmolde de fôrma horizontal simples.....	69
Figura 33	Peças recém desmoldadas.....	69
Figura 34	Peças que necessitam de reparo.....	70
Figura 35	Estoque em <i>pallets</i> ..	71
Figura 36	À esquerda: Estoque de <i>pallet</i> . À direita: Armazenagem para transporte.	71
Figura 37	Dispositivo de içamento de peças.....	72
Figura 38	Carregamento do caminhão..	72
Figura 39	Arrumação das peças na carroceria.	72

Capítulo 4

Figura 1	Simulação do movimento do ar no ambiente com base para as soluções técnicas que melhoram o conforto térmico e a salubridade dos ambientes internos.....	76
Figura 2	Maloca africana. Entendimento de como o material natural usado (folhas e fibras vegetais) podem ser usados da maneira mais eficiente na conformação e construção dos espaços..	76
Figura 3	Creche em Salvador..	77

Figura 4	À esquerda: perspectiva de edifício. À direita: detalhamento ilustrado das soluções de conforto térmico para um ambiente.....	78
Figura 5	À esquerda: foto aérea da montagem do terraço. À direita: foto do detalhe da fixação das peças pré-fabricadas com o fuste metálico.....	79
Figura 6	Imagem do manual ilustrado para construção da escola descrevendo as técnicas para locação da obra.....	80

Capítulo 5

Figura 1	À esquerda: escola em Beirú/Tancredo Neves – Salvador. À direita: Creche em Salvador.	90
Figura 2	À esquerda: Escola em San Martin – Salvador. À direita: Creche em Bonjoá – Salvador.	91
Figura 3	Orientação preferencial para implantação do edifício..	91
Figura 4	Canaletas de drenagem.	92
Figura 5	Elementos da infra-estrutura: Sapata, cálice e pilar.....	93
Figura 6	À esquerda: Cálice de fundação de Goiás. À direita: Cálice de fundação da FAEC.....	93
Figura 7	Montagem do pilar.....	94
Figura 8	Piso do segundo pavimento do edifício da pós-graduação da faculdade de arquitetura da UFBA..	95
Figura 9	Parede dupla com instalações.....	95
Figura 10	Esquema de instalação elétrica.....	96
Figura 11	À esquerda: Escolas - Croqui em corte do detalhe da canaleta de encaixe da divisória. À direita: Creches - Canaletas que fixam as divisórias e recebem as instalações.	97
Figura 12	Creche: Canaletas metálicas fixadas nas cascas (à esquerda) e cruzando as cascas (à direita).	97
Figura 13	Seção do pilar. Topo típico dos pilares da FAEC e do CIAC's..	98
Figura 14	Montagem para parede simples e de parede dupla..	98
Figura 15	Montagem das divisórias..	99
Figura 16	Perspectiva da viga (V2).....	100
Figura 17	À esquerda: Componentes telha capa (cinza escuro) e telha canal (cinza claro). Ao centro: Protótipo dos sheds da cobertura. À direita: Componentes para isolamento térmico da cobertura.....	100
Figura 18	Corte esquemático da cobertura da escola. Sem escala.	101
Figura 19	Foto da Cobertura da Escola.	102
Figura 20	Interface viga-cobertura de escola do CEDEC semelhante a da FAEC.	102
Figura 21	Planta e cortes de escola de 4 salas e 1 pavimento..	103
Figura 22	Corte da creche – Anteprojeto.	104
Figura 23	Perspectiva da casca e capa da creche.....	104
Figura 24	Planta e cortes de creche.	105

Figura 25	Fachadas de creche.	106
-----------	--------------------------	-----

Capítulo 6

Figura 1	À esquerda: Escola de Abadiânia-Go. À direita: Escola da FAEC em Beirú, Salvador-Ba.....	111
Figura 2	Modelos de viga, sem escala.....	112
Figura 3	Escola de Abadiânia – Vista lateral.....	113
Figura 4	Esquema da viga e proporção econômica para posicionamento dos apoios. ...	113
Figura 5	Modulação do edifício.....	114
Figura 6	Perspectiva esquemática do aparelho metálico para união das duas partes da viga.....	115
Figura 7	À esquerda: Lçamento da viga. À direita: Escoramento da viga..	115
Figura 8	À esquerda: Regulagem do parafuso. Fonte: imagem cedida por Lelé. À direita: Detalhe do encontro das partes do pilar. Edifício da Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura da UFBA – Salvador.....	116
Figura 9	Perspectiva explodida do esquema da armadura difusa (tela) e da armadura complementar (barras) da viga.....	117
Figura 10	Perspectiva explodida dos componentes que se relacionam na interface viga-pilar..	118
Figura 11	Topo típico dos pilares da FAEC e do CIAC's.....	118
Figura 12	Quadro comparativo da capacidade de rendimento de diferentes seções. Sem escala.....	121
Figura 13	Seções das vigas V1, V2 e V3.....	123
Figura 14	À esquerda: destaque do topo da V1. À direita: destaque à espessuras das partes inferiores da V1 e V3..	124
Figura 15	Desenho esquemático de molde superior de viga - para enchimento de fôrma. À esquerda: V2. À direita: V3.....	125
Figura 16	Transporte e montagem - Abadiânia.....	126
Figura 17	Montagem de escola. Inserção das lajes de cobertura..	127
Figura 18	Elevação e Vista Superior da V1.	127
Figura 19	Centro do vão/união das partes da viga: contra-flexas..	128
Figura 20	À esquerda: Foto do perfil sob a viga no encontro do pilar. À direita: Desenho da seção do perfil metálico com e sem painel de vedação.	129
Figura 21	Creche em Ogunjá, Salvador.....	130
Figura 22	Creche em Bonjuá - Salvador.....	131
Figura 23	Corte da creche. Sem escala.....	131
Figura 24	Cortes dos quatro tamanhos de cascas.....	132
Figura 25	Catenária.....	134
Figura 26	Esquema de esforços horizontais resultantes nas cascas da creche.....	134
Figura 27	Extremidade do edifício: casca e tirante..	134
Figura 28	Dieste: À esquerda: cascas autoportantes em cerâmica armada. À direita:	

	obra de Eládio Dieste, CEASA em Porto Alegre, RS.	136
Figura 29	Seção da casca na região do pilar. S/ escala.	138
Figura 30	União das partes das cascas (nervura inferior).....	138
Figura 31	Croqui e foto de montagem do edifício..	139
Figura 32	Elementos da casca.	139
Figura 33	Nervuras inferior (à esquerda) e superior (à direita) das cascas.....	140
Figura 34	À esquerda: Creche do Bonocô – Salvador. À direita: Capa da Casca.....	141
Figura 35	Componentes do shed: de abertura (à esquerda); componente inferior (centro); capa (à direita).....	141
Figura 36	Imagens da casca sem e com abertura.	141
Figura 37	Seção esquemática de casca de 3,125m com shed. Sem escala.....	142
Figura 38	Perfis metálicos e instalações.....	142
Figura 39	Cortes das cascas – perfis de instalações com divisória.	143

Lista de Siglas

CEPLAN	Centro de Planejamento (da Universidade de Brasília)
CEDEC	Centro de Desenvolvimento de Equipamentos Urbanos (São Paulo)
CIAC's	Centros Integrados de Apoio a Criança
CIB	International Council for Research and Innovation in Building and Construction (antigo Conseil International du Bâtiment)
CTRS	Centro de Tecnologia da Rede Sarah
DESAL	Companhia de Desenvolvimento Urbano de Salvador
EESC-USP	Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo
EMURB	Empresa Municipal de Urbanização (São Paulo)
FAEC	Fábrica de Equipamentos Comunitários (Prefeitura de Salvador)
FAU-USP	Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo
ICC	Instituto Central de Ciências da UnB
RENURB	Companhia de Renovação Urbana de Salvador
UnB	Universidade de Brasília.

Argamassa Armada: Um tipo particular de concreto armado, composto por argamassa de cimento e agregado miúdo e armadura difusa, em geral constituída de telas de aço de malhas de pequena abertura, distribuídas em toda a seção transversal da peça. (HANAI, 1992)

Componente: Unidade integrante de determinado elemento do edifício, com forma definida e destinada a cumprir funções específicas (exemplos: bloco de alvenaria, telha, folha de porta) (ABNT, 2008)

Crítérios de desempenho: Especificações quantitativas dos requisitos de desempenho, expressos em termos de quantidades mensuráveis, a fim de que possam ser objetivamente determinados (ABNT, 2008)

Desempenho: Comportamento em uso de um edifício e de seus sistemas (ABNT, 2008)

Durabilidade: Capacidade do edifício ou de seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas, até um estado limite de utilização (ABNT, 2008)

Elemento: Parte de um sistema com funções específicas. Geralmente é composto por um conjunto de componentes (exemplo: parede de vedação de alvenaria, painel de vedação pré-fabricado, estrutura de cobertura) (ABNT, 2008)

Especificações de desempenho: Conjunto de requisitos e critérios de desempenho estabelecido para o edifício ou seus sistemas. As especificações de desempenho são uma expressão das funções exigidas do edifício ou de seus sistemas e que correspondem a um uso claramente definido; no caso desta Norma referem-se ao uso habitacional de edifícios de até cinco pavimentos (ABNT, 2008)

Exigências do usuário: Conjunto de necessidades do usuário do edifício habitacional a serem satisfeitas por este (e seus sistemas) de modo a cumprir com suas funções (ABNT, 2008)

Industrializar: Produzir em grande série, de forma contínua, distribuída uniformemente por um longo período de tempo. São pois indispensáveis as noções de repetição e aquela conseqüente de organização. (Bruna, 1978)

Manutenção: Conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação e de seus sistemas constituintes de atender as necessidades e segurança dos seus usuários (ABNT, 2007)

Manutenabilidade: Grau de facilidade de um sistema, elemento ou componente em ser mantido ou recolocado no estado no qual pode executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sobre condições determinadas, procedimentos e meios prescritos (ABNT, 2007)

Método construtivo: Conjunto de técnicas construtivas interdependentes e adequadamente organizadas, empregado na construção de uma parte (sub-sistema ou elemento) de uma edificação. (SABATINI, 1989 apud MARCELLINO, 1991)

Norma de desempenho: Conjunto de requisitos e critérios estabelecidos para um edifício habitacional e seus sistemas, com base em exigências do usuário, independentemente da sua forma ou dos materiais constituintes (ABNT, 2008)

Norma prescritiva: Conjunto de requisitos e critérios estabelecidos para um produto ou um procedimento específico, com base na consagração do uso ao longo do tempo (ABNT, 2008)

Pré-fabricados: Elemento que é executado fora do local de utilização definitivo da estrutura, produzido em usina ou instalações análogas, que disponham de pessoal e instalações laboratoriais permanentes para o controle de qualidade, que deve abranger pelo menos as seguintes etapas da produção: fôrmas, armadura, mistura e lançamento do concreto, armazenamento, transporte e montagem. (RODRIGUES, 1991)

Pré-moldado leve: Componente em argamassa (armada ou não) de micro concreto que possa ser transportado, manuseado e montado manualmente. (Painéis, lajotas, soleiras, peitoris, brises, contra-marcos). (ROMERO, 2000)

Pré-moldados: Elemento que é executado fora do local de utilização definitivo da estrutura, produzido em condições menos rigorosas de controle de qualidade, sem a necessidade de pessoa, laboratório e instalações congêneres próprias. (RODRIGUES, 1991)

Processo construtivo: Organizado e bem definido modo de se construir um edifício. Um específico processo construtivo caracteriza-se pelo seu particular conjunto de métodos utilizados na construção da estrutura e das vedações do edifício (invólucro). (SABATINI, 1989 apud MARCELLINO, 1991)

Projeto orientado ao desempenho (tradução livre da expressão *Design Based Building*): projeto deve ser pensado em função das qualidades que o componente e/ou edifício devem apresentar, independente da maneira como são construídos.

Racionalização: conjunto de ações reformadoras que se propõe substituir práticas

rotineiras convencionais por recursos e métodos baseados em raciocínio sistemático, visando eliminar a casualidade nas decisões (ROSSO, 1980).

Requisitos de desempenho: Condições que expressam qualitativamente os atributos que o edifício habitacional e seus sistemas devem possuir, a fim de que possam satisfazer às exigências do usuário (ABNT, 2008)

Sistema construtivo: combinação de um conjunto de materiais, equipamentos e mão-de-obra, empregados segundo determinadas técnicas e ordenados racionalmente para a realização de um objeto com uma determinada função. Existe uma diversidade de alternativas para os sistemas construtivos na produção de uma edificação, os quais, em função das características do processo de produção, podem ser classificados como artesanais, tradicionais, racionalizados ou industrializados, conforme a intensidade de utilização relativa de equipamentos e mão-de-obra.

Sistema Construtivo: Processo construtivo de elevados níveis de industrialização e organização constituído por um conjunto de elementos e componentes interrelacionados e completamente integrados pelo processo. (SABATINI, 1989 apud MARCELLINO, 1991)

Sistemas construtivos: Os sistemas construtivos são constituídos por subsistemas, identificados segundo suas funções na organicidade de uma edificação: subsistemas estrutural, de vedações, de instalações - água fria, água quente, esgoto, eletricidade, telefonia, etc. - e outros.

Sistema: 1. A maior parte funcional do edifício. Conjunto de elementos e componentes destinados a cumprir com uma macro função que a define (exemplo: fundação, estrutura, vedações verticais, instalações hidrossanitárias, cobertura) (ABNT, 2008) **2.** Conjunto de elementos entre os quais haja alguma relação, disposição das partes ou dos elementos de um todo, coordenados entre si e que formam estrutura organizada (Aurélio, 1993)

Subsistema estrutural: conjunto de componentes e elementos que são arranjados de forma a dotar o sistema construtivo, e por conseguinte, o próprio objeto a ser construído, de um conjunto de condições necessárias para garantir a manutenção das funções dos diversos subsistemas durante a sua vida útil. Ao subsistema estrutural é reservada a função de assegurar resistências global e localizada e impedir deformações e deslocamentos excessivos que poderiam comprometer a integridade da construção.

Técnica construtiva: Conjunto de operações empregadas por um particular ofício para produzir parte de uma construção. (SABATINI, 1989 apud MARCELLINO, 1991)

Técnica: todo conjunto de conhecimentos desenvolvidos com a finalidade de serem aplicados na solução de problemas da ação, ou seja, no que se chama comumente de

"saber fazer" (ZAGOTTIS, 1987).

Tecnologia construtiva: Conjunto sistematizado de conhecimentos científicos e empíricos, pertinentes a um modo específico de se construir um edifício (ou parte) e empregados na criação, produção e difusão deste modo de construir. (SABATINI, 1989 apud MARCELLINO, 1991)

Tecnologia: Todo conjunto de técnicos, equipamentos e instalações, isto é, os meios que permitem transformar insumos em produtos, isto é, matéria prima em edificações (ROSSO, 1980). Conjunto sistematizado de conhecimentos empregados na criação, produção e difusão de bens e serviços. (SABATINI, 1989 - apud MARCELLINO, 1991)

Usuário: Pessoa que ocupa o edifício habitacional (ABNT, 2008)

Vida útil: Período de tempo durante o qual o edifício, ou seus sistemas mantêm o desempenho esperado, quando submetidos apenas às atividades de manutenção pré-definidas em projeto (ABNT, 2008)

Vida útil de projeto: Período estimado de tempo, em que um sistema é projetado para atender aos requisitos de desempenho estabelecido nesta Norma, desde que cumprido o programa de manutenção previsto no manual de operação, uso e manutenção (3.19). Vida útil requerida para o edifício ou para seus sistemas, pré-estabelecida na etapa de projeto (ABNT, 2007)

Vida útil requerida: Vida útil definida para atender às exigências do usuário (a ser estabelecida em projeto ou em especificações de desempenho) (ABNT, 2007)

Capítulo 1 – Introdução	21
1.1. Contexto histórico	21
1.2. Justificativa	25
1.3. Objeto	26
1.4. Objetivos	26
1.5. Metodologia	26
1.6. Estruturação do trabalho	29
 Capítulo 2 – Lelé e a pré-fabricação em argamassa armada	 30
2.1. As primeiras experiências de Lelé com pré-fabricação	30
2.2. As experiências com argamassa armada	33
2.3. Centro de Tecnologia da Rede Sarah	39
2.4. Mercado atual da construção pré-fabricada em argamassa armada	43
2.4.1. Entrave econômico	43
2.4.2. Entrave social: Investimento em mão-de-obra especializada	44
2.4.3. Entrave cultural: Monotonia e rigidez estética	45
2.4.4. Entrave tecnológico: Flexibilidade e durabilidade	47
2.5. Considerações sobre o capítulo	47
 Capítulo 3 – A argamassa armada	 48
3.1. Definição e propriedades do material	48
3.2. Organização da Oficina de Argamassa Armada	51
3.3. Concepção das fôrmas	53
3.4. Preparação das fôrmas	55
3.5. Preparação das armaduras	55
3.6. Montagem das armaduras nas fôrmas	60
3.7. Preparação da argamassa	61
3.8. Lançamento e adensamento da argamassa	64
3.9. Cura	65
3.10. Desfôrma	67
3.11. Vistoria de controle de qualidade e reparos	69
3.12. Transporte	70
3.13. Custo de produção	72

3.14. Considerações sobre o capítulo	73
Capítulo 4 – Desenho e desempenho	74
4.1. Desenho	74
4.1.1. Forma como resultado de um processo	74
4.1.2. Lelé e a questão do desenho	77
4.2. Desempenho	80
4.2.1. Projeto orientado ao desempenho	80
4.2.2. Lelé e a questão do desempenho	84
4.3. Considerações sobre o capítulo	87
 Capítulo 5 – Sistema construtivo	 89
5.1. Sistema construtivo	89
5.1.1. Implantação	90
5.1.2. Modulação	91
5.1.3. Infra-estrutura	92
5.1.4. Piso	94
5.1.5. Instalações hidráulicas	95
5.1.6. Instalações elétricas	96
5.1.7. Pilares	97
5.1.8. Divisórias	98
5.2. Sistema de Cobertura da Escola	99
5.2.1. Vigas	99
5.2.2. Cobertura	100
5.2.3. Plantas, cortes e fachadas da escola	103
5.3. Sistema de Cobertura da Creche	104
5.3.1. Cobertura	104
5.3.2. Plantas, cortes e fachadas da creche	105
5.4. Considerações sobre o capítulo	106
 Capítulo 6 – Componentes	 108
6.1. A escolha dos componentes	108
6.2. A escolha dos requisitos de desempenho para análise	109
6.3. Escolas em argamassa armada – Estudo da viga	111
6.3.1. Desempenho estrutural	112
6.3.1.1. Modulação	112

6.3.1.2. Ligação viga- viga	114
6.3.1.3. Ligação viga-pilar	117
6.3.1.4. Estudo das seções	120
6.3.1.5. Evolução da seção	123
6.3.2. Construtibilidade	124
6.3.2.1. Moldagem	124
6.3.2.2. Transporte e montagem	125
6.3.3. Adequação ao uso final	126
6.3.3.1. Interface da viga com a drenagem de águas pluviais	126
6.3.3.2. Interface da viga com instalações elétricas	128
6.4. Creches em argamassa armada – Estudo da casca de cobertura	129
6.4.1. Desempenho estrutura	130
6.4.1.1. Geometria da peça	130
6.4.1.2. Arranjo estrutural das cascas	133
6.4.1.3. Ligação casca-pilar e casca-casca	137
6.4.2. Construtibilidade	138
6.4.2.1. Transporte e montagem	138
6.4.3. Adequação ao uso final	140
6.4.3.1. Conforto ambiental	140
6.4.3.2. Interface cascas-instalações	142
6.4.3.3. Interface cascas-parede de vedação	143
6.5. Considerações gerais sobre requisitos	143
6.5.1. Comportamento ao fogo	144
6.5.2. Estanqueidade	145
6.5.3. Manutenabilidade e durabilidade	146
6.6. Considerações sobre o capítulo	149
Capítulo 7 – Considerações finais	152
Bibliografia	157

Introdução

1.1. Contexto histórico

Apesar da Construção Civil brasileira ainda apresentar um uso intensivo de mão-de-obra não especializada e métodos construtivos artesanais, são notáveis os avanços tecnológicos no que diz respeito a materiais, suas técnicas de aplicação e controle do processo de produção da construção. A industrialização da Construção Civil no sub-setor de edificações vem se aprimorando, desenvolvendo e experimentando tecnologias, como por exemplo, pré-fabricados leves a base de argamassas de cimento Portland. Como exemplo de pré-fabricados delgados tem-se a argamassa armada que, como afirma Campos (2002), teve grande importância na história da industrialização da construção civil no Brasil:

O advento das grandes fábricas de sistemas e componentes construtivos empregando a argamassa armada¹ nas décadas de 80 e 90, representa uma das experiências mais relevantes e reconhecidas no campo da industrialização da construção no país, quase única em termos internacionais.

Inegavelmente, um dos responsáveis pela difusão das experiências no campo da industrialização a que se refere Campos (2002) e que se notabilizou pelas soluções criativas da argamassa armada foi o arquiteto João Filgueiras Lima, o Lelé.

Uma das aplicações de maior destaque da argamassa armada defendida por especialistas no tema, incluindo Lelé, é a produção de componentes e elementos com função estrutural. Em entrevista à autora (2006) o arquiteto afirmou: “Eu vejo

¹ “Os primeiros relatos sobre este material remontam ao final dos anos 1840, quando um engenheiro francês chamado Lambot começa a fazer pesquisas com a argamassa para construir embarcações. Desde que o concreto surgiu, a argamassa veio paralelamente, porque usa os mesmos ingredientes. Só que em vez de usar uma armação específica como o concreto, usa uma armação difusa, que torna o material mais homogêneo” (LIMA, 2004).

um potencial enorme na argamassa armada como estrutura, que o Nervi² chegou a explorar...”.Os estudos e experiências práticas com a argamassa armada desenvolvidos por HANAI (1981); CAMPOS (1989); BENTES (1992) sugerem que o material apresenta um grande potencial que merece por ser explorado.

Desde suas aplicações seminais, o emprego da argamassa tem se mostrado muito versátil, podendo ser usada, por exemplo, em processos altamente mecanizados como também em processos rudimentares, com uso intensivo de mão de obra. Em meados do século XX, o engenheiro italiano Pier Luigi Nervi desenvolveu e deu visibilidade ao material. No Brasil, a Escola de Engenharia de São Carlos dedicou-se ao estudo desta tecnologia a partir da década de 60. Como já ressaltado, estes estudos encontraram em Lelé, oportunidade de aplicação em escala industrial de maneira criativa e confiável.

Considerado um dos maiores arquitetos brasileiros da contemporaneidade, Lelé tornou-se também referência internacional depois do Grande Prêmio da Primeira Bienal de Arquitetura e Engenharia de Madrid pelo projeto da unidade do Sarah em Salvador, em 1998. Representou o Brasil na Bienal Internacional de Veneza, em 2000 e mais recentemente, em 2008, recebeu o prêmio “Reconhecimento Setorial” oferecido pela PINI.

Em 1979, trabalhando para a prefeitura de Salvador, Lelé aplicou a técnica da argamassa armada industrializada em obras de saneamento básico. Depois levou essa tecnologia para o Rio de Janeiro, onde fez uma série de escolas. Anos depois, volta ao governo de Salvador e, na Fábrica de Equipamentos Comunitários (FAEC), construiu creches e mais escolas, dentre outras obras. Sua trajetória está marcada com diversas interrupções do processo por motivos políticos, por descontinuidades governamentais. Foi, entretanto, com o Centro de Tecnologia da Rede Sarah (CTRS) que sua arquitetura pré-fabricada pôde ser implantada na plenitude da sua concepção, com conceitos e experiências de racionalização da construção mais maduros. Essa busca do novo e do inovador com base na experiência própria era também compartilhada por outros grandes projetistas como Vilanova Artigas que

² NERVI, Pier Luigi. *Contruire correttamente: caratteristiche e possibilità delle strutture cementizie armate*. Milano: U. Hoepli, 1955. 117p.

declarou que “esta procura de racionalidade não tem fim, e nos mantém em constante experimentação, a experimentação específica das artes é também a que é privativa da ciência e da tecnologia aplicadas à arte de construir” (ARTIGAS, 1981 *apud* PEIXOTO, 1996).

A busca pela racionalização de cada fase do processo construtivo pelas empresas da Construção Civil é uma das formas encontradas para aumentar a produtividade e melhorar o desempenho do processo construtivo e do produto diante de um mercado competitivo. Além da preocupação com a concorrência, a exigência de qualidade por parte do usuário vem aumentando, este mais consciente das suas necessidades e direitos a partir da publicação do Código de Defesa do Consumidor em 1990 (Lei Federal n.8.078).

A opção por industrializar, no entanto, implica numa reflexão frente ao projeto, exigindo muita organização e planejamento. O projeto então responde a questões relativas a todo o processo da construção industrializada: fabricação, montagem, uso e manutenção. No caso da arquitetura de Lelé, seus desenhos são resultados de cada material, método, processo e sistema construtivo adotado, e o detalhe das suas peças exprime o permanente aprimoramento dos processos construtivos da obra. Os desenhos chegam ao detalhe e revelam como se resolvem os encontros, as interfaces entre os componentes de um mesmo subsistema e entre subsistemas do edifício. Pode-se entender que seu projeto está empiricamente orientado ao desempenho.

Na Construção Civil voltada à produção de edifícios, o ato de *projetar orientado ao desempenho* significa conceber o edifício em função das qualidades que este deve apresentar e das funções que deve desempenhar para atender as necessidades dos usuários desse edifício, isto se dá independente da maneira como são construídos; ou seja, significa pensar e trabalhar em termos dos fins, e não dos meios³.

³ “The performance approach is the practice of thinking and working in terms of ends rather than means. It is concerned with what a building is required to do, and not with prescribing how it is to be constructed” (Gibson, 1982).

O conceito de *projeto orientado ao desempenho*⁴, como compreendido e aplicado atualmente, foi inicialmente sistematizado pelos trabalhos desenvolvidos no Centre Scientifique et Technique du Bâtiment - CSTB por BLACHÉRE (1966) e no Conseil International du Bâtiment – CIB5 (GIBSON, 1982).

O CIB é uma instituição que objetiva estimular e facilitar a cooperação internacional e troca de informações entre institutos públicos ou privados de educação e de pesquisa ligados à Construção Civil de edificações. Com uma postura pró-ativa, cada comissão de trabalho do CIB está relacionada a um domínio de conhecimento na área da construção de edifícios. Uma dessas comissões (CIB Working Commission W060) é dedicada ao *Performance Based Building* (traduzido livremente como “Construção com Base no Desempenho”), que vem, ao longo dos últimos 10 anos, sistematizando novas informações, entre elas as novas interpretações do conceito à luz das recentes demandas sociais e ambientais. Este conceito apresenta uma base técnica não-prescritiva flexível para orientar a concepção de edifícios. Seu campo de aplicação abrange: projetos de edifícios, desenvolvimento e comercialização de produtos para a construção, elaboração de manuais de projeto, controle da qualidade do projeto e da construção (GIBSON, 1982).

Pensar o edifício em termos do desempenho permite ao projetista experimentar soluções inovadoras, uma vez que não afixa limites e restrições à aplicação de materiais ou técnicas. Apenas exige reposta às necessidades dos usuários de forma contextualizada. Portanto, a aplicação desse conceito requer o conhecimento e a correta identificação dessas necessidades, das condicionantes do meio onde o edifício será construído e o controle dos processos durante a fase de produção, uso do edifício. A prática desses conceitos capacita o arquiteto para uma abordagem mais sistêmica do processo de projeto, cuja eficácia só se verifica na fase de produção uso e manutenção do edifício.

⁴ Nesta pesquisa, quando se referindo a projetos que aplicam este conceito, considerou-se mais adequado o uso do termo projeto orientado ao desempenho no lugar de projeto com base no desempenho (traduções livres da expressão Design Based Building). Isso porque se entende que o processo de projeto deve remeter-se aos requisitos de desempenho de forma orientativa, como um guia e não se apoiando neles com obediência qualitativa e quantitativa como o segundo termo pode sugerir.

⁵ Em 1998, o Conseil International du Bâtiment – CIB mudou seu nome para International Council for Research and Innovation in Building and Construction, mantendo no entanto, a abreviatura anterior: CIB.

A questão é como o edifício e seus subsistemas vão desempenhar, e não em prescrever como devem ser construídos. Esta prática está inserida na metodologia de avaliação de desempenho. Segundo essa metodologia o edifício quando em uso, deve atender aos requisitos dos usuários relativos à habitabilidade e funcionalidade, à segurança e estabilidade e às questões mais abrangentes ligadas aos padrões estéticos, sociais e culturais. No moderno conceito de desempenho, pode-se ainda incorporar requisitos relativos ao custo, manutenção, durabilidade, construtibilidade e sustentabilidade.

1.2. Justificativa

A arquitetura de Lelé é hoje o resultado também da aplicação de diversos materiais e técnicas. Seus projetos apresentam soluções espaciais que traduzem a potencialidade de cada sistema construtivo, além de buscarem o conforto por meio do uso racional dos elementos naturais. No entanto, a exploração e o desenvolvimento da tecnologia da argamassa armada ganham força e destaque dentre tantas experiências construtivas do arquiteto a ponto de torná-lo referência de uso e desenvolvimento do material.

A expressão de Sabbattini (1991) de que “(...) a evolução tecnológica da Construção Civil passa necessariamente pelo desenvolvimento dos meios de produção de edificações através da criação de novos métodos, processos e sistemas construtivos e pelo aperfeiçoamento dos existentes”, reflete muito bem o trabalho de Lelé, desde o início da década de 1980, explorando o potencial da argamassa armada, reavaliando seu processo construtivo e realimentando o projeto a partir da observação do comportamento em uso e da detecção de não-conformidades construtivas. Convém registrar esta evolução e destacar as inúmeras possibilidades de exploração projetual da argamassa armada. “Uma certa liberdade com relação à definição da argamassa armada vem de encontro à criação de condições para o pleno desenvolvimento de um material com amplas possibilidades do ponto de vista estático, até as estruturas de maior vulto” (HANAI, 1981).

O arquiteto Lelé e sua equipe multidisciplinar são responsáveis pela concepção de todo e cada componente construtivo do edifício, assim como o detalhamento da

articulação entre eles. Seu trabalho controla e integra as fases de projeto e execução, buscando mitigar problemas comumente apresentados na produção da Construção Civil Brasileira, como por exemplo o desperdício de materiais e de tempo e a deficiência de coordenação entre projetos e entre projeto e obra.

Esta pesquisa se voltará sobre este trabalho prático do arquiteto, aproximando a base empírica da acadêmica ao organizar, sistematizar e registrar o conhecimento lá gerado. É a possibilidade de registro de uma técnica construtiva consolidada que passou por um processo contínuo de evolução, resultado da íntima relação projeto x produção x uso dos edifícios, bem como da própria trajetória profissional do arquiteto.

Entende-se que o estudo proposto desse material e dos métodos de concepção e de execução em projetos do Lelé pode trazer informações relevantes para o entendimento da aplicação de conceitos de industrialização e de projetos orientados ao desempenho técnico-construtivo dos edifícios.

1.3. Objeto

Componentes em argamassa armada desenvolvidos por João Filgueiras Lima com aplicação estrutural e a sua inserção no edifício.

1.4. Objetivos

Documentar e analisar informações sobre projetos e processos desenvolvidos por Lelé para componentes pré-fabricados em argamassa armada sob o enfoque do desempenho nas fases de produção, montagem e uso final.

1.5. Metodologia

Para o alcance dos objetivos propostos, a pesquisa partiu do conhecimento das etapas mais significativas da trajetória profissional de Lelé, notadamente aquelas voltadas à produção de pré-fabricados, passando pela descrição e interpretação das

práticas de projeto e de produção da argamassa armada, incluindo o atual estágio de desenvolvimento do centro de referência na produção de pré-fabricados dirigido pelo arquiteto.

A natureza descritiva desta pesquisa permitiu a sistematização do conhecimento aqui reportado e analisado com base no estudo de documentos históricos e trabalhos técnicos, observação e entrevistas semi-estruturadas e livres. Há que se destacar que o contato com o arquiteto desde o início da pesquisa e as diversas entrevistas concedidas por ele foram fundamentais não apenas para a coleta de informações e esclarecimento de dúvidas, como também para validação das análises feitas pela autora. Além de viabilizar o resgate de informações não documentadas, Lelé autorizou o acompanhamento do processo de produção dos painéis em argamassa armada no Centro Tecnológico da Rede Sarah - CTRS e facilitou o contato com funcionários da Prefeitura de Salvador que ajudaram na obtenção de dados das obras da Fábrica de Equipamentos Comunitários – FAEC (1985-1989).

O trabalho foi dividido nas etapas descritas a seguir, ressaltando que essas etapas se justapuseram em determinados momentos.

Primeira Etapa – Revisão Bibliográfica

Esta etapa consistiu no levantamento de dados que permitiu formular assim a base teórica da pesquisa.

Na sua primeira fase, a revisão bibliográfica teve o intuito de conhecer e registrar as mais significativas contribuições técnicas e científicas no campo da argamassa armada e de outros componentes delgados produzidos a base de cimento Portland, bem como da análise de desempenho de edifícios em nível nacional e internacional. Foi ainda realizada uma extensa pesquisa acerca dos trabalhos e obras de Lelé sobre pré-moldados, além de todas as publicações relacionadas à trajetória do arquiteto.

Segunda Etapa – Coleta de Dados

Esta etapa consiste no levantamento de dados primários da pesquisa.

Pré-fabricados em argamassa armada:
material, técnica e desenho de componentes desenvolvidos por Lelé.

Os dados de projeto foram obtidos com o próprio arquiteto e com o setor de arquivo do CTRS e da Companhia de Desenvolvimento Urbano de Salvador - DESAL, atual empresa da prefeitura de Salvador que deu continuidade ao trabalho com pré-moldados em argamassa armada das extintas RENURB (Companhia de Renovação Urbana de Salvador) e FAEC. O CTRS possui toda a documentação referente à concepção dos componentes em argamassa armada utilizados e produzidos nos últimos dezessete anos. Por serem de interesse direto da pesquisa foram coletados “projetos de produção” como também os “projetos para a produção”.

Algumas informações de projetos da RENURB e da FAEC foram perdidas por conta dos fechamentos súbitos dessas fábricas, provocados por descontinuidade política. Quanto aos projetos das escolas dos CIAC's, a empresa construtora não concedeu acesso aos documentos dos quais estão de posse. Nesses casos, a complementação se deu com base na memória de Lelé por meio de entrevistas. Vale destacar que foi imprescindível a colaboração do arquiteto⁶ diante do grande número de documentos (plantas e memoriais) perdidos.

Visitas técnicas a obras, em Salvador, realizadas com o sistema construtivo apresentado foram feitas para reconhecimento e registro fotográfico. Foram realizadas valiosas entrevistas com o arquiteto, com contribuições pertinentes e relevantes, que inclusive interferiram positivamente na condução do trabalho. O curso “Tecnologia da Arquitetura – Lelé na FAU” ministrado por Lelé na FAU-USP em 2006⁷ contribuiu com a pesquisa ao permitir um maior conhecimento dos conceitos de tecnologia de Lelé em relação ao projeto de arquitetura e dos raciocínios arquitetônicos, estruturais e de conforto ambiental de projetos do arquiteto.

Terceira Etapa – Tratamento dos Dados, Redação e Revisão

Esta etapa foi realizada com base no levantamento bibliográfico e na coleta de dados.

⁶ A expressão ‘o arquiteto’ será utilizado na dissertação referindo-se ao arquiteto João Filgueiras Lima, Lelé.

⁷ A autora participou da organização do curso.

Inicialmente todas as obras do arquiteto em Salvador que utilizaram argamassa armada, e mesmo as que usaram concreto pré-moldado, foram documentadas. A escolha dos componentes que são objeto de estudo da dissertação se deu a partir da análise dos dados coletados referentes a cada componente. A adequação do desenho ao seu material e à sua técnica construtiva e a oportunidade de evolução do projeto (devido a revisões possíveis pela oportunidade de se fabricar alguns componentes em diferentes momentos) foram critérios de seleção. Considerando que grande parte das obras do arquiteto concentra-se em Salvador – Bahia e por viabilidade da pesquisa, os elementos em argamassa armada escolhidos (vigas das escolas e cascas das creches) como objeto de estudo desta pesquisa estão presentes em obras situadas naquela cidade, o que facilitou o acesso às mesmas para documentação fotográfica.

Os componentes são analisados qualitativamente, com base nos requisitos de desempenho relativos às suas funções no edifício, classificados na NBR 15575 como: desempenho estrutural, construtibilidade, adequação ao uso final. Destacam-se as interfaces entre os componentes de argamassa armada analisados e os demais componentes, elementos e subsistemas da construção. Complementarmente são feitas considerações gerais sobre outros requisitos como a segurança ao fogo, estanqueidade, manutenabilidade e durabilidade.

Os aspectos históricos ligados à construção também são observados e considerados, tanto sob o aspecto da tecnologia construtiva quanto ao contexto sócio, econômico, político e cultural no qual a edificação esteve e está inserida. No entanto, aspectos da arquitetura como associações ao pensamento modernista ou questões formais relativas à estética da edificação não são abordados nesta dissertação.

1.6. Estruturação do trabalho

O *segundo capítulo* tem como tema Lelé, pré-fabricação e argamassa armada. Apresenta as experiências do arquiteto com a pré-fabricação dando destaque aos experimentos em argamassa armada.

O *terceiro capítulo* trata da argamassa armada. Apresenta as propriedades deste material e descreve o processo produtivo atualmente usado por Lelé.

No *quarto capítulo* é discutida a relação entre desenho e desempenho. Estuda a forma como resultado de um processo: concepção, produção, montagem, uso e manutenção. Apresenta o conceito de projeto orientado ao desempenho, os requisitos de desempenho da norma NBR15575. Reflete sobre a interferência do desenho no desempenho do componente.

O *quinto capítulo* apresenta o conjunto no qual os objetos desta pesquisa estão inseridos: o sistema construtivo pré-fabricado em argamassa armada desenvolvido por Lelé para escolas e creches.

Os componentes em argamassa armada objetos desta pesquisa, isto é, a viga de escolas e a casca de creches são analisados no *capítulo seis*. São observados requisitos de desempenho relativos a: desempenho estrutural, construtibilidade e adequação ao uso, e a interface entre o componente de argamassa analisado e os subsistemas envolvidos.

O *sétimo capítulo* discorre as considerações finais da dissertação, expõe as vantagens e atuais obstáculos à aplicação de pré-fabricados e propõe temas para futuros trabalhos.

Lelé e a pré-fabricação em argamassa armada

Do final da década de 50, em Brasília, até os dias atuais, no Centro Tecnológico da Rede Sarah em Salvador, Lelé desenvolve obras utilizando os princípios da industrialização. Lelé pode ser considerado, entre outros, como precursor e desbravador da industrialização da construção no Brasil.

João Filgueiras Lima desempenha no Brasil um papel similar àquele de Nervi na Itália dos anos 50. Sua criatividade como projetista e sua habilidade como gerente, inovaram e modificaram os conceitos de projeto e produção industrial, não somente no campo do microconcreto armado, mas também na Construção Civil como um todo. (CAMPOS, 2002)

Para Lucio Costa, Lelé teria vindo mesmo preencher uma "grave lacuna" na nossa arquitetura ao empregar as novas tecnologias dos pré-moldados e enfrentar complexos programas sociais. Sua obra também mostra que as possibilidades criativas da arquitetura brasileira não estão necessariamente vinculadas à construção artesanal. Já se pode afirmar que a industrialização da arquitetura não precisa implicar prejuízo da liberdade. (DERNT, 2005)

2.1. As primeiras experiências de Lelé com pré-fabricação

As primeiras experiências de Lelé em pré-fabricação foram no final da década de 50, em Brasília (LIMA, 2004). A necessidade de fazer rapidamente alojamentos para os mais de dois mil operários que chegavam de todo o Brasil para a construção da nova capital do país fez com que as construtoras escolhessem a solução de pré-fabricados em madeira para acelerar o processo. Foi montada uma grande oficina de carpintaria onde eram executados os projetos (LIMA, 2004). O fornecimento de materiais também precisava ser equacionado, o que também contribuiu para a

necessidade e decisão de racionalização da construção, como descreve Lelé para a revista AU (1999):

Como não havia fornecedores de materiais, tudo vinha de fora, às vezes de avião, e assim projetei algumas peças que já chegavam prontas. A industrialização na obra era necessária mais por uma questão de logística do que de economia. A loja de materiais mais próxima ficava a 5 dias de viagem. E cada canteiro daqueles era uma cidade, com 2.500 operários, que precisavam comer, dormir.

No Brasil ainda não se fazia construção pré-fabricada em larga escala na década de 1960, mas já se conhecia a tecnologia usada como solução técnica e econômica às demandas de reconstrução da Europa pós-guerra. Esse contexto contribuiu para promover a industrialização como sinal de avanço técnico-construtivo e novo modelo de resposta às questões urgentes da construção. A oportunidade da industrialização ganhar força apareceu em 1962, quando Darcy Ribeiro, então reitor da Universidade de Brasília – UnB, convidou Lelé para trabalhar no Centro de Planejamento (Ceplan) da UnB, onde seria criado um grande centro de construção industrializada. A Universidade então patrocinou uma viagem para o Leste Europeu, onde a construção industrializada estava mais difundida. O objetivo das viagens técnicas era conhecer todos os sistemas construtivos industrializados e montar uma grande fábrica na UnB. Também tinha a finalidade de comprar equipamentos para a universidade.

A importação não chegou a acontecer, por conta do golpe militar. Mas antes dele, algumas obras pré-fabricadas foram realizadas com Oscar Niemeyer na universidade (DERNETL, 2005). Os primeiros projetos com pré-fabricados de concreto foram os edifícios residenciais para professores (Figura 1 à esquerda) e galpões de serviços gerais da UnB, como relata o próprio Lelé:

Os prédios de habitação da Colina, onde moram os professores da UnB, são todos pré-fabricados. Os prédios de serviços gerais também são dessa época. Fizemos uma série de projetos – era um grupo: alguns projetos são meus, mas outros são em parceria com Oscar. O embrião da pré-fabricação foi a Universidade, embora a fábrica não tenha se concretizado por causa da revolução. O ICC –

Instituto Central de Ciências da UnB, conhecido como Minhocão - um projeto grande de Oscar para o qual estudei a parte da industrialização, foi todo feito em pré-fabricado.(MENEZES, 2004)

Figura 1 – À esquerda: Prédio de habitação da Colina, Brasília. À direita: Edifício da Disbrave, Brasília.Fonte: LATORRACA, 2000.

O golpe militar de 1964 desmontou a equipe da UnB. Em 1965, quando não mais trabalhava para a universidade, Lelé projetou em Brasília a sede da concessionária de veículos Disbrave/Volkswagen (Figura 1 à direita).

A expressividade dessa obra deriva da repetição regular de elementos de concreto aparente. Os painéis shed - nesse caso, pré-moldados em Y - ou os jardins separando setores viriam a ser constantes em sua arquitetura posterior (DERNETL, 2005)

Em 1968 Lelé utilizou-se da tecnologia da pré-fabricação de concreto armado no projeto do Hospital distrital de Taguatinga. Caixas pré-moldadas de concreto foram utilizadas como elemento de vedação e de esquadrias. Estas caixas também foram utilizadas em outros projetos, como edifícios das Secretarias do Centro Administrativo da Bahia (CAB), de 1973, e do escritório em Brasília da Camargo Corrêa, de 1974. Em 1978 Lelé trabalhou para a prefeitura de Salvador na Companhia de Renovação Urbana de Salvador (RENURB), onde fabricou diversos componentes para projetos de saneamento básico para Salvador em pré-fabricados de concreto armado (como abrigos de ônibus e peças para contenção de encostas). Foi nesta ocasião que Lelé experimentou a tecnologia da argamassa armada.

Figura 2 – À esquerda: Secretaria do CAB, Salvador. Fonte: foto da autora, 2006. À direita: Abrigo de ônibus, Salvador. Fonte: Cláudia Oliveira, 2006.

2.2. As experiências com argamassa armada¹

No início da década de 1950, pouco antes de se construir Brasília, pesquisadores da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP) assistiram curso ministrado por Nervi² em São Paulo. Interessados no material, começaram a pesquisar o ferrocimento, buscando adaptar o processo de execução e o custo material à realidade brasileira. Consolidou-se o Grupo de São Carlos, que reelaborou o material, reduzindo o consumo de aço e cimento a valores compatíveis com a realidade econômica nacional (Martineli, em Hanai 1992).

Lelé, que já conhecia o trabalho de Nervi, conheceu a tecnologia da argamassa armada desenvolvida pelo Grupo de São Carlos por meio do contato com o engenheiro e professor da EESC-USP Frederick Shiel, de quem teve a colaboração em diversos momentos da sua trajetória profissional.

A primeira experiência de Lelé em pré-fabricados em argamassa armada foi em projetos de urbanização da cidade de Salvador, na RENURB em 1980. A necessidade de facilitar ou mesmo viabilizar o acesso dos componentes e

¹ A argamassa armada tem sua origem na França em 1848, quando Joseph Louis Lambot desenvolveu um material com o objetivo de substituir a madeira em construções navais e arquitetônicas (por sua impermeabilidade), nomeando-o de “fer-ciment” (ferrocimento em português).

² Foi Pier Luigi Nervi quem, na década de 40, resgatou o ferrocimento criado por Lambot (adormecido por praticamente um século) e continuou desenvolvendo e aplicando o material, dando-o maior visibilidade. Nervi constatou maior alongabilidade do material (o que resulta em bom comportamento à tração) e baixa suscetibilidade à fissuração como consequência da presença da armadura difusa. Além disso, foi percebida a possibilidade de execução sem o uso de fôrmas (Martinelli, em Hanai, 1992).

equipamentos de montagem aos locais de implantação do projeto (favelas) implicou a busca por componentes mais leves e de fácil manuseio e transporte. Foram fabricadas peças para canais de drenagem, escadas e contenções de encostas (Figura 3).

Figura 3 – À esquerda: Componentes da escada drenante. À direita: Componente para contenção de encostas. Fonte: Imagem cedida por Lelé.

Após um período de dois anos na prefeitura de Salvador, trabalhou como voluntário em Abadiânia, em Goiás (em 1982), onde desenvolveu seu primeiro modelo de escola executada em argamassa armada. A experiência com a RENURB – Companhia de Renovação Urbana de Salvador e a aproximação com pesquisadores da EESC-USP proporcionaram a Lelé condições para a concepção de um edifício completo com a tecnologia da argamassa armada em Goiás (Figura 4).

Figura 4 – À esquerda: Escola em Abadiânia. Fonte: Imagem cedida por Lelé. À direita: Imagem do manual ilustrado para construção da escola. Fonte: LIMA, 1984.

Em 1982, Lelé integrou-se como voluntário ao projeto AMA – Ação no Município de Abadiânia. Na ocasião, diagnosticou-se vocação do município para fabricação de

componentes para a construção civil (LATORRACA, 2001), por conta da fartura de matérias-primas como areia e cimento na região. Lelé estava convicto de que a escolha pela pré-fabricação em argamassa seria adequada também por proporcionar economia, conforto ambiental e baixo custo de manutenção, requisitos necessários àquele município de escassos recursos financeiros.

Quando nós fomos fazer as escolinhas em Abadiânia, eu fazia muita pesquisa na escola. Então eu levantei quantidades de quanto se gastou em cimento. Um absurdo, numa construção convencional se gastava 5 vezes mais de cimento do que se gastava nessa construção” [a execução da obra consumiu 400 sacos de cimento para os 420m² de área pavimentada e 285m² de área coberta] (informação pessoal)³.

Abadiânia precisava, dentre outros equipamentos, de uma escola. Devido ao caráter efêmero do domicílio familiar do trabalhador do campo, que migra de acordo com as demandas da produção agrícola, criou-se então o modelo de escola chamado Escola Transitória, “totalmente extensível e desmontável, mas de industrialização simples” (LIMA, 1984). Para que a população local pudesse trabalhar como mão-de-obra, foi realizado treinamento de curto prazo, além da criação de um manual ilustrado (Figura 4 à direita) para compreensão do processo construtivo e montagem dos componentes. O emprego da mão-de-obra local, não especializada, foi uma condição do projeto.

A escola de Abadiânia converteu-se em experiência piloto de um projeto que implantaria cinco pequenas usinas de pré-fabricados no estado de Goiás, incluindo o território do atual estado de Tocantins, para construir escolas por todo o estado. As peças da escola eram leves e de fácil transporte, com dimensões não superiores a 5m. Outro fator que viabilizava seu transporte para distâncias previstas de até 200km é o peso total da escola. A soma do peso de todos os elementos pré-fabricados do protótipo é inferior a 45 toneladas. O projeto de expansão não foi implantado por conta de entraves administrativos e políticos (LIMA, 1984).

³ Lelé em entrevista para a autora, abr 2006

O programa em Goiás duraria apenas dois anos, limitando-se basicamente à experiência piloto, sem expansão das usinas de pré-fabricados. Em 1984, Brizola, eleito governador do Rio, por intermédio de Darcy Ribeiro vice-governador eleito e amigo de Lelé, interessou-se pelo modelo de escola produzido em Goiás e convidou Lelé para implantar no Rio uma Fábrica de Escolas e Equipamentos Urbanos (LIMA, 2004). Lelé desenvolveu parte dos projetos do CIEP - Centro Integrado de Educação Pública; a outra parte dos projetos havia sido concebida por Oscar Niemeyer. Entre 1984 e 1986 foram produzidas duzentas escolas (DERNTL, 2005) (Figura 5). Nas eleições de 1986, não eleito o sucessor de Brizola, os projetos foram interrompidos.

Figura 5 - Escola no Rio de Janeiro. Fonte: Imagem cedida por Lelé.

Fui levado para o Rio de Janeiro com uma responsabilidade enorme. Não podia testar nada, não tinha tempo para testar. Então todas aquelas coisas são muito baseadas na experiência de Abadiânia (LIMA, 2004).

Também na ocasião das eleições de 1986, em Salvador, Mário Kertész assumiu novamente a prefeitura e criou a FAEC - Fábrica de Equipamentos Comunitários. Convidou novamente Lelé para coordenar a fábrica. Mário Kertész já havia sido prefeito de Salvador entre 1979 a 1981, quando criou a RENURB, onde Lelé havia desenvolvido diversos projetos para a cidade, muitos deles com pré-fabricados. Lelé então saiu do Rio e voltou para Salvador. A fábrica começou apenas focando a industrialização da argamassa armada, mas os projetos e programas foram ficando mais complexos e exigindo soluções mais diversificadas.

No caso das escolas, os programas foram ampliados, aumentando o número de componentes necessários para sua construção. O aumento de um para dois pavimentos, por exemplo, exigiu a produção de novas peças, como ocorreu com a viga estudada nesta dissertação, que ganhou variação para piso e cobertura.

Foi na FAEC que Lelé concebeu o projeto das creches (Figura 6), aproveitando-se de grande parte dos componentes da escola e compondo-os com novos elementos, como as cascas de cobertura. A integração destes componentes gerou novo modelo de edifício, no qual se basearam os mais de vinte projetos construídos em Salvador entre 1985 e 1989.

Foi ainda na FAEC a primeira experiência de Lelé na aplicação conjunta das tecnologias do aço e da argamassa armada, como por exemplo, as passarelas (Figura 6).

[Sobre a FAEC] Essa experiência foi a mais rica e a mais frutífera de todas, não só pelos benefícios que proporcionou à população da cidade, mas também pelas pesquisas tecnológicas que serviram de base para as experiências subsequentes dos CIACs e sobretudo para as do CTRS. (LATORRACA, 2000)

Figura 6- À esquerda: Anteprojeto da Creche. Fonte: desenho original cedido pela biblioteca da Companhia de Desenvolvimento Urbano de Salvador - DESAL. À direita: Passarela no Iguatemi, Salvador. Fonte: Cláudia Oliveira. 2006

Em 1989, Darcy Ribeiro, então Secretário de Educação de Minas Gerais, solicitou que Lelé elaborasse projetos para aquele Estado. No ano seguinte, Darcy já estava como secretário de programas especiais do governo do Rio, com Brizola novamente governador do estado. Com os projetos de Lelé nas mãos de Darcy e com a experiência anterior do CIEPs, o governo do Rio montou o programa dos CIACs – Centros Integrados de Apoio à Criança - e apresentou ao então presidente do Brasil, Fernando Collor. Só então Lelé tomou conhecimento do CIACs e foi trabalhar em sua construção. Segundo Lelé (LIMA, 2004), muitos edifícios foram construídos com total desrespeito aos projetos originais: “tinha um compromisso muito grande com as empresas de construção, elas queriam ganhar muito dinheiro, todo o sistema tinha sido montado para isso. Tive que me demitir, largar logo.” Lelé assume sua

participação apenas na obra do Rio e na de Brasília. Em entrevistas à revista AU, o arquiteto comenta sobre as interferências da política no seu trabalho:

Lelé - Quando eu estava montando os protótipos, fixamos o custo em US\$ 200/m²; depois consenti em aumentar para 240/m² a pedido das construtoras. Me dei conta, eles estavam acertando os preços em 500 dólares por m². (SOUSA, 1999)

Lelé - A questão da mudança de governo, principalmente no meu tipo de trabalho, ligado a obras públicas, sempre foi terrível. Porque cada iniciativa que tomávamos acabava. Aqui em Salvador [onde ele vive desde a década de 1990] foram montadas duas fábricas e depois desmontadas com a saída do prefeito [referindo-se à RENURB e à FAEC]. Lidar com a política é muito difícil. Precisa ter uma flexibilidade muito grande e aceitar os fracassos, porque a trajetória profissional de quem trabalha na área pública é sempre de fracassos. É aceitar que esses fracassos vão se suceder e tirar algum proveito das experiências. Mas sempre com a convicção de que não vai realizar uma obra conforme imaginava. (HORTA, 2008)

Na década de 1990, foram construídas escolas do modelo do CIAC's em todo o país. Essa experiência, ao mesmo tempo em que deu à argamassa armada divulgação nacional, trouxe ao conhecimento dos técnicos dificuldades ainda não identificadas, conforme relato de Campos (2002):

Problemas contidos na origem do programa de obras proposto, tanto do ponto de vista logístico como tecnológico, por pouco não condenaram ao esquecimento um trabalho reconhecidamente sólido e conseqüente de técnicos e pesquisadores de vários centros de pesquisa e universidades brasileiras. (CAMPOS, 2002)

Problemas na produção da argamassa armada, como cobrimento mal controlado, quebras na fabricação, falhas no armazenamento, transporte e montagem foram detectados na construção dos CIAC's (BOCCHILE, 2008).

2.3. Centro de Tecnologia da Rede Sarah

Dentre todos seus trabalhos com a pré-fabricação, foi na Rede Sarah, através do Centro de Tecnologia da Rede Sarah (CTRS) (Figura 7), que Lelé pôde implantar sua arquitetura pré-fabricada na plenitude da sua concepção. O CTRS foi implantado, pelo governo federal por meio do Ministério da Saúde, em Salvador em 1991, juntamente com o hospital do aparelho locomotor da Rede Sarah Kubitschek de Salvador. Este Centro ainda funciona e fabrica todos os componentes necessários para construção e manutenção dos hospitais da Rede Sarah, como também já produziu componentes para outros tipos de edifícios que não hospitalares, a exemplo os Tribunais de Contas da União. Foi no CTRS onde Lelé melhor amadureceu seus conceitos e experiências de racionalização da construção. “Esta procura de racionalidade não tem fim, e nos mantém em constante experimentação, a experimentação específica das artes é também a que é privativa da ciência e da tecnologia aplicadas à arte de construir” (ARTIGAS, 1986 apud PEIXOTO, 1996).

Figura 7 – À esquerda: CTRS, pátio de carga e descarga. À direita: Oficina de argamassa armada. Fonte: Fotos da autora, 2006.

O CTRS é responsável pela concepção e construção dos hospitais da Rede inaugurados em São Luís (1993), Salvador (1994), Brasília-ampliação (1995), Belo Horizonte (1997), Fortaleza (2001) e Rio de Janeiro (2002). Apesar de nos primeiros anos ter apresentado resultados positivos em relação ao retorno do investimento da fábrica e seus edifícios (SOUSA, 1999), o CTRS enfrenta interesses divergentes do que deveria ser o objeto do poder público. Empresas da construção civil pressionam governo a não possuir fábrica própria para licitar projetos e obras com empresas

privadas. Assim ocorreu quando da construção dos edifícios dos Tribunais de Contas da União. Como o Centro Tecnológico pertence à Rede Sarah, que por sua vez, está vinculada ao Ministério da Saúde, conseguiu-se, na ocasião, polemizar a legitimidade da construção por parte do CTRS de outros edifícios senão os hospitais da rede. Desde então, por volta de 1998, o CTRS ficou então proibido de construir edifícios que não os da Rede Sarah. A intenção original do Centro era de fazer convênios e parcerias para se construir inclusive projetos de outros arquitetos (ANTUNES, 2008).

Lelé - Aqui na fábrica de hospitais nós investimos 17 milhões de dólares em equipamentos, mas o retorno foi tão imediato que esse valor foi amortizado em três anos. (SOUZA, 1999)

Lelé - Fazíamos convênios com outras instituições, para poder aproveitar nosso potencial. Mas infelizmente, com o reforço da globalização e o neoliberalismo, e como somos do setor público, o Tribunal de Contas diz que fazemos competição com a iniciativa privada. E nos proibiram de fazer qualquer coisa para fora. (ANTUNES, 2008)

O CTRS hoje projeta, executa e mantém os edifícios da rede Sarah e seus equipamentos e treina sua mão-de-obra. Possui oficinas de metalurgia pesada, metalurgia leve, argamassa armada, marcenaria e plástico (Figura 8). As diversas tecnologias desenvolvidas no CTRS surgiram da falta de capacidade do mercado em atender as demandas da Rede Sarah. À medida que iam sendo criados padrões e medidas próprias (exemplo: módulos de 62,5cm) foram surgindo dificuldades de compatibilização com os demais produtos de mercado. As exigências determinadas pelos usos específicos, como por exemplo as camas-macas especiais para fisioterapias, também foram propulsores do desenvolvimento de novas tecnologias. Desta forma os componentes construtivos foram evoluindo nesses já 17 anos de Rede.

As oficinas /.../ produzem um amplo vocabulário de componentes integráveis entre si, que são depois transportados para a montagem dos edifícios nas diferentes cidades. (DERNT, 2005).

As obras do CTRS articulam soluções diversificadas, como por exemplo, peças estruturais de aço ou de concreto, placas de argamassa armada, elementos para os sheds em argamassa ou em plástico etc. “O resultado obtido, com essa flexibilização e diversificação de materiais e técnicas construtivas, foi o enriquecimento das possibilidades projetuais e formais” (PEIXOTO, 1996).

Figura 8 – Planta do CTRS. Fonte: Arquivo cedido pelo CTRS.

Lelé - Esta nossa fábrica aqui é uma tentativa de fazer prédios públicos de qualidade por um preço razoável. Mas se hoje ela está sendo fechada pelo poder público é porque o país não a quer, é porque arquitetura não interessa ao Estado. (SOUZA, 1999)

Apesar de não revelar números, em entrevista à autora (2006), Lelé confirmou houve redução de trabalho no Centro e que atualmente ele trabalha abaixo da sua capacidade.

Outros centros e profissionais trabalharam com a argamassa armada, mas foi João Filgueiras Lima, Lelé, que em contato com os estudos do Grupo São Carlos, “imprimiu à tecnologia da argamassa armada uma dimensão nunca antes

experimentada no Brasil” (Hanai, 1992). No próximo capítulo, o material e sua produção serão apresentados no seu estágio mais atual e amadurecido.

2.4. Mercado atual da construção pré-fabricada em argamassa armada

Apesar de consideráveis avanços tecnológicos no que diz respeito à argamassa armada no que diz respeito ao material, suas técnicas e controle do processo de produção da construção, a Construção Civil brasileira ainda apresenta um uso intensivo de mão-de-obra não especializada e métodos construtivos artesanais que dificulta sua disseminação. Questões de ordens social, cultural e econômica são intimamente responsáveis do atual estágio da industrialização da construção civil no Brasil.

O que se deve rejeitar é o vício de encarar o desenvolvimento industrial dos países periféricos como a simples reprodução dos modelos das sociedades avançadas. Cada país em desenvolvimento deve criar seu próprio modelo, à luz de suas peculiaridades sócio-econômicas, enfatizando, de acordo com suas prioridades nacionais, tanto os aspectos quantitativos do desenvolvimento, sem os quais as barreiras da dependência externa não poderia ser superadas, quanto os aspectos qualitativos, sem os quais o desenvolvimento perderia de vista o destinatário principal – o homem – e se transformaria num processo mecânico, movido por um dinamismo puramente instrumental, sem fins explícitos e sem uma direção consciente. (GOMES, 19-- apud BRUNA, 1978)

Obstáculos de ordem econômica, social, cultural e tecnológica dificultam a disseminação da pré-fabricação em argamassa armada no Brasil:

2.4.1. Entrave econômico

O Brasil dispõe hoje de um parque produtor de pré-fabricados, cuja experiência e a capacitação técnica permitem o desenvolvimento de produtos extremamente adequados a estas demandas. A falta de disseminação do uso de sistemas pré-fabricados abertos, baseados na utilização de componentes pré-fabricados com um alto valor

agregado, é hoje mais uma questão cultural do que o fruto de uma limitação tecnológica, daí a questão recorrente: não se constrói porque não há soluções tecnológicas ou não há soluções tecnológicas porque não se constrói em larga escala empregando os pré-fabricados de concreto? (CAMPOS, 2002)

Além da questão cultural apresentada por Campos (2002), um edifício é de fato, uma mercadoria diferente de todas as outras no que diz respeito à produção em série e ao controle de trabalho.

A questão fundiária, por exemplo. Por mais que se consiga baratear o custo da obra, o rebaixamento do preço final da mercadoria fica dificultado pelo valor dos terrenos, alto, dentro da composição de custos do empreendimento. Além disso, a localização e as condições do lote são determinantes no projeto, de forma que não há dois projetos iguais, uma vez que o terreno nunca será o mesmo. Outra questão são os longos períodos de rotação dos capitais (FARAH, 1996): considerando o tempo da obra cerca de 18 meses e o alto preço da construção, torna-se comum o uso de recursos de capital de promoção, como o financiamento. Os lucros obtidos com essas atividades de comercialização, além da especulação imobiliária com o terreno, acabam por não estimular busca de aumento de produtividade e melhora na atividade da construção propriamente dita.

Os impostos que incidem nas usinas de pré-fabricados refletem no custo dos componentes, o que dificulta a concorrência com as técnicas convencionais e artesanais na produção de edifícios.

2.4.2. Entrave social: Investimento em mão-de-obra especializada

A mão-de-obra desqualificada utilizada pela construção civil convencional no Brasil é um entrave para adoção de tecnologias pré-fabricadas, como a argamassa armada. O sistema não admite erros grosseiros dentro do processo construtivo (desde a concepção dos componentes à execução da obra) e a lógica do projeto e da produção de componentes pré-fabricados requer planejamento e integração entre as fases de projeto e de execução.

Conseqüente porque, enquanto na produção artesanal o pensamento coincidia com a ação imediata de produção e distribuição, na produção industrial a repetição baseada num modelo requer, primeiramente, uma atividade preparatória conceitual de caráter organizativo, dirigida para o planejamento do produto, e em seguida para a sua industrialização, fabricação e mercantilização (CIRIBINI, 1965 *apud* BRUNA, 1978)

A estrutura social do Brasil permite a exploração da mão-de-obra não especializada e sustenta canteiros onde se predomina o trabalho artesanal e sua conseqüente baixa produtividade. No entanto, BRUNA (1978), há trinta anos, apontava contradição entre os objetivos de lucro dos empresários com seus interesses em manter a então (e praticamente atual) ordem social e suas relações de trabalho.

É possível concluir portanto, que a industrialização da construção utilizada como um recurso para o aumento da produtividade e conseqüentemente das rendas, de extensas camadas de população, longe de tornar-se um fator de instabilidade social pelo desemprego que poderia causar, é, na verdade, o único meio para romper um processo socialmente injusto e empobrecedor. (BRUNA, 1978)

Ainda mais hoje em dia, pois interesses econômicos são colocados na frente de tudo. A construção civil não evolui, então a argamassa armada está na contramão. Ela significa uma evolução, ela impõe uma evolução. Ela impõe um cuidado que a construção civil convencional não tem. É uma questão de cultura (informação pessoal)⁴

2.4.3. Entrave cultural: Monotonia e rigidez estética

Os edifícios pré-fabricados construídos no pós-guerra praticamente não possuíam variações, pois seus sistemas construtivos eram fechados, ou seja, os componentes eram fabricados especificamente para aquele sistema.

⁴ Lelé em entrevista à autora (2008)

A tendência predominante ao longo dos últimos cinco séculos foi a pré-fabricação ir passando da forma fechada para a aberta. A pré-fabricação no Brasil desde a década de 90 se abriu para sistemas construtivos abertos (CAMPOS, 2002), onde os componentes construtivos pré-fabricados podem ter diversas procedências e compõem-se formando o edifício, um produto único, independentemente do grau de industrialização.

A estética da construção pré-fabricada ficou associada à uniformidade e à rigidez. A industrialização não implica, necessariamente, monotonia, apesar de haver esse risco.

Os primeiros edifícios do modelo de escolas de Lelé foram construídos dentro de um contexto no qual a viabilidade econômica era um dos principais requisitos de projeto. Concebeu-se, portanto, o número mais limitado possível de componentes, considerando a necessidade de produção em larga escala para diminuir os custos. É de se compreender, portanto, que as primeiras escolas tenham sua estética marcada pela repetição. Já no CIAC's, mais componentes foram criados, ampliando as possibilidades de combinações e portanto, dando mais liberdade projetual ao arquiteto.

No caso dos hospitais da rede Sarah, os programas de necessidade exigem tal flexibilidade que a pré-fabricação surge como resposta natural a essa demanda. Além de haver menos restrições financeiras daquelas existentes para a construção das escolas (mas nem por isso com soluções menos racionalizadas), o projeto dos hospitais combinou o uso de diversos materiais. O padrão estético dos hospitais é identificável, mas seus edifícios não são idênticos.

Longe de serem uma repetição monótona de unidades-tipo, as obras de Lelé caracterizam-se por uma variedade surpreendente de soluções arquitetônicas adequadas a cada contexto e programa, e sempre com grande enraizamento cultural ao coletivo que atende. Vê-se, assim, que o conhecimento profundo sobre as características dos materiais é uma meta em sua trajetória, consagrada na progressiva evolução da linguagem construtiva de suas obras (REBELLO, 2008).

Alguns juízos de valor em relação à estética do uso de componentes ou sistemas em argamassa armada refletem, em alguns casos, a falta de conhecimento do mercado sobre as alternativas que a pré-fabricação pode oferecer.

2.4.4. Obstáculo tecnológico: Flexibilidade e durabilidade

A durabilidade da argamassa apresenta-se como um desafio objetivo ao seu desenvolvimento. As principais contestações são “relacionadas às pequenas espessuras” (BENTES, 1992). A esbeltez das peças exige controle rigoroso no processo de fabricação, para que sejam respeitados os cobrimentos recomendados por norma. Lelé afirma que “para ela [a argamassa armada] ter qualidade, precisa ter um controle industrial de produção” (informação pessoal)⁵.

(...) não se pode avaliar um material tendo como referência apenas parte do universo das suas aplicações já levadas a efeito. Assim o fosse, a significativa quantidade de problemas patológicos ocorridos em obras de concreto armado nos últimos 15 anos levaria a crer se tratar de material problemático – o que está longe de ser verdade, se tomados os cuidados necessários de tecnologia, projeto e execução. (LIBÓRIO, 1989)

2.5. Considerações sobre o capítulo

Ao longo de toda sua trajetória profissional, Lelé buscou o aprimoramento do seu trabalho, avançando, a cada recomeço, no processo de industrialização da construção do país.

Por mais danos que as interferências do governo tenham causado no desenvolvimento do processo produtivo, vale ressaltar que foi a instituição pública que viabilizou, por diversas vezes, o processo de experimentação da tecnologia. Os parques industriais criados pelos diferentes governos deram condição para Lelé experimentar a tecnologia e difundir a construção pré-fabricada.

⁵ Lelé em entrevista à autora, 2008.

A disseminação da tecnologia da argamassa industrializada encontra obstáculos de ordem econômica, social, cultural e tecnológica. O mercado da Construção Civil brasileiro se desenvolve em processo não linear. Depois de cada retrocesso é importante que se avance de forma significativa, para sua evolução.

A argamassa armada

3.1. Definição e propriedades do material

A argamassa armada é, segundo Hanai (1981), “um tipo particular de concreto armado, composto por argamassa de cimento e agregado miúdo e armadura difusa, em geral constituída de telas de aço de malhas de pequena abertura, distribuídas em toda a seção transversal da peça”.

Em outra publicação subsequente, Hanai (1996, apud CAMPOS, 2002) incorpora ao conceito a possibilidade de substituição da argamassa de cimento e areia por um “microconcreto composto de cimento, areia e frações mais finas de agregados graúdos”. Campos (2002) também discute a ampliação das possibilidades de combinações de materiais, entendendo que as armaduras difusas contínuas também podem ser descontínuas, “constituídas por fios de pequeno diâmetro e pouco espaçados entre si, empregando uma gama de materiais tais como: barras de aço, telas soldadas de aço, telas de fibras sintéticas ou naturais, fibras descontínuas sintéticas ou naturais, cabos de aço (cordoalhas) etc”.

A partir de registros de Libório (1989, p.11), deduz-se que uma possível justificativa para a origem do termo microconcreto que sido usado por vários autores, pode estar vinculada com a manipulação do material com o objetivo de reduzir a relação água/cimento para melhorar a durabilidade da argamassa armada. Isso levou os pesquisadores brasileiros a usar, em combinação com a areia, agregados graúdos na faixa de diâmetros compreendidos entre 4,8 e 6,3 chegando até diâmetros de 9,6mm, o que justificaria o uso da palavra concreto no seu sentido correto, embora o prefixo micro ainda seja questionável.

Internacionalmente, o termo mais comum para esse material é *ferrocement* (ferrocimento) que também é conhecido pela expressão “elementos delgados de materiais compostos reforçados”, termos que nomearam o oitavo Simpósio

Internacional sobre Ferrocimento e Compósitos Delgados à Base de Cimento (International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites¹) na Tailândia, no ano 2006. Discutiu-se nesse evento o atual estágio de desenvolvimento e as necessidades de pesquisa dos seguintes temas: concreto reforçado com fibras, composições de matrizes para melhorar o desempenho dos compósitos, resistência a cargas extremas (como explosão e fogo), ciclo de vida de sistemas e componentes estruturais de compósitos delgados à base de cimento (BOLANDER, 2007).

A evolução do conceito e das definições da argamassa armada é natural e previsível à medida que a qualidade dos materiais é melhorada e que novos componentes são associados à mistura trazendo benefícios mensuráveis. Apesar das várias conceituações, o importante é que, como já destacado por Hanai (1992) “o material em si possui características intrínsecas peculiares, e mesmo que haja inúmeras possibilidades de variações, existem denominadores comuns que lhe dão identidade própria”, como sua resistência à fissuração, flexibilidade, aplicabilidade em elementos de pequena espessura e de forma estrutural, baixa permeabilidade a líquidos e gases e possibilidade de execução com técnicas artesanais ou industriais.

No Brasil, o termo “argamassa armada” foi escolhido pelos professores Dante Martinelli e Frederico Schiel do Grupo de São Carlos para nomear o material desenvolvido no Brasil inspirado no *ferrocemento* de Nervi². Os pesquisadores modificaram a proporção dos materiais de modo a conseguir uma redução considerável no consumo de cimento e aço, sem comprometer o desempenho dos componentes.

O uso da argamassa armada aplica-se bem em componentes estruturais e portantes ou como material e/ou produto complementar com por exemplo, fôrmas, na

¹ Em termos práticos esses compósitos delgados são compreendidos como aqueles com espessura inferior a 50mm (NAAMAN, 2008).

² Segundo Hanai (1981 e 1992) o ferrocimento praticado por Nervi tinha elevado consumo de cimento ($\sim 1.000\text{kg/m}^3$) e elevada quantidade de armadura de finos diâmetros (até 500kg/m^3). De acordo com as práticas atuais, esses consumos continuam elevados quando comparadas às recomendações nacionais para a argamassa armada (consumo de cimento entre 500 a 680kg/m^3 e quantidade de armadura em até 250kg/m^3). A International Ferrocement Society (2001) recomenda relação areia/cimento variando de 1,5 a 2,5; relação água/cimento de 0,35 a 0,50 e consumo mínimo de aço de 1,8%.

produção *in loco* de estruturas de concreto armado. Suas peças são delgadas (espessura média de 2,5 cm, conforme NBR11173 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS³, 1990) e o desenho acaba tendo importante papel na resistência e rigidez dos componentes. Como o material é moldável, formas orgânicas, curvas, plissadas, dobradas, etc podem ser obtidas. As formas estruturais de membranas e placas dobradas são exemplos de concepções formais que se apresentam muito adequadas ao potencial deste material (HANAI, 1996). Para cumprir suas funções estruturais, funcionais e estéticas, as propriedades necessárias dos componentes são:

- Rigidez e
- Estabilidade dimensional para se manter dentro de limites de deformabilidade aceitáveis durante sua vida útil, incluindo-se aqui também os aspectos relativos a deformações volumétricas por retração, fluência e temperatura por desgaste superficial ou por suscetibilidade à corrosão química do aço.

Para tanto, o material precisa ter “elevada compacidade e baixa permeabilidade para funcionar como uma barreira eficiente à passagem de líquidos e gases no seu interior que possam prejudicar a proteção da armadura ou as próprias condições de utilização do componente ou estrutura” (HANAI, 1996). Já a rigidez e estabilidade dimensional irão depender da forma e dimensionamento da armadura difusa.

Componentes em argamassa armada podem ser produzidos de diversas maneiras, como por exemplo: com fôrmas de madeira, alvenaria, aço; aplicação da argamassa manualmente; por bombeamento, projeção; cura por imersão; cura térmica; cura a vapor etc. Essa versatilidade de modo de produção amplia as possibilidades de uso do material, favorecendo sua adequação ao contexto sócio econômico brasileiro. As peças podem apresentar diferentes níveis de desempenho a depender de como foi projetada, executada (processo mecanizado ou rudimentar) e qual será seu uso. Mas dadas as condições atuais de necessidade de produção em escala e de controle da qualidade, a produção manual torna-se inviável para atingir os níveis de desempenho requeridos.

³ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT

Como resultado de diversas pesquisas sobre a argamassa pelo Grupo de São Carlos, seguem abaixo as propriedades físicas do material, tanto no seu estado fresco como no seu estado endurecido.

3.2. Organização da Oficina de Argamassa Armada

Na usina de pré-fabricados em argamassa armada do CTRS, a tecnologia da argamassa armada utilizada por Lelé encontra-se em sua fase mais madura. Contando com uma equipe que o acompanha há mais de 25 anos, os projetos das peças e seu processo produtivo foram sendo revistos e aperfeiçoados, também a partir da observação das peças em uso.

Todo o CTRS ocupa uma área construída de aproximadamente 20.000 m² e seu custo de implantação (construção, instalações e equipamentos) foi estimado na época (início da década de 1990) em US\$ 15.000.000,00 (LATORRACA, 2000). A área coberta da oficina de argamassa armada é de aproximadamente 2.700 m² e seu pátio descoberto de 4.700m². A usina de pré-fabricados em argamassa armada já chegou a ter 130 funcionários, hoje só tem 18, o suficiente para atender as atuais demandas de projeto. A impossibilidade do Centro de executar obras além do universo da Rede Sarah contribuiu para esta redução, como já revelado no capítulo anterior.

O espaço de produção de uma fábrica de pré-fabricados é organizada em função do modo de produção de suas peças. No caso do CTRS, onde as fôrmas são móveis, tipo carrossel, “(...) esse tipo de execução é caracterizado pela movimentação da fôrma, em que as várias atividades (limpeza de fôrma, montagem de armadura na fôrma, moldagem, desmoldagem etc) são feitas em estações por equipes estacionárias” (EL DEBS, 2000). A usina de argamassa armada do CTRS é organizada da forma esquematizada na Figura 1 e ilustrada na Figura 2.

1. Preparação de armaduras
2. Preparação das fôrmas
3. Preparação da argamassa
4. Moldagem de elementos
5. Tanques de cura
6. Desfôrma
7. Controle de qualidade e reparo
8. Em área externa, estoque e despacho de elementos
9. Armazenagem de fôrmas (térreo), administração (1º andar)

Figura 1 – Planta da Oficina de Pré-moldados (argamassa armada) do CTRS. Fonte: Redesenho da autora com base em planta cedida pelo CTRS.

Figura 2 - Vistas da usina de argamassa armada do CTRS em Salvador/BA. À esquerda: tanques de cura; ao centro : preparação das fôrmas; à direita: pátio de estoque e transporte. Fonte: fotos da autora, 2006.

A execução de componentes pré-moldados se enquadra na sistematização elaborada por El Debs (2000), que divide o processo nas etapas apresentadas na Figura 3.

Figura 3 - Fluxo de produção de componentes pré-moldados. Fonte: EL DEBS, 2000.

Durante visitas da autora à fábrica, observou-se a segurança no trabalho como requisito básico na produção. Todos os funcionários recebem treinamento para a execução da sua atividade e trabalham com fardamento adequado, capacete, protetores auriculares e óculos, quando necessário. O cuidado com o pessoal vai além do ambiente de trabalho: os trabalhadores recebem almoço balanceado por nutricionistas do Centro, possuem sala de descanso e lazer, participam de atividades recreativas (campeonatos de futebol) organizadas pelo Centro, além de receberem suporte médico/hospitalar e auxílio educação. De fato, a preocupação social presente em discursos do arquiteto, há muito tempo revela-se no cotidiano do trabalho e é reconhecida por estudiosos do tema, como atesta a seguinte citação de Hanai (1992)

O seu trabalho [de Lelé] com argamassa armada tem um significado muito especial, pela qualidade arquitetônica, pelas inovações tecnológicas introduzidas, pelo alcance social das obras, e, sobretudo, pelo tratamento dado às relações humanas com a construção, tanto no seu uso quanto a sua produção e montagem.

3.3. Concepção das fôrmas

As fôrmas, na produção de pré-moldados, merecem atenção desde o seu projeto, uma vez que um bom molde é necessário para produzir uma boa peça (BENTES, 1992). As fôrmas foram projetadas por Lelé e sua equipe e confeccionadas pelo setor de metalurgia pesada do próprio CTRS. Produzidas em aço, as fôrmas já foram feitas com chapa de espessura 6,3 mm (1/4"). Hoje são com chapas de espessura 3,2 mm (1/8"). A observação do processo ao longo dos anos

proporcionou uma alteração no desenho da fôrma e no processo produtivo permitindo a redução da espessura das chapas. A rigidez e a resistência das fôrmas advêm, além do material, do seu desenho, que, com costelas, evita deformações durante o adensamento, cura e desfôrma. A construção de novas fôrmas e a manutenção das existentes são feitas no setor de metalurgia do CTRS.

As fôrmas, por serem de aço, têm maior durabilidade e aproveitamento em comparação as de madeira, além de proporcionar um acabamento de melhor qualidade, com maior perfeição e precisão (HANAI, 1992; BENTES, 1992). Esta qualidade e o grande número de utilizações equilibram seu alto custo. No CTRS, todas as formas são móveis, de forma que são elas, durante todo o processo, que são movidas de um lugar para outro.

Os moldes são concebidos de forma a terem arrastes favoráveis (inclinações ou curvaturas adequadas) para a desfôrma, de maneira a não sacrificar a peça com esforços exagerados.

O CTRS trabalha com diversos tipos de fôrma. Hanai (1992) classifica como fôrma simples a que envolve um pouco mais do que a metade da peça, deixando a outra metade exposta, e como fôrma dupla ou fôrma envolvente a que envolve grande parte da superfície da peça. A Figura 4 apresenta exemplos de fôrma simples e fôrma dupla usadas no CTRS.

Figura 4 – À esquerda: Fôrma simples. À Direita: fôrma dupla. Fonte: Foto da autora, 2006.

No caso de fôrmas duplas, diversos sistemas de travamento foram testados, tais como dobradiças, encaixes, juntas de borracha, sobreposição de chapas etc. No entanto, apresentavam problemas de estanqueidade, com vazamento de calda de cimento. Atualmente, o sistema de travamento é de pino e cunha, e o molde possui uma curvatura mínima tal, que ao ser fechado, fica levemente tensionado, favorecendo a vedação. Ao abrir, o retorno das chapas à posição original favorece o desmolde.

Quando o projeto arquitetônico demanda variações nos componentes, as fôrmas, sempre que possível, são adaptadas para executar essas pequenas alterações nas peças. Essa versatilidade proporciona significativa economia.

3.4. Preparação das fôrmas

As fôrmas, após seu uso, são guardadas limpas (Figura 5 à esquerda), prontas para a produção seguinte. Já limpas, recebem a aplicação de cera desmoldante (composta por hidrocarbonetos parafínicos) caso venham a ser imediatamente reutilizadas (Figura 5 à direita).

Figura 5 – À esquerda: Limpeza da fôrma. À direita: Aplicação de desmoldante. Fonte: Foto da autora, 2006.

3.5. Preparação das armaduras

As telas eletrosoldadas (armadura distribuída) e fios (ou barras, armadura principal nos casos necessários) de aço são armazenadas em bobinas. Quando utilizados,

passam pela calandragem (máquina “endireitadeira”) que tira as dobras ou curvaturas dos fios e da tela, retificando-os e aplainando-os (Figura 6 e Figura 7).

Figura 6 – Máquina para desbobinamento e calandragem de fios – “endireitadeira”. Fonte: Foto da autora, 2006.

Figura 7 - Máquina para desbobinamento e calandragem de tela – “endireitadeira”. Fonte: Foto da autora, 2006.

Depois o fio ou a tela são medidas com gabarito marcado na mesa e cortados, como exposto na Figura 8. É necessário que esse corte seja preciso, uma vez que influi na qualidade da peça. A cortadeira do CTRS corta chapas de aço ou outros materiais com espessura de até 25,4 mm (1”).

Figura 8 - Equipamento de corte de fios (à esquerda) e de tela (à direita) – “cortadeira”. Fonte: Foto da autora, 2006.

Pré-fabricados em argamassa armada:
material, técnica e desenho de componentes desenvolvidos por Lelé.

As telas são dobradas com o auxílio da “dobradeira”, máquina, que, com o auxílio de gabaritos de dobramento e marcações nas mesas, dobra a tela ou o fio na posição correta (Figura 9 e Figura 10).

Figura 9 - Equipamento de dobra de tela – “dobradeira”. Fonte: Foto da autora, 2006.

Figura 10 - Equipamento de dobra de fios – “dobradeira”. Fonte: Foto da autora, 2006.

Cortadas e dobradas as peças, monta-se a armadura de acordo com o projeto. Unem-se os fios (quando houver) e as telas, fixando com pequenos pedaços de arame (Figura 11 à esquerda). No caso de não haver tela (quando do uso de fibras), os perfis estruturais são soldados (Figura 11 à direita), para maior segurança, evitando deslocamentos depois da fixação.

Figura 11 – À esquerda: Montagem da armadura. À direita: Armadura soldada. Fonte: Foto da autora, 2006.

Pré-fabricados em argamassa armada:
material, técnica e desenho de componentes desenvolvidos por Lelé.

A última etapa da preparação da armadura é a colocação de espaçadores. Esses espaçadores de plástico, fabricados pelo próprio CTRS a partir das sobras da usina de plástico do Centro, são responsáveis pela garantia do cobrimento da armadura das peças de argamassa armada. São colocados aleatoriamente, mas equilibradamente distribuídos, em diversos pontos, sem economia (Figura 12). Assim, evita-se eventual exposição da armadura ou redução da espessura do cobrimento. Estranha-se não haver limitação de uso por m², uma vez que os espaçadores tocando a superfície podem ser pontos frágeis para a oxidação da armadura. A preocupação em se garantir o cobrimento adequado da armadura apresenta-se mais relevante.

Bentes (1992) ressalta a importância de se verificar a colocação do espaçador no fio que está no plano mais próximo da fôrma (a tela soldada tem dois planos de fios).

A norma NBR11.173 (ABNT, 1990) recomenda que a espessura nominal do cobrimento da armadura deve ser de 4mm para peças utilizadas em ambientes protegidos e de 6mm para peças utilizadas em ambientes não protegidos. A norma ainda estabelece que a tolerância para esse cobrimento é de $\pm 2\text{mm}$. Quanto à espessura máxima de cobrimento, Hanai (1992) afirma: "Não há dados precisos /.../; camadas muito espessas levariam a um desvirtuamento do conceito de armadura difusa destinada ao controle de fissuração".

Nas peças produzidas atualmente no CTRS os espaçadores possibilitam um cobrimento de armadura por volta de 6mm.

Figura 12 – À esquerda: Colocação de espaçadores. À direita: Armadura com espaçadores. Fonte: Foto da autora, 2006.

As atividades de corte e dobra, por serem conduzidas manualmente, ou seja, um processo mais artesanal, são passíveis de variações. Neste caso, “esforços devem ser envidados no sentido de se limitar ao mínimo possível as fases do processo que possibilitem aos operários cometer erros ou imperfeições” (BENTES, 1992).

Atualmente há dois tipos de armadura distribuída nas argamassas armadas produzidas no CTRS: tela de aço e a fibras de aço picadas usadas em feixes e incorporadas à argamassa durante o preparo da mesma (Figura 17 à direita).

Figura 13 – À esquerda: Fibras de aço picadas. Fonte: foto da autora, 2006. À direita: Fibras de aço picadas utilizadas no CTRS. Fonte: http://www.belgomineira.com.br/produtos/construcao_civil/dramix/dramix.asp

Ao longo do tempo, esse o uso das fibras picadas tem proporcionado maior economia, sem no entanto comprometer a qualidade das peças. Há uma tendência, apontada pela recente literatura especializada (NAAMAN, 2008) em transformar a argamassa armada em um material compósito, ou seja, um material reforçado com fibras de diversos tipos, tais como: as de aço, fibras manufaturadas (poliméricas ou minerais) de alto desempenho (carbono, aramida, vidro), fibras naturais (juta, sisal). Essas fibras tendem a ser incorporadas à argamassa na forma de fibras picadas agrupadas em feixes, em forma de mantas tecidas e não tecidas em arranjos planos ou tridimensionais (NAAMAN, 2008).

O uso das fibras contribui para a melhoria da resistência do componente a impacto, para a redução do índice de perdas e quebras por seu efeito redistributivo de esforços, além de simplificar o processo produtivo. Pesquisas comprovam que as fibras de aço são menos suscetíveis a corrosão do que as armaduras convencionais de aço (FIGUEIREDO, 2000).

3.6. Montagem das armaduras nas fôrmas

Uma vez a fôrma pronta (limpa e untada com desmoldante) e a armadura preparada, monta-se a armadura na fôrma, enquanto, no outro setor, a argamassa está sendo preparada. Nesta etapa de montagem armadura/fôrma, observa-se se os cortes e dobras foram perfeitos, permitindo perfeito encaixe, e se os espaçadores são suficientes, como mostrado na Figura 14 à esquerda. Caso o conjunto não precise de ajuste, fecha-se a fôrma (no caso de forma dupla) que fica disponível para enchimento (Figura 14 à direita e Figura 15).

Figura 14 – À esquerda: Colocação da armadura na fôrma. À direita: Fechamento de fôrma dupla. Fonte: Foto da autora, 2006.

Figura 15 - Fechamento / travamento de fôrma dupla. Fonte: Foto da autora, 2006.

3.7. Preparação da argamassa

Os materiais utilizados no preparo da argamassa são: cimento Portland composto com adição escória granulada de alto forno de classe de resistência 32, CII-E 32 caracterizado segundo NBR11578 (ABNT,1991), pó de pedra⁴ e água.

O pó de pedra lavado, vindo de pedreiras, veio substituir a areia, vinda de dunas. Essa areia foi gradativamente substituída por constantemente apresentar impurezas e sais. Em dado momento misturou-se areia com o pó de pedra na proporção de 50% cada. Hoje, a mistura foi extinta e usa-se apenas o pó de pedra. Em algumas situações, determinadas em projeto, utiliza-se a vermiculita, para adequar o desempenho térmico e acústico do componente às necessidades dos usuários.

Figura 16 - Argamassadeira. Fonte: foto da autora, 2006 (à esquerda) e Cláudia Oliveira (direita).

O traço utilizado para a argamassa simples é de 1 padiola (de $0,0875\text{m}^3$) para cada saco de cimento, com relação água-cimento (a/c) de 0,4 a 0,5. Os materiais precisam estar secos no momento de dosagem.

⁴ Pó de pedra, areia artificial e areia industrial são designações populares do que tecnicamente é conhecido como material fino de britagem. Esse material é subproduto da cominuição de rocha para produção de agregado graúdo para concreto e é classificado como todo o material passante pela peneira de malha quadrada de abertura 4,8mm (LANG, 2006, p.1). Neste trabalho será usado o termo pó de pedra por ser aquele informado na coleta de dados junto ao CTRS.

Figura 17 - Materiais: pó de pedra (esquerda) e vermiculita (à direita).Fonte: foto da autora.

Após a determinação das massas do agregado e do cimento, esses materiais são colocados num recipiente na altura do solo como ilustrado na Figura 18 à esquerda. Coloca-se primeiro parte do agregado, que é medido e despejado manualmente com uma padiola. Depois o cimento é depositado no mesmo recipiente. Este fica armazenado num silo (com 4.000 kg de capacidade) é dosado por controle mecânico (Figura 18 à direita) e levado ao recipiente por gravidade, através de uma mangueira (Figura 19 à esquerda). Depois, a parte restante do agregado é depositada, da mesma forma da primeira parte. Enfim esse recipiente é elevado por um plano inclinado (Figura 19 à direita) e despejado na misturadora (Figura 20 à esquerda). Lá, acrescenta-se a água, dosada mecanicamente, e, quando o caso, a fibra de aço (Figura 20 à direita). Essas fibras são comercializadas coladas, como pentes, e se soltam durante o processo de mistura. No entanto, se mantidas durante 24 horas em água antes de acrescentá-la à mistura, garante-se que se soltem mais facilmente e se homogeneízem na argamassa. A capacidade da máquina misturadora do CTRS é de 10 m^3 de argamassa / hora, limite este nunca atingido.

Figura 18 - À esquerda: recipiente de pré-mistura. À direita: controlador de dosagem. Fonte:foto da autora.

Figura 19 – À esquerda: colocação do cimento. À direita: Transporte por elevação até a misturadora. Fonte: foto da autora.

Figura 20 – À esquerda: Interior da misturadora. À direita: Colocação das fibras de aço (quando houver). Fonte: foto da autora.

Depois de misturada, a argamassa no estado fresco é despejada em novo recipiente (Figura 21 à esquerda), que se eleva até elevada até cerca de 5 metros de altura, onde é liberada num silo (Figura 21 à direita), estando pronta para lançamento.

Figura 21 – À esquerda: recipiente pós-misturador. À direita: Silo. Fonte: foto da autora.

3.8.Lançamento e adensamento da argamassa

A argamassa desce do silo por gravidade por meio de uma mangueira até chegar ao bico de projeção, controlado pelo executor/operador. O comprimento da mangueira depende do tipo de fôrma, horizontal ou vertical. No primeiro caso, ela encontra-se, ao nível do solo, já preparada com a armadura, sobre uma mesa vibratória (Figura 22 à esquerda). O executor controla manualmente a saída de argamassa e, à medida que vai sendo lançada e adensada, vai sendo espalhada por toda a fôrma com colher de pedreiro (Figura 22 à direita e Figura 23). Nesses casos de fôrmas simples, a peça fica metade com acabamento de fôrma, metade com acabamento manual.

Figura 22 – À esquerda: Deslocamento da fôrma e mesa vibratória. À direita: Lançamento e adensamento. Fonte: foto da autora.

Figura 23 - Lançamento e adensamento. Fonte: foto da autora.

No caso de fôrmas verticais, sempre envelopantes, a mangueira é mais curta, e o executor fica em cima de uma plataforma a cerca de 3 metros de altura do piso da usina para controle do lançamento. A peça começa a ser preenchida pelos cantos,

para evitar criação de bolhas de ar durante o enchimento. O molde vai sendo enchido enquanto o equipamento de vibração, preso à forma, vai adensando a argamassa (Figura 24). Ao contrário do que acontece no concreto, o grande deslocamento da argamassa durante o lançamento não provoca segregação dos materiais, revela Hanai (1992): “A despeito das expectativas inicialmente contrárias sobre esse processo, a argamassa preenche toda a fôrma, sem se segregar, sobretudo pelo fato de que a argamassa é mais homogênea do que o concreto”.

Figura 24 - Enchimento de fôrma vertical. Fonte: foto da autora.

Após cada uso, todo o equipamento é lavado. A limpeza é condição elementar de trabalho no CTRS, como pode ser visto na Figura 25.

Figura 25 – Limpeza do ambiente. Fonte: foto da autora.

O CTRS possui 4 linhas de produção, com equipamento vibratório e tanques de cura cada uma.

3.9. Cura

Preenchida a fôrma, esta é mergulhada num tanque de cura onde permanece até que a peça tenha condições de ser desformada (Figura 26, Figura 27 e Figura 28). “Na execução de elementos pré-moldados procura-se sempre liberar a fôrma e o elemento moldado o mais rápido possível,/.../para aumentar a produtividade do

processo” (El Debs, 2002). No CTRS, devido às condições de cura (normal por imersão em água a 60°C e sem utilização de aditivos aceleradores de pega) é possível haver desfôrmas de peças com apenas quatro horas. Neste momento, a peça já atingiu resistência mecânica suficiente para os impactos da desmoldagem. Não há, no CTRS, tanques para segunda cura. Sempre que possível, as peças permanecem imersas por mais tempo no tanque.

Pelo fato das peças de argamassa armada serem esbeltas, com grande superfície exposta em relação ao seu volume, a cura deve ser cuidadosa, para evitar perda excessiva de água.

A cura por imersão é um processo eficiente e seguro, menos sujeito a negligências como as que ocorrem nos processos de molhagem por aspersão. As experiências indicaram que é importante a imersão da fôrma preenchida no tanque de cura de 1ª fase, imediatamente após o adensamento, para se evitar fissuras decorrentes de deformações diferenciais entre fôrma e peça de argamassa armada no seu interior. O aquecimento da água do tanque de cura, para o que concorre também o calor de hidratação do cimento, ajuda na redução do tempo necessário para desforma. (HANAI,1992)

Figura 26 – À esquerda: Tanques de cura. À direita: Colocação de fôrmas no tanque. Fonte: foto da autora.

Figura 27 - Colocação de fôrmas horizontais no tanque. Fonte: foto da autora.

Figura 28 – Colocação de fôrmas verticais no tanque. Fonte: foto da autora.

3.10. Desfôrma

A desfôrma é realizada com a peça recém saída do tanque de cura. Ainda quente, o componente é retirado da fôrma, que por sua vez tem desenho favorável ao desmolde. As fôrmas envoltentes são destravadas com batidas de martelo de borracha sobre os pinos encaixados nas cunhas (desmoldagem por separação dos elementos). As etapas da desfôrmas podem ser visualizadas nas Figura 29, Figura 30 e Figura 31.

Figura 29 – À esquerda: Abertura da fôrma. À direita: Desfôrma da peça. Fonte: foto da autora.

Figura 30 – À esquerda: Retirada da tampa da fôrma. À direita: Içamento da peça desmoldada. Fonte: foto da autora.

Figura 31 - Desmolde de fôrma vertical. Foto da autora.

As fôrmas simples são posicionadas de cabeça para baixo e, com leves batidas, as peças soltam-se (desmoldagem direta) (Figura 32 e Figura 33). Em seguida são enviadas para vistoria, empilhadas e já organizadas para posterior paletização e expedição.

Figura 32 – À esquerda: Fôrmas recém retiradas do tanque de cura. À direita: Desmolde de fôrma horizontal simples. Fonte: foto da autora.

Figura 33 - Peças recém desmoldadas. Fonte: foto da autora.

3.11. Vistoria de controle de qualidade e reparos

Todas as peças passam por vistoria antes de sair da oficina. No caso do processo produtivo ter ocorrido normalmente, sem nenhum contratempo que eventualmente pudesse comprometer o desempenho das peças, o controle de qualidade se dá basicamente pela inspeção visual. Na vistoria de controle de qualidade e reparos, pequenas falhas localizadas (Figura 34) são reparadas com uma mistura de argamassa e adesivo à base de PVA (poli(acetato de vinila)).

Figura 34 - Peças que necessitam de reparo. Fonte: foto da autora.

Poucas irregularidades são constatadas nas peças produzidas pelo CTRS, como reflexo dos cuidados adotados durante todo o processo. Vale no entanto, apresentar as anomalias mais comuns na produção de peças em argamassa armada que eventualmente também podem ser detectas nas peças produzidas no Centro:

Cantos quebrados (por lascamento durante a desforma), fissuras, trincas, armaduras aparentes, texturas diferenciadas indicadoras de segregação do agregado, de vazamento de calda de cimento ou de ineficiência do agente desmoldante, pequenas cavidades resultantes de bolhas de ar que permaneceram durante o adensamento, irregularidades na superfície (HANAI, 1992).

3.12. Transporte

As peças, prontas e acabadas, são empilhadas e organizadas em *pallets* e armazenadas no pátio externo da usina, já posicionadas de forma a facilitar a arrumação no caminhão (Figura 35 e Figura 36). As peças não ficam em contato direto com o solo.

Figura 35 - Estoque em *pallets*. Fonte: foto da autora.

As peças são içadas e organizadas no caminhão de forma a aproveitar o carregamento máximo possível do transporte (Figura 37 e Figura 38). Os componentes costumam viajar longas distâncias até seu destino final onde serão montados junto com os demais componentes do edifício. Portanto, são bem amarradas, com travamento em “X”, para evitar possíveis deslocamentos (Figura 39). A título de exemplo, recentemente foram transportadas, por via rodoviária, peças até a cidade de Macapá – AP que dista cerca de 2.933 km de Salvador. O inconveniente de transporte com longas distâncias é o aumento de eventuais danos às peças transportadas, agravado pela má qualidade da malha rodoviária brasileira. O custo de transporte também coloca em questão a viabilidade de um único centro de produção para atender às demandas de todo o país.

Figura 36 – À esquerda: Estoque de *pallet*. À direita: Armazenagem para transporte. Fonte: foto da autora.

Figura 37 - Dispositivo de içamento de peças. Fonte: foto da autora.

Figura 38 - Carregamento do caminhão. Fonte: foto da autora.

Figura 39 - Arrumação das peças na carroceria. Fonte: foto da autora.

3.13. Custo de produção

Os custos aqui apresentados devem ser entendidos como estimativas, cabendo cálculo mais detalhado para cada obra. Isso porque particularidades como

Pré-fabricados em argamassa armada:
material, técnica e desenho de componentes desenvolvidos por Lelé.

complexidade da peça, nível de mecanização do processo produtivo e local, dentre outras, interferem no resultado. Outra observação é que o custo de produção do CTRS foi informado à autora em sua composição final (sem discriminação dos itens considerados no cálculo) o que implica em possibilidade de erro na comparação. A composição de custo apresentada por Hanai (1992) considera os seguintes itens: argamassa, armadura, forma, aplicação/argamassa, transporte/montagem, outros. O cálculo de Hanai tem como data-base janeiro de 1987 e o do CTRS, janeiro de 2009.

Dados:

- Custo de 1m² de estrutura laminar: US\$ 18,1214 (HANAI, 1992)
- Custo de produção do CTRS: R\$ 0,74/kg com tela

Sendo:

- Espessura média da peça considerada por Hanai: 25mm (HANAI, 1992)
- Câmbio de moeda: 1US\$ = R\$2,39 (fev/2009)
- Peso específico da argamassa armada: 2300 kg/m³

Resultados:

- Argamassa armada do CTRS: US\$ 17,8/m² ou R\$ 0,74/kg
- Argamassa armada (Hanai, 1992): US\$ 18,1214/m² ou R\$ 0,7532/kg

Como foi comentado, o CTRS também está produzindo atualmente argamassa armada com fibra de aço. Os dados acima são da argamassa armada com tela. Com fibra de aço, o valor é de R\$0,66/kg.

O custo atual de produção do CTRS é praticamente equivalente ao valor fornecido por Hanai (1992), embora Lelé tenha declarado à autora que considera esse custo elevado, levando em conta que o potencial da fábrica não está sendo utilizado plenamente.

3.14.Considerações sobre o capítulo

Lelé é considerado o maior divulgador da tecnologia da argamassa armada no Brasil (BENTES, 1992; CAMPOS, 2002; HANAI, 1992), tendo contribuído muito para sua

evolução. A usina de pré-fabricados sempre esteve próxima à sua prancheta, o projeto e a execução dos componentes eram desenvolvidos num único processo, indissociável.

O CTRS representa uma fase madura de projeto e produção, onde as formas dos componentes, com seus detalhes, encaixes, reentrâncias e acabamento são fruto de um trabalho coordenado e comprometido em todas as suas fases. O controle de qualidade se dá em todas as etapas e globalmente, desde o projeto, passando à produção, montagem até seu uso final. O resultado dessa coerência no conjunto é a obtenção de um produto industrializado de qualidade, reconhecido pelos setores envolvidos com a evolução e a inovação da construção civil.

Como foi comentado no capítulo anterior, o CTRS tem sua produção restrita à Rede Sarah e atualmente está com sua produção abaixo do seu potencial. Sem referir-se a números, Lelé lamenta as atuais limitações:

Lelé - Nossa fábrica previa uma ampliação. Mas parou porque para fazer só os hospitais da rede Sarah não tem necessidade de aumentar. Mas mesmo com a instalação atual, nós temos potencial para atender, talvez, oito vezes mais do que estamos fazendo agora. Acho até uma coisa antipatriótica, porque isso aqui é dinheiro público. Houve um investimento grande nessa fábrica, foram 17 milhões de reais para que ela esteja trabalhando abaixo de seu potencial. (ANTUNES, 2008)

A pré-fabricação pressupõe produção em larga escala. Não sendo atendido esse pré-requisito, a industrialização torna-se cara e inviável economicamente. Em entrevista concedida à autora (agosto de 2006), Lelé afirma: “Se eu tivesse oportunidade em vida ainda, eu me dedicaria a explorar a argamassa armada”. Explicando as atuais limitações do CTRS, explica: “A gente não pode pensar em evoluir na argamassa armada [com essas limitações de demanda]. Evoluir na argamassa armada, industrializada como eu acho que ela tem que ser, você precisa de programas muito grandes.

Desenho e desempenho

O estudo e a compreensão do processo construtivo como um todo (concepção, produção, montagem, uso e manutenção) resulta na forma e no desenho de componentes, elementos e/ou sistemas construtivos. Considerando o potencial de interferência do desenho no desempenho destes componentes, elementos e/ou sistemas, este capítulo traz para a discussão o conceito de *projeto orientado ao desempenho*¹ (GIBSON, 1982), aplicado empiricamente por Lelé em suas obras.

No caso da tecnologia da argamassa armada, o material e seu processo de produção já foi mais pesquisado (BENTES, 1992; HANAI, 1992; LIBÓRIO, 1989; MARCELLINO, 1991) do que a contribuição do desenho à tecnologia. O grande potencial da argamassa armada está na exploração das formas. Devido às características do material, seu desenho é muitas vezes é um fator mais determinante da sua capacidade resistente do que a própria resistência do material. Nesse sentido, os componentes concebidos por Lelé podem ser tomados como referência de como as formas podem contribuir para o bom desempenho dos edifícios e de suas partes ou subsistemas.

4.1. Desenho

4.1.1. Forma como resultado de um processo

A compreensão do significado e da razão das formas dos componentes construtivos passa pelo entendimento do seu processo de concepção, produção, montagem, uso e manutenção.

¹ Nesta pesquisa, quando projetos que aplicam este conceito foram referenciados, considerou-se mais adequado o uso do termo *projeto orientado ao desempenho* no lugar de *projeto com base no desempenho*. Isso porque se entende que o processo de projeto deve remeter-se aos requisitos de desempenho de forma orientativa, como um guia e não se apoiando neles com obediência qualitativa e quantitativa, como o segundo termo pode sugerir.

Subentende-se também o domínio por parte do profissional das leis da natureza, como por exemplo os princípios científicos da física, química e matemática. Isto porque o comportamento real do componente pode ser previsto com base nos conhecimentos da ciência por meio de estudos analíticos e simulações reais e virtuais (Figura 1).

Figura 1 – Simulação do movimento do ar no ambiente com base para as soluções técnicas que melhoram o conforto térmico e a salubridade dos ambientes internos. Fonte: imagem cedida por Lelé.

Conceber a forma consiste em entender a propriedade do material e sistema escolhido e então em definir a geometria mais adequada para atender aos requisitos de projeto. Nesse momento de criação recomenda-se que a intuição e a observação sejam exercitadas (Figura 2). Depois vêm o cálculo e dimensionamento, indicados para comprovações e ajustes do projeto. Em outras palavras, a concepção passa pelo entendimento do sistema, já o dimensionamento consiste em sua quantificação.

Figura 2 – Maloca africana. Entendimento de como o material natural usado (folhas e fibras vegetais) podem ser usados da maneira mais eficiente na conformação e construção dos espaços. Fonte: Imagem cedida por Lelé.

Antes e acima de todo cálculo está a idéia, modeladora do material em forma resistente, para cumprir sua missão (TORROJA, 1960)

O cálculo existe para comprovar e corrigir o que se intuiu (REBELLO, 2001)

4.1.2. Lelé e a questão do desenho

O arquiteto Lelé conhece as possibilidades das técnicas construtivas com as quais trabalha, podendo assim, explorar suas potencialidades. Tendo trabalhado com pré-fabricação e, portanto, compreendendo seu conceito, concebe o edifício e seus componentes construtivos buscando tirar partido de suas possibilidades. Por exemplo: no caso dos edifícios desenvolvidos com a tecnologia da argamassa armada, forma e estrutura na sua arquitetura se confundem desde sua concepção. Os componentes, delgados, são como membranas que ganham rigidez na definição de suas formas geométricas (cascas/abóbadas, painéis etc) e suas dobraduras e saliências. Tanto o edifício quanto cada componente seu é definido tendo-se clara a compreensão do seu comportamento. (Figura 3).

Como todo novo material, esbarra-se na questão do projeto, sendo necessário aprender a projetar empregando a argamassa. (FUSCO, 1986 apud LIBORIO, 1989)

Figura 3 – Creche em Salvador. Fonte: imagem cedida por Lelé.

O desenho de Lelé, além de ser um signo de registro, funciona como método de trabalho. Lelé optou por não adotar o computador como ferramenta de projeto e desenha toda sua arquitetura, da escala micro à macro, à mão (Figura 4). Não apenas os desenhos iniciais, de concepção, como também aqueles para produção,

são desenhados em escala 1:1. Já sua equipe mescla desenhos à mão com desenhos no computador, mas preferem esse último apenas para representação, não utilizando essa ferramenta para a concepção dos projetos.

Num objetivo o desenho substitui e representa a arquitetura, no outro, a descreve e permite sua execução (PERRONE, 1993)

Figura 4 – À esquerda: perspectiva de edifício. À direita: detalhamento ilustrado das soluções de conforto térmico para um ambiente. Fonte: imagens cedidas por Lelé.

Os elementos gráficos que chegam ao detalhe revelam como se resolvem os encontros, as interfaces entre os componentes de um mesmo subsistema e entre subsistemas do edifício.

Os desenhos de componentes, embora se refiram a partes e pormenores da obra, não se confundem com os desenhos de detalhes, que representam relações entre vários elementos, processos e fases. Os desenhos de componentes representam peças isoladas de um dos sub-sistemas construtivos do qual se constituirá a obra a ser realizada. O advento da industrialização da construção proviu o desenho de arquitetura de um grande número de peças e elementos industriais, que apenas são especificados pra a utilização no projeto a ser executado. (PERRONE, 1993, pág 34, v1) (Figura 5)

Figura 5 – À esquerda: foto aérea da montagem do telhado. À direita: foto do detalhe da fixação das peças pré-fabricadas com o fuste metálico. Fonte: imagens cedidas por Lelé.

Além da questão do material e sua técnica, o desenho responde às necessidades sociais que precisam ser satisfeitas. Os custos de execução e manutenção da obra são também variáveis de projeto, considerados inclusive para a escolha dos materiais e técnicas construtivas.

Uma importante variável de projeto das escolas em Abadiânia, por exemplo, era o custo e a urgência em oferecer à comunidade condições mínimas para implantação de uma escola. A argamassa armada foi considerada por Lelé adequada à ocasião por apresentar baixo custo, rapidez na execução (o tempo total da experiência de Abadiânia incluindo fabricação e montagem foi de 45 dias), ter seus materiais constituintes disponíveis na região, proporcionar conforto ambiental a partir das soluções de projeto, facilidade de manutenção e possibilidade de uso da mão de obra local. A pré-fabricação, que, diante da mão de obra não especializada, poderia não ser considerada possível, foi realizada trazendo benefícios sociais à comunidade, qualificando trabalhadores. Como foi apresentado no capítulo anterior, a durabilidade de componentes de argamassa armada está diretamente ligada ao nível de controle na produção. Sendo assim, a industrialização, ainda que simples como a de Abadiânia, sempre foi defendida por Lelé.

A proposta de industrialização com argamassa armada sempre foi feita com o objetivo de não criar desemprego. Fiz uma experiência em Abadiânia (interior de Goiás), uma comunidade extremamente pobre, na qual apliquei uma proposta de qualificação. E aquelas pessoas entenderam um processo lúdico de montagem. (ANTUNES, 2008)

Um manual ilustrado (LIMA, 1984 e Figura 6) foi elaborado por Lelé para compreensão do processo construtivo e montagem dos componentes pela mão de obra local. O desenho cumpre sua função de comunicação. O processo construtivo foi descrito passo-a-passo no manual para garantir correta execução do projeto. O projeto foi concebido e registrado de fato como um processo, e não como uma obra acabada. Um exemplo de ilustração pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 - Imagem do manual ilustrado para construção da escola descrevendo as técnicas para locação da obra. Fonte: LIMA, 1984.

4.2. Desempenho

4.2.1. Projeto orientado ao desempenho

As decisões de projeto tomadas pelo arquiteto durante a etapa de concepção têm implicações de caráter estético, técnico-construtivo, econômico e social. Busca-se a satisfação do usuário do edifício enquanto se equaciona todas as variáveis do processo construtivo. Portanto, para que o edifício atenda as condições necessárias de segurança e habitabilidade, o projetista deve buscar sempre ter em mente a visão global de toda a obra e, acima de tudo, estar ciente das consequências que as suas decisões de concepção e soluções de projeto trarão ao processo e ao produto final.

Como apresentado no Capítulo 1, a expressão/conceito de *projeto orientado ao desempenho* significa que o projeto deve ser pensado em função das qualidades que o componente e/ou edifício devem apresentar, independente da maneira como

são construídos. Intuitivamente, Lelé sempre valeu-se desse conceito para inovar ao mesmo tempo em que reforçava o foco nos aspectos formais, estéticos e espaciais (que de fato a arquitetura precisa atender).

De fato, a abordagem do desempenho permite ao projetista:

- Experimentar soluções mais eficientes e economicamente mais viáveis, compatibilizando a relação custo/benefício;
- Aplicar soluções não convencionais ou experimentar soluções inovadoras;
- Acompanhar a rápida evolução tecnológica dos materiais e métodos construtivos e as novas demandas funcionais dos edifícios e necessidades dos usuários.

O conceito de *projeto orientado ao desempenho* não é novo, apenas foi atualizado e sistematizado pelo CIB na década de 1980 (GIBSON, 1982). À medida que o conhecimento científico e técnico se amplia, vai surgindo a necessidade de nova classificação dessas informações. Nesse sentido, pode-se dizer que a idéia conceitual do *projeto orientado ao desempenho* sempre foi praticado de forma empírica e atualmente se tornou critério objetivo de análise de projeto.

Observando a história documentada da Construção Civil voltada à produção de edifícios, o conceito de projeto orientado ao desempenho, teve suas primeiras abordagens nos registros de Vitruvius, que apresentava três conceitos básicos que formavam a base do projeto de arquitetura: utilitas (funcionalidade), firmitas (estabilidade) e venustas (beleza) (POLIÃO, 1999). Estes eram os atributos (as funções) que cada arquitetura (do século I a.C), de modo geral, deveria atender.

Este clássico conceito do desempenho que traduz na sua essência o comportamento em uso, foi considerado na prática da construção civil a partir da divulgação oficial do primeiro documento normativo sobre o tema em 1984, a norma ISO6241 *Performance standards in building – Principles for their preparation and factors to be considered* (INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION, 1984).

Atualmente, no Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas normatizou esses conceitos por meio da norma NBR15575, partes de 1 a 6, publicada em maio

de 2008 (ABNT, 2008). Embora seja orientado a edifícios habitacionais de até 5 pavimentos, esse conjunto de normas pode ser tomado como referência para outros projetos, desde que observadas as particularidades e limites de aplicação dos requisitos e critérios indicados. Cabe ressaltar que as normas de desempenho vem complementar as normas prescritivas, devendo ser simultaneamente utilizadas. No caso de não haver regulamentação normativa de novas técnicas construtivas, a norma de desempenho abre possibilidade para que estas possam ser desenvolvidas com segurança. Na norma de desempenho as classes **ou itens** de requisitos de desempenho representam de forma qualitativa a interpretação técnica das necessidades dos usuários. Os critérios são a expressão quantitativa dessas necessidades.

Pode-se dizer que o contemporâneo conceito *Performance Based Building* também segue princípios funcionalistas, mas não se limita a nenhum estilo. Apenas objetiva incentivar e balizar o desenvolvimento tecnológico, além de orientar a avaliação da eficiência técnica e econômica das inovações tecnológicas (ABNT, 2008). Nesse sentido, sistematiza requisitos e critérios de desempenho e apresenta uma base técnica não-prescritiva e flexível para orientar a concepção de edifícios. No entanto, a aplicação desses conceitos requer o conhecimento e a correta identificação das necessidades dos usuários, como questões relativas à segurança, habitabilidade e sustentabilidade que o edifício deve apresentar durante a sua vida útil (classificação apresentada na NBR15575). Ampliando-se essa análise, outras necessidades dos usuários tais como os aspectos históricos ligados à construção e à tecnologia construtiva, as demandas sociais, econômicas, políticas e culturais, também devem ser consideradas e incorporadas ao projeto e obra.

A Tabela 1 apresenta as classes **ou itens** de requisitos originais divulgadas pela ISO6241 e, mais recentemente, aquelas **ou aqueles** divulgadas na norma Brasileira de desempenho, a NBR15575-1.

Tabela 1 - Itens de requisitos de desempenho ISO6241 e NBR15575-1

ISO 6241	NBR15575 - 1	
Classe ou itens de requisitos	Classe ou itens de requisitos	Descrição
1. Estabilidade	1.Desempenho estrutural	Evitar a ruína da estrutura e a exposição dos usuários ao risco de morte e da perda da integridade física
2. Segurança contra Fogo	2.Segurança contra fogo	Baixa probabilidade de início de incêndio; alta probabilidade dos usuários sobreviverem sem sofrer qualquer injúria
3. Segurança em uso	3.Segurança no uso e na operação	A edificação deve apresentar segurança no uso e operação dos equipamentos, bem como segurança contra intrusões (pessoas e animais) nas áreas comuns e de circulação.
4. Estanqueidade	4.Estanqueidade	Cuidados com a estanqueidade dos ambientes, subsistemas e componentes da edificação em relação a elementos líquidos, sólidos e gasosos.
5. Higrotermia	5.Conforto térmico	Limitações das propriedades térmicas do edifício, seus componentes e subsistemas, possibilitando o controle da temperatura e da umidade relativa do ar; controle da velocidade do ar, da radiação térmica e de condensações.
6. Pureza e qualidade do ar	6.Conforto acústico	Cuidados relativos ao isolamento acústico e níveis de ruídos dos ambientes.
7. Conforto Acústico	7.Conforto lumínico	Refere-se à iluminação natural e artificial, insolação, aspecto dos espaços e das superfícies; e vista para o exterior.
8. Conforto Visual	8.Saúde, higiene e qualidade do ar	Cuidados com a higiene pessoal e dos ambientes, abastecimento de água e remoção de resíduos, limitações na emissão dos contaminantes.
9. Conforto Tátil	9. Funcionalidade e acessibilidade	Dimensões mínimas e organização funcional dos espaços, previsão de serviços e de condições específicas de acesso e utilização, flexibilidade e possibilidade de ampliações.
10. Conforto Antropodinâmico (dinâmica)	10. Conforto tátil e antropodinâmico	As superfícies devem ser cuidadas para apresentar propriedades adequadas quanto à rugosidade, umidade, temperatura, eliminação ou redução de cargas de eletricidade estática. Referem-se a cuidados quanto a ergonomia, limitações de vibrações e acelerações, esforços de manobra e movimentações de todo o tipo, além do conforto para transeuntes em áreas de vento.
11. Salubridade Higiene	11.Durabilidade	Conservação das características da edificação ao longo de sua vida útil; limitações relativas ao desgaste e deterioração de materiais, equipamentos e subsistemas.
12. Conveniência de espaços para usos específicos	12.Manutenabilidade	A fim de que seja alcançada a durabilidade projetada para o edifício, devem previstas e realizadas manutenções preventivas sistemáticas e, sempre que necessário, manutenções com caráter corretivo.
13. Durabilidade	13.Impacto ambiental	De forma geral, os empreendimentos e sua infraestrutura devem ser projetados, construídos e mantidos de forma a minimizar as alterações no ambiente.
14. Economia (custos)		

As classes **ou itens** de requisitos da norma nacional de desempenho de edifícios, NBR15575, não são coincidentes com aqueles da ISO6241 (como pode ser observado na Tabela 1), no entanto as interpretações são similares e não divergentes. Nesta dissertação os requisitos da norma Brasileira são adotados como referência. A esses requisitos são acrescentados aqueles relacionados aos processos da fase de produção, uso e operação do edifício e o contexto (interno e externo) em que o edifício deverá atender essas necessidades. O detalhamento desses requisitos no contexto desta dissertação é feito no capítulo 6 (item 6.2).

4.2.2. Lelé e a questão do desempenho

Como citado no item 4.2.1., Lelé é um arquiteto que aplica o conceito de *projeto orientado ao desempenho* de modo empírico. A abordagem do desempenho coincide com e a questão que Lelé sempre se ateve: como o edifício e seus subsistemas vão se comportar quando estiverem em uso. Esta consideração parece óbvia e correspondida por todos os arquitetos, mas de fato ainda não é praticada levando-se em conta o seu conteúdo holístico. Este conceito pressupõe pensamento sistêmico durante o projeto e comprometimento com a fase de produção, uso e manutenção do edifício (quando de fato a eficácia da aplicação deste conceito pode ser aferida).

Lelé - A arquitetura é um processo, desde o momento em que se discute o programa. E depois esse processo, para mim, não termina nunca. Continua depois que o edifício é ocupado. É mais forte no nosso caso, que fazemos também a manutenção e investigamos nossos erros.

O mais importante que eu acho que temos de fazer é investigar nossos erros. Investigar para corrigir. Se você não tiver um feedback, se não tiver a arquitetura como um processo, parece que você esqueceu uma coisa que foi feita lá e que não tem mais nada com isso. É como se você colocasse um filho no mundo e depois esquecesse que ele existe.

E um ser humano não faz assim. É preciso que a arquitetura seja encarada como um processo. Não como um episódio que envolve a

criação no primeiro momento ou apenas a construção. Tem de ser integral. (ANTUNES, 2008)

As normas técnicas relativas à Construção Civil contribuem positivamente à evolução do mercado e da tecnologia uma vez que:

- Uniformizam a linguagem e facilitam a comunicação entre cliente e fornecedor;
- Servem de instrumento de proteção ao consumidor;
- Protegem a vida, a saúde e o meio-ambiente.

Por outro lado, estes mesmos documentos podem acabar dificultando essa evolução. As normas prescritivas, ao definirem um procedimento (no caso das técnicas) ou uma especificação (no caso dos materiais), passam a ser vistas como “verdades técnicas”, penalizando eventuais alterações e surgimento de técnicas e materiais.

Em entrevista à autora (2007), o arquiteto Lelé revela seu receio sobre as dificuldades **ou restrições** impostas pelas normas prescritivas à inovação, dando como exemplo a margem de segurança da norma de projetos estruturais em concreto armado:

A norma agora criou cobrimentos [de armadura] incríveis, de 4 cm, eu acho que vai descaracterizando o material. /.../ Eu acho que o fato de se executar mal, de criar formas de proteger uma peça que foi mal executada... o caminho não é esse, é de se executar melhor, é de qualificar as pessoas, qualificar os métodos para que se tenha um resultado melhor.²

A camada de cobrimento da armadura objetiva reduzir a chance de sua corrosão por dificultar o ingresso de substâncias nocivas às armaduras e à própria argamassa/concreto que possam dar início à deterioração dos materiais. Sob a óptica do desempenho, a espessura de cobrimento não precisa ser a especificada na norma prescritiva se o projetista conseguir materiais e métodos factíveis para produzir uma argamassa/concreto com menor permeabilidade. Em teoria, isso vai produzir o mesmo resultado final desejado, ou seja, reduzir a chance de deterioração dos materiais, em última instância, a corrosão das armaduras de aço carbono.

² Neste trecho da entrevista o cobrimento de 4cm (40mm) a que o arquiteto se refere diz respeito ao cobrimento de armaduras em estruturas de concreto. Para a argamassa armada os cobrimentos recomendados por norma prescritiva nacional são inferiores, entre 4 e 6mm (ver item 3.5 do capítulo 3). Neste caso a margem para variações no cobrimento é muito pequena o que não descaracterizaria demasiadamente o “material”.

Agora eu acho que a norma é necessária, ela é muito necessária como referencial, para a gente saber onde está pisando. Então, se você quiser transgredi-la, você assuma. Mas o problema é que de repente ela se transforma em um dogma, uma lei. /.../ Então enquanto norma eu acho ótima. No momento em que ela passa a ser dogma eu acho péssima. (Lelé em entrevista à autora – set/07)

As normas de desempenho vêm avaliar materiais e técnicas inovadoras de construir, como aconteceu com Lelé quando do uso da argamassa armada, cuja aplicação prática em larga escala antecedeu sua regulamentação por norma técnica, a NBR 11173 (ABNT, 1990).

Em se tratando de sistemas construtivos industrializados, a reflexão frente ao projeto exige muito planejamento e coordenação. “Pressupõe organização, planejamento, continuidade executiva, repetitividade e eficiência no processo de produção, tudo dentro de uma visão global das várias interfaces que compõem a execução de um edifício” (OLIVEIRA, 2002). Nesse sentido, o arquiteto assume, além da função de projetista, o papel de coordenador de equipe. O projeto exige alto grau de detalhamento e cada definição tem sua importância na qualidade do edifício. O arquiteto Lelé, durante sua trajetória profissional, teve a oportunidade de aprimorar alguns dos seus desenhos, à medida que também revia seu processo construtivo.

Revista AU - Na pré-fabricação, o desafio técnico de desenhar os componentes é tão envolvente que se corre o risco de perder a visão do conjunto e passar a enxergar apenas o detalhe. E isso pode gerar graves problemas de arquitetura, não?

Lelé - Já. Esse erro eu cometo todos os dias, principalmente quando estou perseguindo soluções econômicas. Aí você passa a sacrificar o espaço arquitetônico em função de um componente, às vezes uma bobagem qualquer da industrialização. Esse risco, no caso de um hospital, você não pode correr, senão a função é sacrificada. Eu conheci um hospital na Suécia inteiramente feito com pré-fabricados de concreto e essa solução foi barata, mas interferiu muito na qualidade dos diversos ambientes e comprometeu também, na minha

opinião, a forma do edifício. Numa escola, como você tem um repertório restrito de ambientes e condições técnicas de funcionamento, então se pode usar uma solução mais generalizada. (SOUSA,1999)

No caso da produção das escolas em argamassa armada, que teve diversos recomeços por motivos políticos, seus desenhos expressam cada método, processo e sistema construtivo adotado, e o detalhe das suas peças exprime o permanente aprimoramento dos processos construtivos da obra. Em um dos seus momentos de produção, as escolas estavam sendo construídas para serem implantadas em diferentes cidades do Brasil. As interfaces entre os componentes de um mesmo subsistema e entre subsistemas do edifício tiveram que ser analisadas caso a caso, sem perder de vista o conceito de industrialização e fabricação em série. Busca-se a adequação do edifício em cada ambiente e a satisfação das necessidades do usuário durante o uso e manutenção dos edifícios. Ainda com todo o cuidado e estudo de projeto, houve patologias decorrentes de alguns equívocos do processo. Por sua vez, estas patologias voltaram como informação para retroalimentar a produção. Pode-se entender, portanto, que seu projeto está empiricamente orientado ao desempenho.

4.3. Considerações sobre o capítulo

A prática do conceito de projeto orientado ao desempenho permite ao arquiteto exercitar uma abordagem mais sistêmica do processo de projeto. Nesse sentido, o trabalho do arquiteto Lelé apresentado nesta dissertação vai ao encontro do conceito. Seus projetos são reflexos da combinação do conhecimento do material e sua técnica produtiva, da construção do edifício e das suas necessidades de uso e manutenção. Vale destacar que ele sempre esteve assistido por equipe multidisciplinar com profissionais especializados como por exemplo em cálculo estrutural, instalações prediais; profissionais cujos conhecimentos e experiência amparavam as “experiências” de Lelé e permitiam a sua concretização da forma mais adequada possível, dentro do contexto de um determinado projeto e obra. Não se pode negar, no entanto, a capacidade de Lelé em articular todas as informações,

valer-se do aprendizado anterior e levar a cabo, com sucesso, projetos e obras de variados graus de complexidade.

“[Lelé] se coloca como um generalista sem pretensão alguma de dominar o todo do conhecimento, mas sim em ter um conhecimento suficientemente amplo, para que possam ser estabelecidos diálogos entre especialistas” (FERREIRA, 2005)

Sistema construtivo

Para ilustrar essa relação entre desenho e desempenho, escolheram-se dois componentes em argamassa armada: as vigas de escolas e as cascas de creches. Para contextualizar e compreender melhor esses dois componentes, faz-se necessário conhecer o conjunto no qual o componente analisado está inserido, assim como suas interfaces com subsistemas envolvidos. Este capítulo apresenta o sistema construtivo das escolas e creches e no próximo capítulo, as vigas e as cascas serão analisadas sob a ótica do conceito de projeto orientado ao desempenho.

5.1. Sistema Construtivo

Como descrito no item sobre a metodologia da pesquisa, o resgate da memória e das informações aqui documentadas foi feito, em grande parte, com o próprio arquiteto Lelé. Algumas pranchas com os desenhos técnicos das escolas da FAEC foram encontradas na biblioteca da DESAL – Companhia de Desenvolvimento Urbano de Salvador, fábrica de pré-fabricados que herdou as fôrmas e as tecnologias utilizadas pela FAEC.

Os sistemas construtivos da escola e da creche assemelham-se nas etapas da implantação, fundação e/ou infra-estrutura, pilares, pisos e vedações internas e externas. Esses elementos/componentes comuns aos dois sistemas são apresentados no item de 5.1. A partir da construção das vigas e da cobertura, os sistemas da escola e da creche têm suas peculiaridades que são apresentadas nos itens 5.2 e 5.3, respectivamente.

O edifício resultante é praticamente todo pré-fabricado em argamassa armada. Com peças leves, as obras são de execução simples, mas com necessários cuidados na locação e encaixe dos componentes.

A diferenciação entre os sistemas da escola e da creche se dá na cobertura quanto às vigas e a cobertura propriamente dita. A variação formal decorreu da necessidade de “atender às características específicas de implantação e de funcionamento do programa promovido pelas Voluntárias Sociais da Bahia”, como descrito no anteprojeto. Os componentes de cobertura da creche permitem uma maior flexibilidade na organização dos espaços internos do que os componentes da escola. Para a creche, há quatro diferentes vãos transversais que se combinam com vãos longitudinais variados. Para a escola, há menos variações, já que o modelo de viga vence um único vão transversal e os elementos de laje e cobertura determinam a distância entre as vigas na direção longitudinal. Por outro lado, o sistema das escolas permite ao projeto ter dois pavimentos, e a creche apenas um. De fato essas características proporcionam estéticas distintas e possibilitam o uso dos componentes em equipamentos de diferentes funções (Figura 1).

Figura 1 – À esquerda: escola em Beirú/Tancredo Neves – Salvador. Fonte: imagem cedida pelo arquiteto. À direita: Creche em Salvador. Fonte: imagem cedida pelo arquiteto.

5.1.1. Implantação

O sistema construtivo requer terrenos planos ou planificados para a sua implantação. Como o sistema é modular, ele permite a implantação em terrenos de vários tamanhos, conformando-se assim à disponibilidade de terrenos planos, compatibilizada à necessidade das dimensões e quantidade de salas de aula para atender ao programa de necessidades e para atender as restrições orçamentárias (Figura 2).

Figura 2 – À esquerda: Escola em San Martin – Salvador. À direita: Creche em Bonjoá – Salvador. Fonte: imagens cedidas pelo arquiteto. À direita:

Quanto à orientação solar, o vigamento principal foi o mais próximo possível da direção Norte-Sul, para que a abertura dos sheds ficasse voltada para o sul, face que não recebe os raios solares diretamente (Figura 3). Em algumas implantações, como no caso de Abadiânia (primeiro projeto), cujo vento predominante é sentido Norte-Sul, o shed funcionava também como sistema de ventilação, permitindo a sucção do ar quente.

A maioria das portas e aberturas do edifício fica também voltada para o norte ou para o sul. Beirais de aproximadamente 2 metros, formados pelos balanços das vigas, protegem essas fachadas das chuvas e, no caso da fachada norte, também da insolação.

Figura 3 – Orientação preferencial para implantação do edifício. Fonte: LIMA, 1984.

5.1.2. Modulação

O módulo adotado para o sistema é de 62,5 x 62,5cm, que atende às questões

Pré-fabricados em argamassa armada:
material, técnica e desenho de componentes desenvolvidos por Lelé.

funcionais, de transporte e manuseio. No entanto, o módulo utilizado nos primeiros protótipos foi 57,25 x 57,25cm, que na verdade é submúltiplo do módulo 114,5 x 114,5cm, escolhido com justificativas econômicas e funcionais.

A escolha [...] resultou evidentemente do ajuste de fatores de ordem econômica relacionados com o aproveitamento máximo de materiais industrializados aos de ordem funcional sobretudo no que diz respeito ao dimensionamento correto dos ambientes internos (LIMA, 1984).

5.1.3. Infra-estrutura

Os elementos pré-fabricados da infra-estrutura são: as canaletas de drenagem e o cálice da sapata. As sapatas são em concreto armado moldado *in loco*. As canaletas de drenagem foram projetadas com 2cm de espessura e 114 ou 228,5cm de comprimento, assentadas com espaçamento de 0,5cm entre elas. Como ilustrado na Figura 4, as peças possuem seção padronizada e em alguns pontos, há abertura em uma das faces laterais para receber tubos de drenagem.

Figura 4 – Canaletas de drenagem. Fonte: LIMA, 1984

As sapatas de fundação (ver Figura 5), têm a forma de um tronco de pirâmide com base quadrada. Inserido nela, há o cálice da sapata, componente em argamassa armada que recebe o pilar que facilita o aprumo e a fixação dos pilares ao concretar

as sapatas. Os cálices também possuem rasgo para a ligação das tubulações de águas pluviais, como ilustrado nas Figura 6 – À esquerda: Cálice de fundação de Goiás. À direita: Cálice de fundação da FAEC. Fonte: imagem cedida pelo arquiteto. e Figura 7.

Figura 5 – Elementos da infra-estrutura: Sapata, cálice e pilar. Fonte: LIMA, 1980.

O desenho do cálice sofreu mudança, sendo produzido na FAEC em forma de estrela, como na Figura 6 (à direita).

Figura 6 – À esquerda: Cálice de fundação de Goiás. À direita: Cálice de fundação da FAEC. Fonte: imagem cedida pelo arquiteto.

Pré-fabricados em argamassa armada:
material, técnica e desenho de componentes desenvolvidos por Lelé.

Figura 7 – Montagem do pilar. Fonte: LIMA, 1980.

5.1.4. Piso

No caso dos pisos do primeiro pavimento, as placas pré-moldadas têm de 62,25 x 62,25 x 3,5cm (Largura x Comprimento x Espessura), assentadas com juntas de 2,5mm. A superfície das placas é lisa, resultado da fôrma metálica. As placas próximas aos pilares têm cantos recortados para permitir encaixe e arremate. Nos encontros com as vedações verticais, rodapés fazem o acabamento e recebem as divisórias.

Nas áreas molhadas o piso é o mesmo, sendo que é assentado com rebaixo de 2 cm para evitar o espalhamento de água de lavagem.

Nas escolas, quando do segundo pavimento, os pisos do segundo andar são placas de 31cm de largura por 2,5cm de comprimento (Figura 8).

Figura 8 – Piso do segundo pavimento do edifício da pós-graduação da faculdade de arquitetura da UFBA. Fonte: Foto da autora, 2007.

5.1.5. Instalações hidráulicas

As tubulações de água e esgoto horizontais passam sob o piso e seus ramais verticais são instalados dentro das paredes duplas, formadas por dois painéis em argamassa armada (Figura 9). Quando de escolas com dois pavimentos, não há sanitários ou cozinhas no andar superior.

Figura 9 – Parede dupla com instalações. Fonte: LIMA, 1984.

5.1.6. Instalações elétricas

As instalações elétricas são distribuídas horizontalmente a uma altura de 2,3m por canaletas metálicas (Figura 10). Descem das canaletas para a alimentação de tomadas e interruptores pelos sulcos dos pilares ou junto às divisórias.

Figura 10 – Esquema de instalação elétrica. Fonte: LIMA, 1984.

As canaletas são fixadas na face inferior da viga (Figura 11 à esquerda) e das cascas (Figura 11 à direita e Figura 12 à esquerda) ou apenas pontos nas cascas ou nos pilares, quando cruzam estes componentes (Figura 12 à direita).

Figura 11 – À esquerda: Escolas - Croqui em corte do detalhe da canaleta de encaixe da divisória. Fonte: Redesenho de planta original da FAEC. À direita: Creches - Canaletas que fixam as divisórias e recebem as instalações. Fonte: Foto da autora.

Figura 12 – Creche: Canaletas metálicas fixadas nas cascas (à esquerda) e cruzando as cascas (à direita). Fonte: Foto da autora.

5.1.7. Pilares

Os pilares, também em argamassa armada, têm seção externa de 180 x 180mm, com reentrâncias nas quatro faces, para permitir, por exemplo, encaixe de divisórias, marcos das portas e instalações elétricas. Próximo ao topo do pilar, as reentrâncias (em planta) diminuem, para melhor distribuição das tensões. Ocos em toda a sua extensão com vazio circular de Ø 75mm, os pilares também servem para descida de águas pluviais (Figura 13 – Seção do pilar). Os pilares dos primeiros protótipos têm seção de 150 x 150mm, vazio circular de Ø 63mm e sua seção segue constante até seu topo.

Figura 13 – Seção do pilar. Fonte: Redesenho de planta original da FAEC. Topo típico dos pilares da FAEC e do CIAC's. Fonte: BENTES, 1992.

5.1.8.Divisórias

As divisórias em argamassa armada são encaixadas sobre rodapés e sob as mesmas canaletas metálicas por onde passam as instalações elétricas (Figura 11). As divisórias podem formar paredes simples ou duplas, com ou sem colchão de ar ventilado (Figura 14 e Figura 15). As paredes duplas são utilizadas nas fachadas ou quando recebem tubulação embutida.

Figura 14 – Montagem para parede simples e de parede dupla. Fonte: LIMA, 1984.

Figura 15 – Montagem das divisórias. Fonte: LIMA, 1984.

5.2. Sistema de Cobertura da Escola

5.2.1.Vigas

Nos primeiros projetos, as escolas possuíam apenas um pavimento. As vigas eram os elementos que recebiam as cargas de todo o sistema de cobertura, além de servir de condutor das águas pluviais até as descidas nos pilares.

Posteriormente os projetos das escolas ganharam mais variações, passando a ter em alguns casos, um segundo pavimento. Novos componentes foram criados, inclusive a viga que sustentaria o segundo pavimento e não mais teria a função de calha (denominada de viga de piso). Novo desenho foi criado com base na viga já existente, que passou a ser denominada de viga de cobertura.

As vigas são apresentadas com maiores detalhes no capítulo seguinte (Figura 16).

Figura 16 – Perspectiva da viga (V2). Fonte: Modelagem executada pela autora.

5.2.2.Cobertura

A cobertura é composta por componentes denominados pelo arquiteto de telhas (Figura 17 à esquerda), sheds (Figura 17 ao centro) e placas de isolamento térmico (Figura 17 à direita).

Figura 17 – À esquerda: Componentes telha capa (cinza escuro) e telha canal (cinza claro). Fonte: Modelagem executada pela autora; Ao centro: Protótipo dos sheds da cobertura. Fonte: imagem cedida por Lelé; À direita: Componentes para isolamento térmico da cobertura. Fonte: foto da autora.

Os componentes chamados de telhas são de dois tipos, funcionam como as telhas capa/canal (Figura 17 à esquerda). Apoiados sobre a telha capa, têm-se os componentes para isolamento térmico (Figura 17 à direita) que garantem a formação de um colchão de ar ventilado cujo objetivo é proporcionar conforto térmico. Contra-fechas de 1,5cm são necessárias nos componentes telha-canal para não dificultar o escoamento das águas pluviais. As telhas possuem pingadeiras nas suas extremidades.

Pré-fabricados em argamassa armada:
material, técnica e desenho de componentes desenvolvidos por Lelé.

Houve algumas variações de desenho nas peças ao longo do tempo, como por exemplo o componente para isolamento térmico, que em Abadiânia era uma placa plana com espessura de 1cm (Figura 18).

Os sheds têm as mesmas dimensões em planta da telha tipo canal, ocupando seu lugar quando o caso (Figura 19). O conjunto é composto basicamente por elementos em argamassa armada (Figura 17). Seu fechamento com plástico translúcido não fecha completamente o vão, permitindo a saída de ar quente (Figura 18).

Figura 18 – Corte esquemático da cobertura da escola. Sem escala. Fonte: LIMA, 1984.

Figura 19 - Foto da Cobertura da Escola. Fonte: Foto da autora.

As telhas tipo canal recolhem a água pluvial e a conduzem até a viga, que por sua vez a leva até o pilar (Figura 19 e Figura 20).

Figura 20 – Interface viga-cobertura de escola do CEDEC semelhante a da FAEC. Fonte: BENTES, 1992

5.2.3. Plantas, cortes e fachadas da escola

Figura 21 – Planta e cortes de escola de 4 salas e 1 pavimento. Fonte: Redesenho feito pela autora com base em plantas originais da FAEC.

5.3. Sistema de Cobertura da Creche

5.3.1. Cobertura

A cobertura é composta por cascas duplas e sheds. Foram produzidos conjuntos para quatro diferentes vãos transversais: 1,875m (3 módulos); 2,5m (4 módulos); 3,125m (5 módulos) e 3,75m (6 módulos) (Figura 22). Longitudinalmente, as cascas vencem vãos de cerca de 7,5m, a depender capacidade resistente da nervura inferior criada no encontro de duas cascas

Figura 22 – Creche no Bonocô, Salvador. Fonte: foto da autora

As cascas (Figura 23), assim como as vigas, serão apresentadas com maiores detalhes no capítulo seguinte.

Figura 23 – Perspectiva da casca e capa da creche. Fonte: Modelagem executada pela autora.

5.3.2. Plantas, cortes e fachadas da creche

Figura 24 - Planta e cortes de creche. Fonte: Redesenho feito pela autora

Pré-fabricados em argamassa armada:
material, técnica e desenho de componentes desenvolvidos por Lelé.

Figura 25 – Fachadas de creche. Fonte: Redesenho feito pela autora

5.4. Considerações sobre o capítulo

O sistema apresentado neste capítulo foi utilizado em diversos momentos e em diferentes contextos, tendo sofrido, portanto, algumas alterações de projeto ao longo do tempo.

Na ocasião da criação desse sistema, buscava-se uma tecnologia construtiva que atendesse aos critérios de economia, facilidade de manutenção e uso de técnica capaz de absorver a mão de obra local. A incipiente industrialização dos primeiros protótipos foi evoluindo, processo inevitável para a garantia de qualidade e produção em larga escala. Nesse sentido, “a experiência de Abadiânia foi de extrema importância para a avaliação do potencial da argamassa armada na produção de componentes mais sofisticados para a execução de edifícios” (LATORRACA, 2000).

A versatilidade do material permitiu que quase todo o edifício fosse construído com o mesmo material e viabilizou um projeto econômico. No entanto, o projeto ganhou maiores dimensões, e, no seu novo contexto urbano, contando com maiores recursos, um edifício basicamente de um único material também trouxe inconvenientes, como problemas com o conforto ambiental em algumas

implantações. Utilizado em diversas cidades do país, o edifício, mesmo sofrendo modificações, atenderia melhor às demandas culturais e ambientais se se valesse da aplicação de um leque maior de materiais, adequando-se a cada realidade ambiental e cultural.

Por outro lado, o sistema todo em argamassa armada e o controle existente em todo o processo de produção permitiram que os componentes do edifício fossem concebidos para trabalhar em conjunto. O todo e as partes foram elaborados juntos, e o desenho dos componentes apresentados no próximo capítulo revelam originais soluções para as interfaces entre os subsistemas do edifício.

Componentes

Este capítulo ilustra a relação entre desenho e desempenho dos componentes selecionados: as vigas de escolas e as cascas de creches. Considerando a natureza destes dois componentes, foram destacados para análise qualitativa os requisitos de desempenho relativos a (a) desempenho estrutural; (b) construtibilidade e (c) adequação ao uso final. Essas análises são feitas separadamente para cada componentes em razão de suas particularidades. Complementarmente são feitas, de forma conjunta para os dois componentes, considerações gerais sobre os requisitos vinculados ao comportamento ao fogo, estanqueidade, manutenibilidade e durabilidade.

6.1. A escolha dos componentes

Durante sua trajetória profissional, Lelé concebeu inúmeros componentes pré-fabricados, grande parte em argamassa armada. O modelo de edifício das escolas e creches apresentado no capítulo anterior tem seu sistema construtivo desenvolvido em argamassa armada. A versatilidade do material pôde proporcionar esse resultado, além da necessidade da economia. No entanto, o fato desta dissertação apresentar o modelo de edifício em argamassa armada, não se defende aqui a construção de edifícios inteiros com o mesmo material, tampouco trata-se de uma apologia à argamassa armada. Cuidou-se de escolher, dentre o acervo, dois componentes cujas formas são exemplos da sábia exploração do potencial de um material para uso estrutural, no caso a viga e a casca em argamassa armada. Adicionalmente, estes componentes foram escolhidas pela adequação do seu desenho ao material e técnica construtiva e pela associação de outras funções à sua função principal de elementos estruturais.

A viga apresenta uma particularidade de ter sido utilizada em diferentes momentos e, portanto, sua forma pôde ser repensada. Sua primeira concepção foi em

Abadiânia, passando pela FAEC (em Salvador) e pelo Programa dos CIAC's no Rio. Sua evolução exprime a dinâmica de projeto, que precisa atender às questões relativas a todas as etapas do processo construtivo: fabricação, montagem, uso e manutenção. Além disso, a riqueza do desenho da viga está em, além de responder eficientemente às solicitações estruturais, resolver demandas de instalações elétricas e hidráulicas quanto à captação de águas pluviais.

A casca tem seu maior mérito na sua forma estrutural. Delgadas, obtêm-se a rigidez e resistência necessárias com sua forma geométrica. Segundo Lelé (em entrevista à autora em 2007), “estruturalmente ela trabalha nos limites da possibilidade do material”, revelando-se, portanto, econômica por usar apenas a quantidade de material necessária à solicitação em questão.

6.2. A escolha dos requisitos de desempenho para análise

A abordagem do desempenho, já apresentada no capítulo 4, é feita por Lelé de maneira empírica. Para análise da viga da escola e da casca da creche, optou-se por selecionar requisitos relacionados aos aspectos de projeto que refletem o amadurecimento do processo de projeto dos componentes e que, por sua vez, corroboram com o conceito de *projeto orientado ao desempenho*. Os requisitos foram adaptados a partir do disposto nas normas ISO6241 e NBR15575, e estão relacionados, qualitativamente, ao desempenho estrutural, construtibilidade e adequação ao uso. Optou-se pela classificação apresentada acima por entender que ela organiza melhor as questões relacionadas ao processo de projeto e ao desempenho técnico-construtivo das vigas e cascas. São eles:

- Desempenho estrutural: são identificadas e analisadas as principais características **geométricas** dos componentes quanto a modulação, forma e ligações que permitem otimizar a resistência mecânica e estabilidade dos componentes. A análise é feita apenas no que diz respeito à estática, excluindo análise de esforços, que leva em conta resistência e cargas. Além disso, essas características permitem melhorar o atendimento do programa de necessidades,

notadamente no que diz respeito aos requisitos vinculados à funcionalidade (como dimensões mínimas e organização do espaço).

- Construtibilidade: são identificadas e analisadas as principais características dos componentes que viabilizam a sua produção em canteiro de obras ou na usina de pré-moldados, durante o manuseio, transporte e na instalação em obra;
- Adequação ao uso final: são identificadas e analisadas as principais características que colaboram para o melhor desempenho dos componentes quando em uso e a interface com os demais componentes, elementos e subsistemas do edifício.

Considerações complementares sobre o comportamento ao fogo, estanqueidade, manutenabilidade e durabilidade se fazem necessárias. Essas considerações foram identificadas de forma subjetiva e não de forma circunstanciada nas premissas dos projetos analisadas, mas demandam atenção em razão dos impactos das soluções de projeto na vida útil e na segurança geral do edifício e de suas partes. Uma vez respeitadas as especificidades de cada componente, essas considerações complementares são feitas em conjunto para ambos os componentes, por estarem diretamente relacionadas ao material e ao método de produção.

Com exceção de um breve discussão sobre a influência do desenho da casca na ventilação natural do ambiente interno, no caso das creches, os requisitos relacionados ao conforto higrotérmico, acústico, lumínico não foram estudados por requerem uma análise global do edifício e demandarem o aprofundamento de outras disciplinas que não fazem parte do escopo (ou objetivo) deste trabalho.

Quanto aos requisitos de saúde, higiene e qualidade do ar dos ambientes, sabe-se que os materiais usados na produção dos componentes são estáveis com condições normais de utilização e não são tóxicos à saúde humana. Além disso os componentes não são empecilhos e não dificultam a limpeza dos ambientes internos. Os requisitos citados também foram excluídos da análise pelas razões apontadas.

Os requisitos de conforto tátil e antropodinâmico não foram analisados pelo fato de os usuários não manterem contato direto com os componentes analisados.

Os componentes analisados não afetam requisitos vinculados à acessibilidade.

6.3. Escolas em argamassa armada – Estudo da viga

No capítulo anterior, foi apresentado o modelo de escolas em argamassa armada cujas vigas são objeto de análise neste capítulo (Figura 1). Como já comentado, esse modelo foi utilizado em diferentes momentos da trajetória profissional do arquiteto e, portanto, teve oportunidade de ser repensado e sofrer algumas alterações de projeto. O desenho da viga, ao longo do tempo, passou por importantes mudanças, ora por questões de produção (desmolde, por exemplo), ora para adaptar-se a programas mais amplos e diversos (como no caso de acréscimo de um pavimento ao edifício).

Figura 1 – À esquerda: Escola de Abadiânia-Go. À direita: Escola da FAEC em Beirú, Salvador-Ba. Fonte: Imagens cedidas por Lelé.

As alterações de desenhos e suas justificativas que apresentadas aqui tiveram como fonte plantas técnicas originais, registros de projeto encontrados em livros e o depoimento do próprio arquiteto, que se colocou totalmente à disposição para entrevistas e dirimiu dúvidas existentes por impossibilidade de acesso a todos os registros.

Como as modificações no projeto da viga são basicamente nos desenhos das seções, as relações com o sistema e os subsistemas do edifício serão apresentadas a partir de um único modelo de viga, a V1 (Figura 2 à esquerda), para simplificar e

facilitar a compreensão. Posteriormente as demais variações no componente, V2 e V3 (Figura 2 à direita) serão apresentadas, comparativamente, mediante as justificativas de alteração de seção para facilitação de moldagem/desmoldagem, inserção de armadura, como também para permitir o acréscimo do pavimento superior no edifício.

Figura 2 - Modelos de viga, sem escala. Fonte: Redesenho da autora com base nos projetos consultados.

6.3.1. Desempenho estrutural

6.3.1.1. Modulação

O primeiro modelo de edifício para escolas em argamassa armada tem apenas um pavimento e um único modelo de viga, V1 (Figura 2 à esquerda). A estrutura do edifício é isostática e as vigas são bi-apoiadas na direção transversal do edifício, com balanços em ambas extremidades. Longitudinalmente, os componentes de cobertura (ou também de laje, no caso de edifícios com dois pavimentos) são apoiados sobre as vigas e sua dimensão longitudinal determina a distância entre vigas (2,5m) e colaboram para a estabilidade da estrutura.

A distância entre os apoios (pilares) é de 10 módulos na direção transversal, e há um balanço de 4 módulos para cada lado. O valor do módulo do primeiro protótipo foi de 57,25cm, e posteriormente passou para 62,5cm. No último modelo - CIAC's – o vão central aumentou para 12 módulos, pois o programa previa mais alunos, exigindo salas maiores.

A depender da relação entre as dimensões das partes da viga, o modelo adotado – viga com dois balanços – resulta bastante econômico (Figura 3). Comparou-se a relação vão/balanco da viga da escola com a relação dimensional apresentada na Figura 4 que é uma proporção econômica para vigas com balanços (MARGARIDO, 2001, p.259). Essa relação é utilizada em pré-dimensionamentos de estruturas e resulta do diagrama de momentos fletores, concluindo que os balanços devem medir 22% do comprimento total da viga (L).

Figura 3 – Escola de Abadiânia – Vista lateral. Fonte: imagem cedida pelo arquiteto.

Figura 4 – Esquema da viga e proporção econômica para posicionamento dos apoios. Fonte: Redesenho da autora (MARGARIDO, 2001)

Tendo:

As dimensões da FAEC:

$$L = 11,25\text{m}, b = 2,5\text{m} \text{ e } L-2b = 6,25\text{m}$$

$$\text{Relação teórica ideal (Figura 4) para } L=11,25\text{m} \rightarrow b=2,475\text{m} \text{ e } L-2b = 6,3\text{m}$$

As dimensões do CIAC's:

$$\text{Projeto: } L=12,5\text{m}, b=2,5\text{m} \text{ e } L-2b=7,5\text{m}$$

$$\text{Relação teórica ideal para } L=12,5\text{m} \rightarrow b=2,75\text{m} \text{ e } L-2b=7,0\text{m}$$

Conclui-se que as dimensões ideais apresentaram-se relativamente próximas às utilizadas do projeto, tanto da FAEC e do CIAC's. No CIAC's, quando o vão central passou para 7,5m (12 módulos), os balanços tornaram-se apenas um pouco menos econômicos.

Eventuais variações do comprimento da viga foram feitos em algumas escolas, quando o posicionamento do pilar atrapalhava a boa distribuição do programa em planta. Nesses casos, colocaram-se topadores nas fôrmas e executou-se a variação do componente. Como exemplo, a escola com o corredor central: um dos balanços foi removido, para que a modulação atendesse à distribuição ideal da sala de aula (vão central de 6,25m) – corredor (balanço de 2,5m) – sala (vão central de 6,25m) (Figura 5).

Figura 5 – Modulação do edifício. Fonte: desenho da autora.

6.3.1.2. Ligação viga-viga

Para garantir uma continuidade da peça no que diz respeito ao seu comportamento estrutural, a ligação (Figura 6) foi projetada como descrito a seguir pelo próprio arquiteto.

As duas peças são conectadas no meio do vão por um parafuso de 1" localizado na zona de tração e por uma lâmina vertical de argamassa de cimento e areia com 1cm de espessura fundida na

zona de compressão após o ajuste do parafuso. A viga deve permanecer apoiada em cavalete central durante um mínimo de 24 horas, quando se verificarem resistências à compressão da argamassa compatíveis com as tensões produzidas pelo seu peso próprio. (LIMA, 1984)

A Figura 6 ilustra o posicionamento dos tramos da viga durante a execução de uma obra e o escoramento - cavalete central - a que refere o arquiteto. As Figuras 7 e 8 ilustram a execução da ligação com o posicionamento e ajuste do parafuso.

Figura 6 – Perspectiva esquemática do aparelho metálico para união das duas partes da viga. Fonte: LIMA, 1984.

Figura 7 – À esquerda: Içamento da viga. À direita: Escoramento da viga. Fonte: imagens cedidas por Lelé.

Pré-fabricados em argamassa armada:
material, técnica e desenho de componentes desenvolvidos por Lelé.

Figura 8 – À esquerda: Regulagem do parafuso. Fonte: imagem cedida por Lelé. À direita: Detalhe do encontro das partes do pilar. Edifício da Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura da UFBa – Salvador. Fonte: foto da autora.

Os parafusos e as chapas às quais são soldadas as armaduras inferiores são galvanizados, para proteção contra a oxidação e posterior corrosão das armaduras e partes metálicas. O edifício da Figura 8 à esquerda apresenta visível manchamento da superfície da viga como resultado da oxidação e corrosão das partes metálicas que compõem a ligação, mas vale considerar que esse edifício está em cidade litorânea e possui aproximadamente 20 anos e que não se tem registro da extensão dos danos causados por essa patologia. Conforme registros do próprio arquiteto, o aço CA-24 foi especificado para essas peças e para toda a armadura em função da disponibilidade no mercado e pela facilidade na execução das soldas (LIMA, 1984). A Figura 9 ilustra a disposição de armação das vigas.

Figura 9 – Perspectiva explodida do esquema da armadura difusa (tela) e da armadura complementar (barras) da viga. Fonte: LIMA, 1984.

6.3.1.3. Ligação viga-pilar

No encontro viga-pilar, um tubo de aço galvanizado é utilizado para conduzir a água pluvial até o interior do pilar (Figura 10). O tubo é fixado na viga com massa plástica, para absorver tensões de eventuais movimentos. Para assegurar o comportamento de viga simplesmente apoiada e não restringir os seus deslocamentos, há uma folga de 3mm no encaixe entre o tubo e o pilar. “Assim, mesmo no caso das deformações mais acentuadas ou durante a operação de regulagem dos parafusos a viga gira livremente sobre o apoio” (LIMA, 1984). Funcionalmente, esse tubo faz parte do subsistema de drenagem do conjunto; embora, de acordo com as declarações do arquiteto, o tubo ajuda na montagem da viga como guia, não tem qualquer função estrutural.

Figura 10 – Perspectiva explodida dos componentes que se relacionam na interface viga-pilar. Fonte: LIMA, 1984.

O topo dos pilares é uma região crítica, constatou BENTES (1992), que apresentou na sua dissertação o modelo usado pela CEDEC, com muitos componentes semelhantes ao do modelo da escola (Figura 11).

Figura 11 – Topo típico dos pilares da FAEC e do CIAC's. Fonte: Alteração da autora em desenho original de BENTES, 1992.

Como apresentado no capítulo 5, a seção transversal do pilar, constante em quase toda sua extensão, é alterada em seu topo para melhor distribuição das tensões (Figura 11).

A área sulcada [em azul, Figura 11] determina o seccionamento do sistema de apoio viga-pilar em quatro áreas distintas. “São utilizadas lâminas de chapa de aço galvanizado de diversas espessuras que são introduzidas nos apoios durante a operação de montagem, de modo a garantir o posicionamento rigorosamente aprumado da viga sobre o pilar”. (LIMA, 1984).

Essa é uma ligação elementar com apoio simples e transmissão direta de carga. No que tange aos aspectos geométricos da ligação, vale lembrar a análise de Ballarin (1993, p.203) sobre o desempenho de ligação semelhante em elementos estruturais pré-moldados de concreto. A resistência nesse tipo de ligação é governada pelas características dos materiais em contato por se tratar de ligação a seco. Um cálculo estimado expedito com base nas informações obtidas nos projetos, resulta para as vigas (do edifício de um pavimento) uma tensão de compressão nessas ligações de, aproximadamente, 1,18 MPa¹. Os estudos de Bentes (1992, p.38) registram que, para essas vigas, as tensões de contato nessas ligações são da ordem de 2,4 MPa.

Esses valores de tensão de compressão são baixos, quando comparados ao valor nominal da resistência à compressão das argamassas para as dosagens típicas². No entanto, estão acima do valor máximo de 1MPa, recomendado pela NBR9062 (ABNT, 2001) para as tensões de contato desse tipo de ligação. Ballarin (1993, p. 203) destaca a severidade desta recomendação da NBR9062 (ABNT, 2001) ³ em contraste com outros códigos normativos e sugere a necessidade de melhor entendimento dessas questões com pesquisas e estudos adicionais, visto que esse

¹ Conforme dados das memórias de cálculo, a carga axial no pilar é 20.000N e as áreas de cada região de apoio é 65x65mm (Figura 11). A autora não teve acesso ao memorial de cálculo das vigas apresentadas por Bentes.

² A resistência à compressão da argamassa armada é de 45 MPa (HANAI, 1992).

³ A versão da NBR9062 atualmente em vigor (ABNT, 2001) mantém a mesma recomendação da norma vigente em 1993 quanto à tensão máxima de contato para esse tipo de ligação. (1 MPa)

tipo de ligação tem ocorrência freqüente. Estudos que certamente foram levados a cabo por Lelé e sua equipe.

6.3.1.4 Estudo das seções

Para chegar ao desenho da viga, o arquiteto analisou não só o comportamento estrutural do conjunto como também fez um estudo comparativo de tensões nas seções de vigas de diversos materiais. A argamassa armada, por ser moldável e permitir pequenas espessuras, dá liberdade ao arquiteto de projetar peças com formas e seções adequadas à sua solicitação estrutural, resultando, dentro de certos limites, em eficiência e economia. A simples manipulação da distribuição da massa como detalhes como dobras ou saliências podem ampliar a resistência da peça sem aumento de material ou peso próprio.

A forma como se distribui o material na seção transversal de uma peça estrutural pode determinar seu melhor ou pior aproveitamento e, em consequência, a sua quantidade e o espaço ocupado.
(REBELLO, 2001)

Para comparar a eficiência estrutural da forma da viga da escola, fez-se um estudo para obter a capacidade de rendimento de diferentes seções. Esta análise apenas leva em consideração as propriedades geométricas das seções planas, sendo portanto apenas um dos critérios de avaliação da economia de seções de vigas submetidas à flexão (KONCZ, 1978). Para isso, calculam-se as extremidades do núcleo central de inércia de diferentes seções com a mesma altura e, segundo Koncz, a seção mais econômica é aquela que apresenta o núcleo central de maior longitude em relação à sua altura. Na Figura 12, na escala do quadro inferior, quanto mais próximo de 1, ou seja, quanto mais à direita, melhor o rendimento da seção.

Figura 12 – Quadro comparativo da capacidade de rendimento de diferentes seções. Sem escala. Fonte: Elaborado pela autora com base em KONCZ, 1978.

Para encontrar o núcleo central de inércia da seção e obter este quadro comparativo (Figura 12), são necessários os seguintes dados da seção transversal (características intrínsecas à sua forma):

- Área = S (abaixo das seções no quadro superior da Figura 12)
- Centro de gravidade da seção = CG (pontos vermelhos nas seções do quadro superior da Figura 12, obtidos com auxílio de ferramenta computacional)
- Altura da seção = h (para esta análise deve ser constante, considerando que as vigas devem vencer o mesmo vão. valor adotado igual à altura da V3, 50cm)
- Distância entre o centro de gravidade até a face inferior e superior da seção = c_{inf} e c_{sup} (sendo então: $c_{inf} = CG$; $c_{sup} = h - CG$)
- Momento de inércia em relação ao centro de gravidade e ao eixo $x = I_x$ (obtidos com auxílio de ferramenta computacional)

Para então poder calcular:

- Momento resistente da seção = w

- Excentricidade em relação ao centro de gravidade – extremidades do núcleo central de inércia = e_k e $-e_k$.
- Núcleo central de inércia = intervalo entre os e_k .

Através das seguintes equações:

- $w_{inf} = I_x / c_{inf}$; $W_{sup} = I_x / c_{sup}$ Equação 1

- $e_k = w_{inf} / S$ Equação 2

O núcleo central de inércia é a região onde apenas se tem um estado de tensão. “Toda a força que tiver sua aplicação dentro do núcleo central de inércia terá tensões, em toda a seção da peça, de um único sinal” (MARGARIDO, 2001, p116), ou seja, apenas tração ou compressão.

A viga da escola apresenta índice de eficiência entre o de uma viga de seção retangular (forma típica de vigas em concreto armado) e o de uma viga de seção I (seção comumente usada em vigas metálicas). Vale ressaltar que o desenho da viga da escola resultou da compatibilização dos requisitos relacionados à: (a) otimização da seção transversal e racionalização do comportamento estrutural; (b) incorporação de outras funções tais como drenagem de água pluvial e suporte para instalações elétricas.

Fisicamente, o que se promove é o deslocamento de material para longe do centro de gravidade, ou centro de giro, da seção. Quanto mais afastada a massa estiver do centro de giro, mais difícil é girá-la ou deslocá-la de sua posição original. Como a rigidez de uma seção é dada por sua maior ou menor facilidade de giro (o que se denomina inércia da seção), quanto mais afastado estiver o material do centro de gravidade, mais difícil se tornará girá-lo e, portanto, mais rígida será a seção. Idéia simples no conceito, porém exigente na concepção e execução, pois requer investimento criativo para se atingir o desempenho resistente desejado, com economia de produção. (REBELLO, 2008)

6.3.1.5. Evolução da seção

A seção até então apresentada juntamente com os subsistemas (V1 na Figura 13) foi o primeiro desenho. A viga V1 foi a primeira, utilizada em Abadiânia. Em Salvador, na FAEC, os edifícios passaram a ter a opção de mais um pavimento e criou-se a V2 (Figura 13), que passou a ser utilizada com a V1 no mesmo edifício. A V2 passou a ser utilizada entre os pavimentos, chamada de “Viga Piso Tipo” e a V1, que passou a ser chamada de “Viga Cobertura Tipo”, na cobertura.

Figura 13 – Seções das vigas V1, V2 e V3. Fonte: Redesenho da autora com base nos projetos consultados.

Observando os primeiros edifícios das escolas, foi detectado que a primeira seção (V1) tinha pouca massa na parte superior (Figura 14), tanto para atender às tensões de compressão existentes no meio do vão, como para abrigar, com recobrimento suficiente, a concentração de armadura na região dos apoios e balanço, onde essa mesma parte superior passa então a ser submetida a tensões de tração. Além disso, ao receber os componentes de cobertura, “esse apoio muito delicado, muito precário, às vezes quebrava” (LIMA, 2008). A seção V2 então já passa a ter a massa necessária para atender a essas necessidades.

Nos balanços, com os momentos negativos, ficava complicado colocar a armação. Agora com o bojo, pode-se colocar a armação lá em cima. (informação pessoal⁴)

Posteriormente, na ocasião do CIAC's, a o edifício pôde ser pensado novamente e a viga então, foi novamente alterada. Criou-se a V3 (Figura 13), e optou-se por adotá-la para todo o edifício, tanto para sustentar piso como cobertura.

6.3.2. Construtibilidade

6.3.2.1 Moldagem

Outro ganho com a mudança da geometria da peça, especificamente na face superior da viga, foi a maior facilidade de enchimento da fôrma que a V2 tem em relação à V1 (ver Figura 14 à direita). Durante sua produção, a fôrma recebe a argamassa por cima, e o aumento dessa área permite maior velocidade ao seu preenchimento.

Figura 14 – À esquerda: destaque do topo da V1. À direita: destaque à espessuras das partes inferiores da V1 e V3. Fonte: Redesenho da autora com base no projeto consultado.

Uma de suas evoluções se deu novamente na parte superior, dessa vez apenas por motivo de produção. A massa da parte superior da viga passou a ter novas

⁴ Lelé em entrevista à autora, 2008

inclinações, para facilitar não só o enchimento da fôrma como a desmoldagem. Com um molde, forma-se um cone na parte superior da fôrma para se injetar a argamassa. “Com esse cone aqui pequenininho, todo o concreto tem de que descer por aqui. Então a operação da concretagem é muito mais lenta”. (informação pessoal⁵).

O novo desenho também facilita a abertura da fôrma e a retirada do molde superior (Figura 15).

Figura 15 – Desenho esquemático de molde superior de viga - para enchimento de fôrma. À esquerda: V2. À direita: V3. Fonte: desenho elaborado pela autora com base em informações orais.

A outra mudança foi na parte inferior da viga, que ganhou mais espessura, passando de 2,4cm na V2 a 4,3cm na V3 (ver Figura 13 à direita). Considerando as características da argamassa armada (pequenas espessuras), conclui-se que a armação principal de tração da viga passe nessa região mais espessa (em azul na Figura 13 à direita). O único registro consultado que consta a posição da armadura refere-se à V1, cuja armadura principal localiza-se na área azul assinalada (Figura 13 à esquerda).

6.3.2.2. Transporte e montagem

Considerando questões de transporte e manuseio (Figura 16), a viga teve seu comprimento dividido em dois como já detalhado no item 6.3.1.2. Assim, podem ser

⁵ Lelé em entrevista à autora, 2008

usados caminhões convencionais no transporte e a peça fica mais leve para o manuseio dos trabalhadores durante a execução da obra. As partes da viga medem 5,621m cada (projeto FAEC) e possuem massa aproximada de 395 kg.

Para o içamento da viga nos primeiros protótipos, amarrrou-se uma tora de madeira à viga nas posições próxima ao apoio/pilar e próxima à extremidade que se unirá à outra parte no meio do vão (Figura 16). Na FAEC e no CIAC's, ganchos foram inseridos na viga, em posições semelhantes às iniciais.

Figura 16 – Transporte e montagem - Abadiânia. Fonte: LIMA, 1984.

6.3.3. Adequação ao uso final

6.3.3.1. Interface da viga com a drenagem de águas pluviais

Os componentes da cobertura apóiam-se diretamente sobre as vigas (Figura 17), contribuindo inclusive para a estabilidade do sistema estrutural. Toda a água pluvial

é coletada por esses componentes e conduzidas à viga, cujo desenho prevê canaleta para condução da água até o pilar.

Figura 17 – Montagem de escola. Inserção das lajes de cobertura. Fonte: imagem cedida por Lelé.

Durante a concepção da viga, as deformações foram analisadas e previstas de forma que em nenhuma hipótese o caimento conveniente para as águas pluviais ficasse comprometido (Figura 18 e Figura 19):

Figura 18 – Elevação e Vista Superior da V1. Fonte: desenho original com informações inseridas pela autora (cor)

Além das peças serem confeccionadas com contraflechas de 1,5cm no centro do vão e extremos dos balanços, qualquer flecha que ocorra superior a 0,5cm (a flecha máxima para a situação mais desfavorável é de 1,8cm no centro do vão) deverá ser sempre corrigida pelo reaperto do parafuso central (LIMA, 1984)

Figura 19 – Centro do vão/união das partes da viga: contra-flexas. Fonte: LIMA, 1984.

6.3.3.2. Interface da viga com instalações elétricas

Além do desempenho estrutural, a viga foi projetada de forma a solucionar também questões relativas às instalações. Os espaços para o caminho e distribuição das instalações elétricas (calhas para fiações) estão previstos no desenho da peça (Figura 20). Os perfis metálicos são fixados com parafusos na área sulcada da parte inferior da viga. Quando da existência de divisória, outro perfil é acrescentado à canaleta para o encaixe do painel (Figura 20 à esquerda).

Figura 20 – À esquerda: Foto do perfil sob a viga no encontro do pilar. Fonte: foto da autora. À direita: Desenho da seção do perfil metálico com e sem painel de vedação. Fonte: desenho da autora com base nos desenhos originais consultado pela autora – FAEC.

Foram projetadas na parte inferior da viga correspondente à zona de apoio sobre os pilares rasgos de 1,5cm de profundidade no sentido transversal, longitudinal e contornando a área furada, e que se destinam à passagem posterior de fiações elétricas [Figura 20 à esquerda e Figura 10]. (LIMA, 1984)

6.4. Creches em argamassa armada – Estudo da casca de cobertura

O projeto das Creches foi desenvolvido em 1987, dentro da FAEC – Fábrica de Equipamentos Comunitários, em Salvador-BA. A fábrica funcionou apenas durante pouco mais de três anos (1985 a 1989), mas, segundo Latorraca (2000), “foi a mais rica e a mais frutífera de todas, não só pelos benefícios que proporcionou à população da cidade, mas também pelas pesquisas tecnológicas que serviram de base para as experiências subseqüentes dos CIACs e sobretudo para as do CTRS”.

Coerente com o conceito de industrialização, o projeto das creches incorpora diversos componentes construtivos do projeto das escolas. Melhor dizendo, apenas as vigas e o subsistema da cobertura não foram aproveitados. Estes componentes foram substituídos por cascas, também em argamassa armada, que compostas com outros componentes (como o shed e tirantes) formam o sub-sistema da cobertura. Foram construídas mais de 20 creches em Salvador (LATORRACA, 2000), todas com apenas um pavimento (Figura 21).

Figura 21 – Creche em Ogunjá, Salvador. Fonte: foto da autora.

As cascas da creche foram escolhidas como componentes de análise principalmente porque seu desenho representa bem a exploração do potencial da argamassa armada, que é fazer uso da liberdade de moldagem para obter peças delgadas que, por sua forma estrutural, são suficientemente rígidas e resistentes. Além disso, o bom desempenho da argamassa armada na presença de umidade permite seu uso em peças de cobertura, expostas às intempéries.

Eu acho que a casca foi a estrutura mais econômica que se fez até hoje dessas peças em argamassa armada. /.../. Dentre todas as experiências que eu tive com argamassa armada, /.../ se eu tivesse que classificar, eu colocaria essas creches como a melhor experiência, a que poderia ter conduzido a um trabalho melhor.(informação pessoal⁶)

6.4.1. Desempenho estrutural

6.4.1.1. Geometria da peça

A cobertura é uma composição dos seguintes elementos: cascas, capas e elementos destinados à iluminação e ventilação zenitais (Figura 22). As cascas, baseadas em um mesmo modelo, vencem quatro diferentes vãos transversais: 1,875m, 2,5m, 3,125m, 3,75m, todas executadas com a espessura de 2cm, constante em toda a peça (Figura 24). Longitudinalmente, as cascas são interligadas por barras de aço,

⁶ Lelé em entrevista a autora, set 2007

que solidarizam essas cascas e mobilizam o comportamento conjunto entre os elementos adjacentes, o que permitiu a otimização do dimensionamento das seções resistentes (um só elemento depois da fase de montagem). Esse sistema permite variadas relações entre vãos transversais, balanços e distância longitudinal entre apoios.

Figura 22 – Creche em Bonjuá - Salvador. Fonte: Imagem cedida pelo arquiteto.

Figura 23 - Corte da creche. Sem escala. Fonte: Anteprojeto - Desenho original – FAEC.

Figura 24 – Cortes dos quatro tamanhos de cascas. Fonte: redesenho da autora com base nos documentos consultados.

Pré-fabricados em argamassa armada:
material, técnica e desenho de componentes desenvolvidos por Lelé.

6.4.1.2. Arranjo estrutural das cascas

Como já foi apresentado anteriormente, as cascas são duplas (Figura 24) mas apenas a casca inferior tem função estrutural. A casca superior apóia-se em quatro pontos na inferior e é inclusive chamada de capa de isolamento, cuja função é apenas colaborar com o conforto termo-acústico (Figura 34 à direita).

As cascas são exemplos de estruturas resistentes pela forma. Engel (2001) classifica esse tipo de estrutura como estrutura de forma ativa. Sua curvatura é que resiste às cargas e permite uma espessura delgada ao componente. “A forma ideal seria a catenária⁷ (Figura 25). A nossa [curvatura] foi ajustada para facilitar a execução”, explica Lelé em entrevista à autora (2008). As cargas atuantes na casca da creche (peso próprio e dos componentes apoiados sobre ela e as sobrecargas de projeto) geram no apoio carga resultante que possui componentes verticais e horizontais (Figura 25). Como todo sistema de cascas homogêneas dispostas lado a lado, as forças horizontais são equilibradas tendo resultante nula, mas as cascas das extremidades tem reações horizontais não equilibradas nos apoios externos e, em sendo simplesmente apoiadas nos pilares, necessitam de outros elementos para equilibrá-las, como por exemplo os tirantes (Figura 26). As cascas da creche, portanto, se equilibram uma nas outras, não sendo a princípio necessário tirante no meio da edificação, como escrito no anteprojeto (Figura 23). No entanto, como o sistema construtivo da creche permite a composição de cascas de diferentes larguras, eventuais componentes horizontais de força podem existir e, portanto, os tirantes intermediários são necessários.

⁷ A catenária é a curva gerada por uma corda suspensa pelas extremidades e sujeita à ação da gravidade. Invertendo a curva, temos uma casca sujeita apenas a esforços de simples de compressão.(Engel, 2001).

Figura 25 – Catenária. Fonte: imagem cedida por Lelé.

Figura 26 – Esquema de esforços horizontais resultantes nas cascas da creche. Fonte: desenho da autora.

Como apresentado no esquema na Figura 26, as meias cascas de bordo também necessitam de um tirante para equilibrar a resultante horizontal no apoio. Essas meias cascas também funcionam como beiral nos limites do edifício.

Figura 27 – Extremidade do edifício: casca e tirante. Fonte: fotos da autora.

A opção por estruturas resistentes pela forma, apesar de nunca ter sido esquecida, por vezes é pouco explorada. No entanto, alguns arquitetos e engenheiros, como por exemplo Gaudí⁸, Nervi e Dieste⁹, revisaram as concepções estruturais e provocaram o renascimento de opções pouco encontradas.

Podem-se destacar as dificuldades matemáticas para análise estrutural de cascas e o custo elevado de fôrmas e cimbramentos para execução por processo convencional. A falta de conhecimento sobre o assunto, por sua vez, pode ser vista como causa e consequência da pouca utilização dessas estruturas. (TEIXEIRA, 1999)

Ainda hoje os arquitetos trabalham com mais desenvoltura manipulando e compondo planos; elegem-nos como superfície para limitar um espaço de uma maneira natural, ainda que nem sempre seja a mais adequada. Todos vimos edifícios nos quais a solução da cobertura, por exemplo, é torturada estruturalmente para não sair do plano. Tem influência o fato de que um edifício deste tipo é mais fácil de expressar graficamente. (Dieste, In: GUTIERREZ, 1998) tradução livre da autora

Referências ao trabalho de Nervi e de Dieste influenciaram alguns projetos, como a o próprio Lelé declara em entrevista à autora (2008), comentando sobre o projeto das creches:

A casca é resultado de algumas análises feitas principalmente na obra de Dieste, só que Dieste fazia com tijolo. A minha idéia, inclusive, era protender, como fazia o Dieste. Teoricamente nossa solução é parecida. Nosso material trabalha muito bem à compressão.

⁸ RICALDONI, Julio. Obra de gaudi vista por un ingeniero. Buenos Aires: Cei, 1971

GÜEL. Xavier. Antoni Gaudí. São Paulo: Martins Fontes, 1994. 219p

⁹ DIESTE, Eladio. Eladio Dieste: 1943-1996. 4 Ed. Sevilla; Montevideo : Consejería de Obras Públicas y Transportes: Dirección General de Arquitectura y Vivienda, 2001. 2v. (306, 139p.)

Figura 28 – Dieste: À esquerda: cascas autoportantes em cerâmica armada. Fonte: www.art-brick.com/fotos/tecnologia4.jpg. À direita: obra de Eládio Dieste, CEASA em Porto Alegre, RS. Fonte: foto cedida por Claudia Oliveira

Avaliando os próprios projetos, o arquiteto declara que faria mudanças para melhorar a questão do conforto, aumentando o colchão de ar (distância entre a casca e a capa) e modificando os sheds: “Eu aumentaria os buracos” (informação pessoal¹⁰). As aberturas assemelham-se às aberturas de uma viga *vierendel*, só que na horizontal, descreve Lelé à autora (2008). As tensões próximas ao apoio são mais fortes e, portanto, as aberturas nesse momento teriam que ser menores do que as do meio do vão. Variar o tamanho das aberturas implicaria mais detalhamento das fôrmas e, conseqüentemente, maior custo de obra. “Por isso é que eu fiz os buracos pequenos, porque tinha que ter buracos homogêneos, não podia ter buracos variados” (informação pessoal¹¹).

Os pilares das creches distam transversalmente a largura da casca utilizada (1,875m, 2,5m, 3,125m, 3,75m) e longitudinalmente essa distância pode alcançar 10m, porém, com valor médio de 7,5m. Essa conformação proporcionou economia superior a outros projetos em argamassa armada.

Normalmente a gente gasta 350kg de argamassa por m² [de cobertura] de um modo geral. Naquelas creches a gente baixou assim pra menos de 200 (kg de argamassa por m²). Foi muito significativa a economia. Estruturalmente ela trabalha nos limites da possibilidade do material. (informação pessoal¹²)

¹⁰ Lelé em entrevista à autora, 2008

¹¹ Lelé em entrevista à autora, 2008

¹² Lelé em entrevista à autora em agosto de 2006

6.4.1.3. Ligações casca-pilar e casca-casca

O pilar do projeto da creche é o mesmo do projeto da escola, a ligação casca-pilar tem, portanto, características semelhantes às do apoio da viga no pilar.

Uma casca apóia-se em duas das quatro regiões do topo do pilar, a casca adjacente une-se à primeira por meio da ligação descrita a seguir que, por sua vez, apóia-se nas outras duas regiões do mesmo pilar. O mesmo tubo de aço galvanizado para condução da água pluvial para dentro do pilar utilizado no sistema construtivo das escolas encontra-se nas creches. (Figura 29). Na execução do componente, a região da casca que se apóia no pilar recebe topador na fôrma para evitar preenchimento do local por onde passa o tubo de aço.

Para viabilizar o transporte e montagem em obra as cascas são produzidas em meias peças e ligadas após o seu posicionamento na cobertura. As ligações superior e inferior (Figura 33) são feitas *in loco*. Pelos registros encontrados, emprega-se nessas ligações argamassa com relação agregado:cimento próxima daquela usada para a produção dos componentes, relação água:cimento de 0,5, armadura difusa e complementar, sendo a argamassa aplicada e compactada manualmente. Esse tipo de ligação é indicado para lajes convencionais, com carga accidental de projeto não superior a 3kN/m^2 (BALLARINI, 1993, p.230), o que parece estar razoável para esse sistema, embora não se tenha tido acesso a tal informação.

O desenho da junta parece ter sido cuidadosamente feito para melhorar o desempenho do conjunto, pois como destaca Ballarini (1993, p. 230) em seus estudos de ligações semelhantes para lajes de concreto pré-moldado:

“[a junta] está predominantemente solicitada por cisalhamento normal ao plano da laje, sendo utilizados quase sempre elementos com interfaces rugosas, definidas geometricamente no processo de moldagem”

“a resistência da ligação depende quase que exclusivamente da natureza e da geometria desta superfície de contato”.

Esse tipo de ligação é indicado para lajes convencionais, com carga acidental de projeto não superior a 3kN/m^2 (BALLARINI, 1993, p.230), o que parece estar razoável para esse sistema, embora não se tenha tido acesso a tal informação.

Figura 29 - Seção da casca na região do pilar. S/ escala. Fonte: Projeto original FAEC.

Figura 30 – União das partes das cascas (nervura inferior). Fonte: imagem cedida pelo arquiteto.

6.4.2. Construtibilidade

6.4.2.1. Transporte e montagem

Pré-fabricados em argamassa armada:
material, técnica e desenho de componentes desenvolvidos por Lelé.

Figura 31 – Croqui e foto de montagem do edifício. Fonte: imagens cedida por Lelé.

A casca é fabricada em duas partes (Figura 32), o que facilita transporte e manuseio (cada parte pesa aproximadamente entre 90 a 160kg – respectivamente casca para vão de 1,875m e 3,75m).

Na ocasião da montagem, elas são posicionadas e barras de aço são introduzidas em vazios cilíndricos existentes na parte superior e nos extremos inferiores das cascas (Figura 33). O sistema permanece escorado durante 24 horas até a cura da argamassa de cimento e areia que é introduzida nos nichos previstos entre duas cascas consecutivas (Figura 31 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Figura 32 – Elementos da casca. Fonte: Imagem cedida por Lelé.

Figura 33 – Nervuras inferior (à esquerda) e superior (à direita) das cascas. Fonte: Projeto original FAEC.

Sem precisar números, Lelé comenta em entrevista à autora (2007) que na nervura superior, foi executada ligeira contraflecha, para evitar que a possível acomodação das peças criasse um sulco onde pudesse haver acúmulo de água da chuva.

6.4.3. Adequação ao uso final

6.4.3.1. Conforto ambiental

Com o objetivo de colaborar para o conforto termo-acústico, todas as cascas são duplas, ou seja, possuem colchão de ar com 20cm de espessura entre os elementos (Figura 34 à esquerda). O elemento superior da casca, também chamado de capa, apóia-se em apenas dois pontos na casca inferior, garantindo abertura para a circulação do ar do colchão (Figura 34 à direita). As capas são colocadas lado a lado, sem vedação lateral e com pequeno afastamento (cerca de 2 cm) entre elas, também na intenção de proporcionar ventilação e permitir a saída de ar quente. Por essa abertura também passa a água da chuva, que é conduzida para o tubo coletor interno aos pilares, por meio das calhas formadas nos extremos inferiores das cascas.

Figura 34 – À esquerda: Creche do Bonocô – Salvador. Fonte: foto da autora. À direita: Capa da Casca. Fonte: Imagem cedida por Lelé.

Ainda no sentido de colaborar com a ventilação e agora também iluminação, foi projetada abertura zenital (shed) em algumas cascas. O componente shed é composto de três elementos em argamassa armada: o elemento de abertura, que substitui a metade de uma casca e encaixa-se com as outras (Figura 35), o elemento que compõe a camada inferior do shed, que é duplo (Figura 35), e o elemento superior ou capa do shed, cuja função é de isolamento térmico, como a capa das cascas (Figura 35). Combinam-se cascas com e sem abertura, a depender da sua posição no projeto, para contribuir com o conforto dos ambientes.

Figura 35 – Componentes do shed: de abertura (à esquerda); componente inferior (centro); capa (à direita). Fonte: imagem cedida por Lelé.

Figura 36 – Imagens da casca sem e com abertura. Fonte: modelagem da autora.

Figura 37 – Seção esquemática de casca de 3,125m com shed. Sem escala. Fonte: desenho elaborado pela autora com base nos documentos consultados.

Destaca-se que as características do desenho da casca que colaboram no conforto térmico do edifício têm validade pelos cuidados do arquiteto com a implantação dos edifícios (ver item 5.1.1).

6.4.3.2. Interface casca-instalações

As instalações elétricas passam por canaletas metálicas que são aparafusadas na nervura inferior das cascas (Figura 38). Esses perfis metálicos também passam na direção transversal à casca.

Figura 38 - Perfis metálicos e instalações. Fonte: fotos e desenho da autora com base em documentos consultados.

6.4.3.3. Interface casca-parede de vedação

Como no sistema construtivo da escola (Figura 20 à direita), as canaletas metálicas da instalação elétrica se compõem com outro perfil metálico para encaixar os componentes de vedação (Figura 39).

Figura 39 – Cortes das cascas – perfis de instalações com divisória. Fonte: desenho da autora com base nos documentos consultados.

6.5. Considerações gerais sobre requisitos

Para os requisitos discutidos neste item não foram localizadas informações precisas durante a pesquisa, no entanto, são feitas considerações de caráter geral válidas para os componentes analisados.

Embora não sejam conclusivas e nem tenham sido orientadas por normas e códigos, (alguns deles inexistentes à época do desenvolvimento dos projetos analisados), acredita-se que essas considerações contribuam para um exercício de análise mais sistêmica e contextualizada dos componentes. São destacados pontos da atual norma Brasileira de desempenho que tendem a introduzir mudanças substanciais nas práticas projetuais na de edifícios e de seus componentes e elementos.

6.5.1. Comportamento ao fogo

Um projeto de proteção e combate contra incêndios em edificações requer o trabalho de especialistas e envolve diversas outras variáveis, além da avaliação do comportamento dos componentes e elementos construtivos. No entanto, essa questão é abordada aqui parcialmente, onde são discutidas apenas algumas dessas variáveis que têm relação direta com os componentes estudados neste capítulo.

A Instrução Técnica n.8 – IT8 (SECRETARIA DE ESTADO DOS NEGÓCIOS DA SEGURANÇA PÚBLICA, 2004) define o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) para componentes e elementos de construção. O TRRF deve ser atendido em situação de incêndio com o propósito evitar o colapso estrutural por um tempo suficiente para (a) proteger a vida dos ocupantes; (b) dificultar a propagação do incêndio; (c) proporcionar meios de controle e extinção do incêndio; e (d) dar condições de acesso para as operações do Corpo de Bombeiros (SÃO PAULO, 2001).

De acordo com a IT8, o TRRF deve ser aplicado aos elementos estruturais (no caso as vigas e cascas) e de compartimentação. Para tanto o edifício deve ser classificado segundo o seu uso, ocupação e sua altura. As escolas são classificadas como sendo do Grupo E (Educativo e cultura física), Divisão E1 (Escolas em geral que incluem as escolas de primeiro e segundo graus). As creches são classificadas como sendo também do Grupo E, Divisão E5 (Pré-escolas que incluem as creches). A altura dos edifícios, tanto escolas como creches, não ultrapassa 6m

Diante dessas classificações o TRRF das vigas e cascas deve ser de 30min. Como não foram encontrados registros desse tipo de ensaio para os componentes do estudo, e desde que o referencial normativo aqui exposto seja seguido, uma alternativa é limitar a área dos edifícios em, no máximo, 750m². A IT8 permite o benefício da isenção do TRRF para os elementos de um edifício que tenha área inferior a 750m², altura inferior a 6m e possuir saídas de emergência, rotas de fuga e condições de ventilação dimensionadas conforme regulamentações vigentes.

Na documentação consultada dos edifícios das escolas e creches, foram encontrados edifícios de com áreas variando entre 270m² até 1800m² no caso das

escolas e creches de 306,25m² e 393,75m². Do conjunto de escolas e creches, a maior altura atingida entre piso do primeiro pavimento e teto do segundo é de aproximadamente 5,5m.

Um dos pontos vulneráveis é parafuso de ligação da viga porque não há proteção especificada para esse componente. Uma vez exposto, se tiver a sua estabilidade comprometida pela ação do fogo, leva a estrutura ao colapso.

Por fim, cabe destacar que os componentes são produzidos com materiais incombustíveis e que não liberam gases tóxicos quando decompostos termicamente.

6.5.2. Estanqueidade

Aqui discute-se a estanqueidade às fontes de umidade externa ao sistema e para o presente estudo, à água de chuva. Para tanto faz-se necessário analisar as propriedades dos materiais e as técnicas utilizadas na produção e assentamento dos componentes e na execução das juntas e outros detalhes construtivos.

A baixa permeabilidade do material¹³ sempre destacada pelos especialistas como uma das grandes vantagens da argamassa armada não é suficiente para garantir a estanqueidade da cobertura. A limitação da fissuração (em quantidade e abertura de fissura), embora não tenha sido informada, é um parâmetro importante para a estanqueidade e durabilidade de componentes expostos às intempéries, ressaltado em códigos de projeto e produção de elementos delgados à base de cimento expostos às intempéries (vide INTERNATIONAL FERROCEMENT SOCIETY, 2001).

A calha da cobertura da creche que é conformada na ligação das cascas é um ponto que merecem destaque. Apesar dos cuidados na produção da junta e na declividade dada na argamassa para escoamento das águas pluviais, não se tem registros sobre a aderência entre a argamassa da ligação e as cascas. Durante o uso essa aderência pode sofrer com a variação volumétrica dos materiais devida aos

¹³ O coeficiente de permeabilidade é declarado inferior a 1×10^{-11} cm/s; a absorção de água é inferior a 6% (HANAI, 1992).

gradientes de temperatura e provocar o descolamento dessa argamassa em alguns pontos.

Não houve registro de instalações do sistema de proteção contra descargas atmosférica (SPDA) ou qualquer outro equipamento instalado na cobertura. Uma vez que não houve previsão para fixação de nenhum sistema na cobertura, qualquer intervenção posterior que interfira na integridade dos componentes (como fixação de painéis ou antenas) pode comprometer a estanqueidade.

Também não há registros do desgaste das calhas, nas vigas das escolas e nas cascas das creches, resultado da ação mecânica (abrasão) ou da ação química (lixiviação) da água da chuva e que podem provocar prejuízo ao sistema de drenagem e também à durabilidade das estruturas.

6.5.3. Manutenibilidade e durabilidade

A filosofia defendida pela International Ferrocement Society (2001) no seu código de projeto e construção com ferrocimento identifica uma relação direta entre a manutenção e a durabilidade, relação que também é compartilhada por vários outros códigos e normas.

Como qualquer outra estrutura, aquelas produzidas com ferrocimento (aqui pondendo-se entender argamassa armada) devem ser projetadas, construídas e usadas de tal forma que, diante das condições ambientais, do seu entorno e das especificidades de uso e operação, mantenham a segurança, funcionalidade e a estética em níveis aceitáveis, durante um período de tempo implicitamente considerado ou explicitamente declarado, não sendo para isso necessária qualquer intervenção onerosa para a manutenção e reparo (tradução livre e adaptação da autora a partir de INTERNATIONAL FERROCEMENT SOCIETY, 2001).

Esta sucinta descrição deixa claro que os conceitos de durabilidade, vida útil e manutenibilidade são interdependentes, devendo ser analisados em conjunto.

O requisito de durabilidade refere-se à capacidade dos componentes de manterem o nível de desempenho estipulado para um conjunto de requisitos considerados

prioritários para os usuários, por um determinado período de tempo que é denominado *vida útil de projeto*. Os componentes devem suportar os efeitos da degradação e deterioração pelo uso e pelas intempéries durante essa vida útil. Para garantir essas condições e evitar falhas no comportamento dos componentes, via de regra, é definido um plano de intervenções, ou seja, atividades de manutenção, que sejam viáveis técnica e economicamente ao proprietário ou instituição mantenedora do edifício.

Não se tem registros de ensaios de desempenho realizados com esses componentes, de acordo com recomendações da norma de desempenho ou documentos similares. Na verdade Lelé valeu-se sempre de sua sensibilidade e de suas próprias experiências práticas em canteiro para elaborar novas soluções técnicas ou resolver problemas específicos identificados no uso dos seus componentes.

Na ausência de resultados de ensaios de avaliação de desempenho que reproduzam as condições reais de uso e atestem a durabilidade dos componentes, a sua não conformidade, ou seja, a falha desses componentes pode ser aferida por meio da confiabilidade de suas partes e dos processos de produção. É exatamente essa a prática que o arquiteto vem aprimorando durante seus longos anos de experiências com esses pré-moldados de argamassa armada.

Como já explicitado nesta dissertação a durabilidade do componente é diretamente dependente do controle nas fases da produção e montagem, controle que Lelé sempre defendeu e praticou, mesmo nas aplicações mais simples de sua tecnologia de argamassa armada. Então por meio desse rigor no controle do processo e na realimentação e detalhamento minucioso do projeto, Lelé conseguia, empiricamente, aumentar a confiabilidade das partes e dos processos e, por conseguinte, reduzir a probabilidade de falha dos componentes, e em última análise, do sistema como um todo.

Essa discussão ganha mais destaque a partir da publicação da norma de desempenho Brasileira que estabelece valores mínimos de vida útil de projeto. Segundo a NBR15575, parte 1 (ABNT, 2008) a estrutura deve ter vida útil de projeto de, no mínimo, 40 anos e a cobertura de, no mínimo, 20 anos. Seguindo um

raciocínio mais restritivo tanto a viga quanto a casca são caracterizados como elementos integrantes da estrutura dos edifícios, e hoje deveriam ser projetadas para alcançar vida útil mínima de 40 anos. Naturalmente haverá um tempo de transição até que a norma passe a ser de uso obrigatório; após esse período em casos de litígio, a norma poderá ser usada como referência em perícias judiciais. Isso certamente influenciará a atividade de construção de edifícios e espera-se que tenha um efeito positivo na valorização dos projetos e dos projetistas.

Lelé não mensura explicitamente em seus projetos de argamassa armada a *vida útil* estimada ou esperada, qualquer que seja. Mas há dois pontos que merecem análise mais detida quanto à durabilidade desses componentes. A ligação das vigas das escolas, feitas por meio de parafusos de aço exposto sem qualquer proteção adicional, apenas a galvanização e que também, como já mencionado no item 6.5.1, é um ponto crítico na segurança contra incêndio. A calha para escoamento de águas pluviais na cobertura das creches, cuja argamassa de ligação entre cascas e que conforma o fundo da calha pode apresentar problemas de aderência. No entanto, algumas constatações casuais sem valor estatístico, parecem sugerir a validade de seus controles de produção.

Em algumas obras localizadas em Salvador e visitadas para a coleta de dados, a autora pode constatar, por meio de declarações espontâneas dos dirigentes das escolas e creches, que o estado dos edifícios atinge condições mínimas toleráveis ou satisfatórias. Essas declarações acrescentam que esses edifícios nunca foram submetidos a intervenções mais intrusivas, apenas reparos localizados para remanejamento de instalações hidráulicas e elétricas. As vigas e cascas isoladas, sem considerar as ligações, mediante análise visual, não apresentam deterioração muito acentuada que inviabilize o uso do edifício. Esses edifícios têm cerca de 20 anos de uso e estão localizados em regiões de agressividade moderada, na cidade de Salvador, de acordo com mapeamento realizado por VILASBOAS (2004, p.187)

A manutenção, por sua vez, sempre foi declarada nos projetos analisados como um requisito viável de ser atendido satisfatoriamente. As ligações e interfaces dos componentes e outros componentes/elementos são razoavelmente simples e, desde que se possa contar com mão-de-obra treinada, os componentes podem ser

removidos e reinstalados ou substituídos sem grandes prejuízos de desempenho ou da estética dos edifícios. Portanto, a lógica da manutenção desses componentes considerava, além da mão-de-obra treinada, a existência fábricas que pudessem suprir a demanda desses componentes e elementos. O que se verifica atualmente é a falta de mão-de-obra treinada e a inexistência de fábricas de pré-moldados capacitadas para o atendimento dessa demanda. A única exceção é feita à fábrica da DESAL, em Salvador, que herdou algumas as fôrmas da FAEC e poderia atender parcialmente a demanda. O atendimento da demanda em outras cidades no Estado da Bahia ou mesmo em outras regiões do País, atualmente, não pode ser realizado por produção local.

6.6. Considerações sobre o capítulo

De forma geral, do ponto de vista das formas, os detalhes da viga e da casca definem relações entre os componentes, ao mesmo tempo em que revelam particularidades do processo produtivo válidas para serem adotadas em outros estudos sobre pré-fabricados. Destacam-se as inclinações para facilitar a desmoldagem; a variação modular dos componentes que compatibilizam de, maneira racional, a necessidade do atendimento do programa de necessidades da arquitetura e a facilitação do transporte e instalação manual; o rendimento das seções da viga e a baixa relação massa/área construída propiciada com o uso das cascas.

Quanto às considerações sobre os requisitos de comportamento ao fogo, estanqueidade, manutenibilidade e durabilidade, foi detectada a falta de análise mais profunda das características dos componentes que têm relação com os requisitos de desempenho do edifício de forma geral. Há que se reiterar que muitas dessas normas e recomendações técnicas inexistiam à época do desenvolvimento desses componentes. A aplicação dessas normas a edifícios existentes requer certos ajustes, mas ressalta-se que atualmente essas normas devem fazer parte do referencial técnico dos projetistas.

Algumas das conseqüências identificadas pela falta de análise mais abrangente podem ser contornadas, como no caso do atendimento das atuais normas de

segurança contra incêndio onde uma alternativa seria a limitação da área máxima dos edifícios.

A manutenção dos edifícios com reposição de componentes, por outro lado, se constitui em uma limitação mais severa do sistema construtivo pelas razões apontadas no item 6.5.3, fato que foi agravado pela descontinuidade da prestação de serviços pelo CTRS.

Quanto à durabilidade, considerando a continuidade de uso dos edifícios e prolongamento da sua vida útil em alguns ambientes mais agressivos, não se pode excluir a possibilidade de aplicação de uma pintura protetora, por exemplo. Naturalmente, esse tratamento é oneroso e demanda refazimento freqüente, o que contradiz a proposta inicial de Lelé de um sistema com poucas variações de materiais e técnicas para facilitar a produção e manutenção. Se a opção for a não aplicação da pintura, inclusive para preservar a estética e textura dos edifícios com a argamassa aparente, deve-se avaliar o risco de possíveis deslocamentos de partes soltantes da estrutura (resultantes da corrosão das armaduras), ou garantir um meio de substituição dos componentes danificados, o que remete novamente à questão da atual limitação de produção e distribuição desses componentes. Outra consideração pode ser feita quanto às restrições de uso desses componentes, é sugerir o seu emprego em ambientes de baixa umidade relativa e baixa agressividade, valores que devem ser medidos e validados por meio de ensaios de análise de desempenho.

Os componentes analisados neste capítulo ilustram respostas que o desenho pode dar a uma determinada tecnologia, tirando melhor proveito das características do material e da técnica.

O desenho da viga teve oportunidade de ser amadurecido, assim como outros tantos componentes e o conjunto da obra. Seu resultado é uma seção que preza pelo desempenho nas diversas etapas da construção (projeto, execução e uso). Em entrevista concedida à autora (2007), Lelé considera o projeto das escolas o mais maduro no uso da argamassa armada, do qual partiria em eventual recomeço: “Se hoje eu tivesse que fazer uma nova experiência de argamassa armada, eu ia partir dos CIAC’s”.

O projeto da creche foi pensado e executado em uma única oportunidade, como dito anteriormente, na FAEC. Embora Lelé afirme ter chegado ao limite do material no projeto das cascas, em outro momento o arquiteto revela achar possível aumentar a casca e seus vãos, sendo para isso necessário mais estudo aplicado.

O que faltou nessas experiências todas foi um pouco mais de uma atuação sistêmica no sentido de comprovar algumas coisas que você tem uma informação teórica, na prática, às vezes funciona de forma diferente. Eu acho que tecnologia aplicada é isso, você tem que ter um sistema de medição, de avaliação de cada experiência muito mais adequada do que a que nós tínhamos, devido à situação precária em que nós trabalhávamos. Hoje já estamos melhores. (informação pessoal¹⁴)

E o arquiteto lamenta a falta de oportunidade de tê-las repensado:

Ela [a casca] é um desenho mais sofisticado, faltou a ela um pouco de evolução, sabe? Se ela tivesse evoluído eu acho que o resultado seria bem melhor. O projeto foi feito aqui com uma rapidez muito grande, não se podia testar, não tinha tempo para fazer nada, tinha que começar a construir as creches. O risco que se assumiu aí era pequeno. Essa é a questão do risco: se você tem certeza, se você vai poder fazer duas, três experiências, você assume outros tipos de riscos. (informação pessoal¹⁵)

¹⁴ Lelé em entrevista a autora, set 2008

¹⁵ Lelé em entrevista a autora, set 2007

Considerações Finais

O arquiteto Lelé é o maior divulgador da pré-fabricação em argamassa armada, tendo sua contribuição à Arquitetura e à Construção Civil no Brasil reconhecida por diversas instituições e profissionais da área considerado (BENTES, 1992; HANAI, 1992, CAMPOS, 2002; REBELLO,2008). Um traço da personalidade de Lelé que contribuiu para que ele tivesse se lançado à pré-fabricação e inclusive aplicado em larga escala a argamassa armada antes dela ser normatizada (ABNT,1990) é a sua capacidade de assumir riscos e a compreensão dessa necessidade para a evolução das coisas.

Eu acho que a evolução, em todo o sentido, até mesmo nós como seres biológicos, nós temos que assumir riscos. O risco para se obter o melhor resultado, a evolução, tem que ser. (informação pessoal)¹

A argamassa armada é uma alternativa tecnológica para a pré-fabricação e para a construção industrializada. Nesse sentido, sua aplicação depende de um contexto sócio, econômico e tecnológico da construção civil favorável à industrialização. A experiência de Lelé com pré-fabricação (da madeira na construção de Brasília às estruturas mistas de aço e argamassa armada no CTRS) contribui para a evolução da construção civil não simplesmente pelo uso de tecnologias pré-fabricadas como principalmente pela postura inovadora e experimental sobre elas.

A argamassa armada evolui juntamente com outros compósitos de base cimentícia para produção de componentes delgados, sendo reinterpretada para posicionar-se no mercado de forma competitiva.

A tela de aço (a armadura difusa) da argamassa armada tradicional está sendo, na maioria das vezes, completamente substituída por fibras, mantendo-se apenas a

¹ Lelé em entrevista à autora em setembro de 2007.

armadura principal, no caso de componentes com função estrutural. O CTRS, por exemplo, adota fibras de aço em substituição à tela de aço, em peças de menor solicitação estrutural. Naaman (2008) aponta essa tendência em artigo recente e ressalta que embora o termo ferrocimento remeta a um reforço de material ferroso, as fibras e armaduras não metálicas também devem ser incorporadas ao material. Destaca ainda o uso de matrizes e fibras de alto desempenho, notadamente os tecidos de arranjos tridimensionais.

O conceito básico que persiste é a possibilidade de fazer componentes laminares com menor peso que facilitem o transporte e o deslocamento. As pontencialidades apresentadas pela argamassa armada são melhor aplicadas em estruturas laminares. Sendo uma das características mais importantes desses materiais a resistência pela forma, uma vez explorado esse potencial, mais eficiente e econômico será o projeto. A moldabilidade do material permite exploração de formas das mais diversas, curvas e orgânicas.

A tecnologia da argamassa armada pode evoluir e se consolidar definitivamente no campo da Construção Civil se ela for baseada, não numa definição prévia do material, mas no desenvolvimento dos métodos de projeto, execução e manutenção de estruturas extremamente delgadas. (HANAI, 1992)

Assim, Lelé escapa da mesmice das formas ortogonais e massivas que normalmente vemos nos sistemas pré-fabricados e nos surpreende continuamente com volumetrias variadas e seções elegantes a serviço do diálogo do edifício com ambiente, criando espaços por onde, na mais perfeita tradução do poema Fábula de um arquiteto, de João Cabral de Melo Neto, caminham "por onde, livres: ar luz razão certa. (REBELLO, 2008)

Comparando sistemas construtivos e justificando sua escolha, Lelé constatou, conforme declara no prefácio de Hanai (1992), "redução de peso superior a quatro vezes ao de uma construção convencional executada com estrutura de concreto armado e paredes em alvenarias de tijolos" em edifícios industrializados com base na tecnologia da argamassa armada.

Importante que se diga que projetar estruturas laminares não consiste no ato de simplesmente tornar mais leves as tipologias construtivas convencionais, através da diminuição das espessuras dos seus componentes. Trata-se de uma ruptura com as tipologias construtivas convencionais, quer do ponto de vista da engenharia de estruturas quer do ponto de vista da arquitetura (Campos, 2002)

A durabilidade continua sendo um desafio ao desenvolvimento e disseminação da argamassa armada. Essa questão vem sendo pesquisada (BOLANDER, 2007; NAAMAN, 2008) e pode ser alcançada buscando-se novas dosagens de argamassas com maior compacidade, novos cimentos e novas fibras. As pesquisas não podem perder de vista a implicação das soluções no custo final do material, sob a pena de torná-lo pouco competitivo.

Em entrevista recente concedida à autora (dezembro de 2008), Lelé defendeu a argamassa armada: “Se você me perguntar, qual o material mais correto para promover a industrialização da construção civil eu vou responder, ‘é a argamasssa armada’. Vou te responder sem hesitação”.

Embora o trabalho tenha foco na tecnologia da argamassa, entende-se que as questões relativas ao desenho orientado ao desempenho levantadas nesta pesquisa são aplicáveis a outros componentes leves pré-fabricados, contribuindo com a difusão de uma nova cultura de processo produtivo.

O conceito de *projeto orientado ao desempenho* exige do projetista o pensamento voltado para as qualidades que o componente e/ou edifício devem apresentar, independente da maneira como são construídos. Nesse sentido, empiricamente, os projetos de Lelé estão orientados ao desempenho e nesta pesquisa os desenhos de cada componente construtivo são apresentados de forma sistemática, compreendendo-se, através da comparação de desenhos e informações sobre cada componente, como o desenho interfere no seu desempenho do elemento.

Não é fácil definir um caminho para se chegar a um bom projeto, uma vez que entram em jogo tantas variáveis, muitas delas conflitantes entre si, a serem analisadas em atividades que não são executadas de modo linear – as atividades de projeto na verdade

acontecem em sucessivas idas e vindas, de desenho e redesenho.
(HANAI, 1992)

Não é exagero dizer que Lelé talvez seja um dos raros exemplos mundiais de profissional que mantém viva a tradição do arquiteto como aquele que resolve efetiva e integralmente a construção. Vendo-se responsável, como projetista e construtor, por obras de grande porte e complexidade, e com cronograma restrito, elabora uma arquitetura que tem por necessidade ser comunicável e compreensível aos seus auxiliares e aos futuros usuários, com um grau de universalidade que talvez só a arte seja capaz de atingir.
(REBELLO, 2008)

Diante de tantas as variáveis envolvidas no processo, Lelé se vale da sua sensibilidade para articulá-las e solucioná-las, dentro do possível. Tanto no que diz respeito ao material e à técnica, durante a produção dos componentes, quanto no que diz respeito ao programa e projeto. Além disso, conta com o apoio de profissionais de áreas complementares e afins ao projeto, num trabalho multidisciplinar, onde Lelé é o coordenador. O processo não é estático, e a evolução se dá de forma não linear, com erros e acertos que, quando contabilizados, o resultado é positivo.

Antes de ser um arquiteto ímpar, Lelé é uma pessoa ímpar. Fala de erros e acertos com naturalidade. Avisa que é preciso saber que se vai errar. E ao admitir que sempre há onde melhorar e se aperfeiçoar, abre espaço para a evolução constante. (CAPOZZI, 2008).

Atenção às questões sociais está presente na grande maioria dos projetos do arquiteto, como nas obras de saneamento básico, passarelas, escolas, creches e hospitais. As escolas e creches apresentadas nessa dissertação têm seu programa social atendido, sendo o projeto eficaz nas respostas às demandas da época. Ainda hoje grande parte dos edifícios são usados para o mesmo propósito do projeto.
(RECAMÁN, 2006)

Esse trabalho não esgota as possibilidades de análise dos componentes e edifícios propostos para o estudo e se coloca como uma contribuição para a interpretação do processo de projeto e produção desses componentes.

Diante dos resultados apresentados no Capítulo 6, vê-se a pertinência de um estudo futuro sobre o nível de desempenho desses edifícios. Isso seria de utilidade para inferir uma expectativa de vida útil para esses componentes e elementos de argamassa armada em condições reais de uso, por mais de duas décadas.

Seria de utilidade também para identificar e registrar que modificações e adaptações reais têm sido realizadas pelos usuários desses edifícios, como forma de adaptar as novas demandas e novas necessidades desses usuários que não eram respondidas pelo programa e desenho originais.

Por outro lado a riqueza de informações do trabalho de Lelé permite a sugestão de um outro tema a ser explorado: a pesquisa com novos materiais, principalmente com novos tipos de reforço, valendo-se das experiências aqui relatadas.

Para que novos componentes e edifícios pré-fabricados tenham a qualidade buscada no conceito de desempenho, as lições do trabalho de Lelé devem ser somadas ao avanço dos novos materiais. Nesse sentido, tem-se como outra sugestão de pesquisa, estudos do desenho de componentes com o uso de fibras descontínuas, como parte integrante da armadura.

Por fim pode-se dizer que o trabalho do arquiteto revela uma apreciável relação dialética entre prática e teoria, material e técnica, responsabilidade e ousadia.

Bibliografia

Referências bibliográficas

- ANTUNES, B. Fábrica de humanidade: Entrevista a João Filgueiras Lima, Lelé. **Revista AU**, São Paulo, Ed. 175, outubro 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. NBR 9062. Rio de Janeiro: ABNT. 2001. 37p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Projeto e Execução de Argamassas Armadas**. NBR 11173. Rio de Janeiro, ABNT, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Cimento Portland composto**. NBR 11578. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Edifícios habitacionais de até 5 pavimentos: Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais**. NBR 15575-1. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Edifícios habitacionais de até 5 pavimentos: Desempenho – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais**. NBR 15575-2. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Edifícios habitacionais de até 5 pavimentos: Desempenho – Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas**. NBR 15575-4. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Projeto de norma nº 02:136.01. **Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Edifícios habitacionais de até 5 pavimentos: Desempenho – Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos**. NBR 15575-3. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Edifícios habitacionais de até 5 pavimentos: Desempenho – Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas**. NBR 15575-5. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Edifícios habitacionais de até 5 pavimentos: Desempenho – Parte 6: Sistemas hidrosanitários**. NBR 15575-6. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- BALLARIN, Adriano Wagner. **Desempenho das ligações de elementos estruturais pré-moldados de concreto**. 1993. 255p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1993.

- BENTES, Ruy Franco. **Considerações sobre projeto e produção de componentes pré-moldados de argamassa armada**. 1992. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.
- BLACHÈRE, G. **Saber construir : habitabilidad, durabilidad, economía de los edificios** / Translation of: Savoir bâtir: habitabilite, durabilite, economie des batiments; traduzida do francês pelo Prof. Dr. Arquitecto Buenaventura Bassegoda Musté. 3a ed. Barcelona, España: Editores Técnicos Asociados, 1978.
- BOCHILLE, Cláudia. As mil utilidades do microconcreto. **Revista Técnica**. Disponível em: <http://www.revistatechne.com.br/edicoes/54/imprime32405.asp>. Acesso em: 20 de agosto. 2008.
- BOLANDER, J.E. (organizador). Advances in the Science and Engineering of Thin Reinforced Cement Composites (TRCC). Cement & Concrete Composites. US–Thai International Workshop: **Workshop Report**. 8th Ferrocement Symposium (2006). 2007.
- BRUNA, Paulo. A Industrialização da construção no Brasil - Tecnologia e Pré-fabricação na Construção de Massa. In: VIII Conferência Latino-americana de Escuelas y Facultades de Arquitectura (CLEFA), 8, 1978.
- CAMPOS, Paulo Eduardo Fonseca de. **Da argamassa armada ao microconcreto de alto desempenho: perspectivas de desenvolvimento para a pré-fabricação leve**. 2002. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- CAPOZZI, Simone. As luzes de Lelé. Editorial. **Revista AU**. São Paulo, Ed. 175, outubro, 2008.
- DERNTL, Maria Fernanda. A necessidade de racionalização. **Revista AU**. São Paulo, ed.140, nov. 2005.
- DIESTE, Eladio. **Las tecnologías apropiadas y la creatividad**. In: GUTIÉRREZ, Ramón (coord.). Arquitectura latinoamericana en el siglo XX. Buenos Aires: Cedodal, 1998.
- EL DEBS, Mounir Khalil. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. São Carlos: Publicação EESC-USP, 2000.
- ENGEL, Heino. **Sistemas estruturais**. Título original: Tragsysteme. 1997. Versão castelhana/portuguesa. Tradução portuguesa de Esther Pereira da Silva. Editorial Gustavo Gili, SA. Barcelona, 2001 (2001).
- FARAH, Marta Ferreira Santos. **Processo de trabalho na construção habitacional: tradição e mudança**. São Paulo: Ed. AnnaBlume / FAPESP, 1996.
- FERREIRA, Maria Cristina D. L. **Avaliação pós-ocupação (APO) Escolas de ensino fundamental em argamassa armada: cidade de São Paulo e sua Região Metropolitana**. 2005. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

- FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. **Concreto com fibras de aço**. São Paulo: EPUSP, 2000. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/260).
- GIBSON, E. J. Coordinator of the CIB Working Commission W060 (1982): 'Working with the performance Approach in Buiding', **CIB State of The Art Report nº64**, CIB, Rotterdam, Netherlands.
- GINGO, José Samuel. **Argamassa armada: dimensionamento de perfis submetidos à flexão: fundamentos e experimentação**. 1990. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1990.
- GREEPALA, Vatwong; NIMITYONGSKUL, Pichai. Structural integrity of ferrocement panels exposed to fire. **Cement & Concrete Composites**. Elsevier, n.30, p.419–30, 2008.
- HANAI, J. B. **Construções de argamassa armada: situação, perspectivas e pesquisas**. 1981. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1981.
- HANAI, João Bento de. **Construções de argamassa armada: fundamentos tecnológicos para projeto e execução**. São Paulo: Pini, 1992.
- HANAI, João Bento de. Guia na elaboração de projetos de pesquisa na área de tecnologia. **Material de apoio**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Departamento de Estruturas, 1996.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 6241- Performance standards in building: principles for their preparation and factors to be considered**, London: ISO, 1984. 10p.
- INTERNATIONCAL FERROCEMENT SOCIETY. **Ferrocement model code: building code recommendations for ferrocement** (IFS 10-01). Pathumtahn: ASIAN INSTITUTE OF TECHNOOLOGY- IFS. Jan.2001. 96p.
- KONCZ, Tihamér. **Manual de la construcción prefabricada**. (Tomo 2). Madrid: H. Blume, 1978.
- LANG, Cezar Luiz. **Avaliação do uso de areia britada de origem basáltica lavada e não lavada para utilização em concreto à base de cimento Portland**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Área de Concentração Construção Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 2006. 143p.
- LATORRACA, Giancarlo (org.). **João Filgueiras Lima, Lelé**. Arquitetos Brasileiros. Lisboa: Editorial Blau. Instituto Lina Bo e P. M. Bardi, 2000.
- LIBÓRIO, Jefferson Benedicto Libardi. **Estudo patológico das construções de argamassa armada existentes no Brasil**. 1989. 329p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de são Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.
- LIMA, João Filgueiras. **Escola Transitória – Modelo Rural: experiência com argamassa armada**. Brasília: MEC, 1984.

- LIMA, João Filgueiras. **O que é ser arquiteto: memórias profissionais de Lelé (João Filgueiras Lima)**; em depoimento a Cynara Menezes. Rio de Janeiro: Record, 2004.
- MARCELLINO, Narbal Ataliba. **Projeto e Produção de Sistemas e Componentes de Argamassa Armada em Edificações**. 1991. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.
- MARGARIDO, Aluísio Fontana. **Fundamentos de Estruturas**: um programa para arquitetos e engenheiros que iniciam no estudo das estruturas. São Paulo: Zigurate Editora, 2001.
- NAAMAN, Antoine E. Ferrocement and thin reinforced cement composites: four decades of progress. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NON-CONVENTIONAL MATERIALS AND TECHNOLOGIES 10th. **Proceedings**. Cali, Colombia. 14-18th Nov., 2008. Cali: Universidad del Valle. 2008. 25p. (CD-ROM).
- OLIVEIRA, C. T. A. Painéis pré-fabricados de GRC para vedação vertical de edificações. **Cadernos Técnicos – AUT**, Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Tecnologia da Arquitetura. - n.10 (2003). São Paulo: FAU, 2003, p.73-90.
- PEIXOTO, Elane. **Lelé – O arquiteto João da Gama Filgueiras Lima**. 1996. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- PERRONE, Rafael. **Desenho como signo da arquitetura**. 1993. Tese (Doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 1993.
- POLIÃO, Marco Vitruvíio. **Da Arquitetura**: Tradução e notas Marco Aurélio Lagonegro. Estudos Urbanos; 13. Série Arte e Vida Urbana, 7. Tradução de : Vitruvii De Archictetura Libri Decem. – São Paulo: Hucitec; Fundação para Pesquisa Ambiental, 1999.
- REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **A concepção estrutural e a arquitetura**. 2ª Edição (2001). São Paulo: Editora Zigurate, 2000.
- REBELLO, Yopanan; LEITE, Maria Amélia. Architekton Lelé: o mestre da arte de construir. Interseção. **Revista AU** (Especial João Filgueiras Lima, Lelé). São Paulo, Ed. 175, out.2008.
- SABBATINI, Fernando H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos**: formulação e aplicação de uma metodologia. 1989. 321p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.
- SABBATINI, Fernando Henrique. A evolução tecnológica da construção de edificações de edifícios e o desenvolvimento dos processos construtivos. In: ENCONTRO NACIONAL DA CONSTRUÇÃO, 10º, 1990, Gramado. **Artigo técnico**. Porto Alegre, RS, 1990. v.2, p. 583-596.
- SÃO PAULO. Decreto n. 46.076, de 31 agosto de 2001. Institui o regulamento de segurança contra incêndio das edificações e áreas de riscos para os fins da Lei n. 684, de 30 de setembro de 1975, e estabelece outras providências. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, SP, 1 set. 2001. Poder Executivo, Seção I., 111 (166).

- SECRETARIA DE ESTADO DOS NEGÓCIOS DA SEGURANÇA PÚBLICA. Instrução Técnica nº08/2004. **Segurança Estrutural nas Edificações Resistência ao fogo dos elementos de construção**. São Paulo: Polícia Militar do Estado de São Paulo. Corpo de Bombeiros, 2004.
- SILVA, Vanessa Gomes da. **Diretrizes para o projeto de painéis de fachada em cimento reforçado com fibras de vidro (GRC)**. 1998. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 1998.
- SOUSA, Marcos. Entrevista: João Filgueiras Lima. **Revista AU**, São Paulo, Ed. 82, fev./mar. 1999.
- TEIXEIRA, Pedro Wellington G. do Nascimento. **Projeto e execução de coberturas em casca de concreto com forma de membrana pênsil invertida e seção tipo sanduíche**. 1999. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
- TORROJA, Eduardo. **Razón y ser de los tipos estructurales**. Madrid: Editorial Instituto E. Torroja, 1960.
- VILASBOAS, José Marcílio Ladeia. **Durabilidade das edificações de concreto armado em Salvador: uma contribuição para a implantação da NBR 6118:2003**. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, 2004. Salvador-BA, 2004. 229p.

Obras consultadas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9062. **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro: ABNT, 1985.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 11173. **Projeto e execução de argamassa armada**. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.
- BALLARIN, A. W. Argamassa Armada: Definição, Histórico e Desenvolvimento. **Estudo Técnico** -88, Revisão 2. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1999.
- BALLARIN, A.W. **Propriedades mecânicas da argamassa armada com telas soldadas**. 1989. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Estruturas). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1989.
- CAMPOS, Paulo Eduardo F. de. Sem restrições tecnológicas, os pré-fabricados precisam romper obstáculos culturais. In: Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (ABCIC). **Artigo Técnico**. [19--]. Disponível em <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/comunidade/calandra.nsf/PGTABCIC-View?ReadForm&count=8&sec=ArtTecnico>>. Acesso em 10/08/2006.
- DESIDERI, Paolo; NERVI Jr. Pier; POSITANO, Giuseppe. **Pier Luigi Nervi**. Versión castellana. Editorial Gustavo Gili, S.A.: Barcelona, 1982

DIESTE, Eladio. **La estructura cerámica**. Somosur, 1987

FERREIRA, Emerson de Andrade Marques. **Diretrizes para garantia da qualidade em construções industrializadas: uma aplicação à tecnologia da argamassa armada**. 1991. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1991.

FOLIENTE, Greg. et al. Performance Based Building R&D Roadmap. **FINAL REPORT** - EUR 21988. Rotterdam, Performance Based Building Thematic Network, November 2005.

GUIMARÃES, Ana Gabriella Lima. **João Filgueiras Lima: o último dos modernistas**. 2003. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

HANAI, João Bento de; EL DEBS, Mounir Khalil. The future of ferrocement in civil engineering construction. In: International Symposium on Ferrocement, 5th, **Proceedings**. Manchester, England; Nedwell, P J, editor; Swamy, R N, editor; London: E & Fn Spon, 1994. 508p, ISBN 0-419-19700-1, 1994; p 17-26.

LIMA, Flávio B. de. **Estudo experimental de elementos de argamassa armada com tela de chapa de aço expandida**. 1990. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1990.

LINO, Sulamita Fonseca. A obra de Eladio Dieste: flexibilidade e autonomia na produção arquitetônica. In: **Anais...** IV Colóquio de Pesquisas em Habitação: Coordenação Modular e Mutabilidade. Belo Horizonte: MOM / EAUFMG, 2007. (pdf)

MEACHAM, Brian; BOWEN, Robert; TRAW, Jon. et al. Performance-based building regulation: current situation and future needs. Building Research & Information. v. 33, n. 2, p. 91–106. Ed. Routledge. Mar-apr, 2005.

RECAMÁN, Luiz. Lelé e a arquitetura moderna brasileira. **Ensaio** – sec20. Publicado em 18/9/2003. Disponível em: <<http://php.uol.com.br/tropico/html/textos/1689,1.shl>>. Acesso em 10/08/2006.

RODRIGUES, Publio P. F. **Controle de qualidade na indústria de pré-fabricados**. 1989. 137p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo: EPUSP, 1989.

ROMERO, Vera Suplicy. **Produção industrial de pré-moldados em argamassa armada**. 2000. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

TEIXEIRA, Pedro Wellington G. do Nascimento. **Estruturas espaciais de elementos pré-moldados delgados de concreto**. 1994. 139 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1994