

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

Maurício Oscar Allgayer

**LAJE ZERO EM EDIFICAÇÕES DE MÚLTIPLOS
PAVIMENTOS: COMPARAÇÃO COM O SISTEMA
CONSTRUTIVO TRADICIONAL**

Porto Alegre
junho 2010

MAURÍCIO OSCAR ALLGAYER

**LAJE ZERO EM EDIFICAÇÕES DE MÚLTIPLOS
PAVIMENTOS: COMPARAÇÃO COM O SISTEMA
CONSTRUTIVO TRADICIONAL**

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

Orientador: Ruy Alberto Cremonini

Porto Alegre
junho 2010

MAURÍCIO OSCAR ALLGAYER

**LAJE ZERO EM EDIFICAÇÕES DE MÚLTIPLOS
PAVIMENTOS: COMPARAÇÃO COM O SISTEMA
CONSTRUTIVO TRADICIONAL**

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

Porto Alegre, 15 de julho de 2010

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

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

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

Profa. Cristiane Sardin Padilla de Oliveira
Mestre pela Universidade Federal de Santa Maria

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

Dedico este trabalho à minha namorada Roberta, que sempre me apoiou e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação esteve ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais, Oscar e Ana, pelo apoio irrestrito durante meu Curso de Graduação e toda minha vida.

Agradeço aos meus irmãos, Ariane, Guilherme e Luiza, por serem sempre os melhores amigos.

Agradeço aos meus avós, Paulo, Marina, Nestélio e Marlise, pelos valores que conseguiram transmitir à minha família.

Agradeço à minha tia Sinara, por me ajudar desde minha infância, até o dia de hoje.

Agradeço ao professor Ruy Alberto Cremonini, orientador deste trabalho, pela sabedoria e atenção dedicada.

Agradeço à professora Carin Maria Schmitt pela inigualável paciência e dedicação durante a realização deste trabalho.

Agradeço aos meus padrinhos, tios e primos pela excelente convivência e transmissão de virtudes.

Agradeço aos meus amigos, pela compreensão e parceria durante todo o meu Curso de Graduação.

Agradeço aos meus colegas de faculdade, que tornaram os últimos anos especiais.

Agradeço ao colega e amigo Vinícius Iglín, por permitir que eu realizasse estudos em sua obra.

Agradeço ao engenheiro Fernando Luz Alves, pelos ensinamentos durante a realização do meu trabalho, além de permitir que eu realizasse estudos em sua obra.

Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer.

Mahatma Gandhi

RESUMO

ALLGAYER, M. O. **Laje Zero em edificações de múltiplos pavimentos:** comparação com o sistema construtivo tradicional. 2010. 77 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Muitas obras hoje empregam o sistema construtivo de lajes acabadas, também conhecido como sistema laje zero, usando-o em substituição aos métodos construtivos até então executados na construção civil. Esta mudança faz parte de um extenso processo de racionalização que o setor da construção civil vem apresentando nos últimos anos, no qual se tem a preocupação da interface entre o projeto para produção e a execução de fato, fazendo com que, por exemplo, se reduzam cada vez mais as perdas e desperdícios. Este trabalho compara, através de observações, aprofundamento do conhecimento e considerações estruturais, dois sistemas construtivos de lajes em concreto armado maciças: a tradicional e a zero. Na sua execução, o sistema laje zero não difere apenas no acabamento superficial dado ao concreto, mas também, em fatores que ocasionam inúmeras alterações em relação ao sistema tradicional, como processo de projeto, sistema de fôrmas, escoramentos, armaduras, concretagem e outros. Defendido por vários construtores modernos, devido a fatores como redução no consumo de materiais, por exemplo, o sistema construtivo laje zero tem ocupado cada vez mais espaço nas obras de múltiplos pavimentos. Porém, há ainda os que defendam o sistema tradicional, destacando fatores como a não necessidade de projeto para a produção, mão de obra especializada e equipamentos especiais, sem falar no aumento de proteção acústica que esse sistema proporciona, devido à espessa camada de contrapiso sobre a laje. Algumas dessas questões foram analisadas através de uma pesquisa de cunho teórico-prático, desenvolvida através de pesquisa bibliográfica e acompanhamento de dois empreendimentos em fase de construção na cidade de Porto Alegre/RS, sendo que um utilizou o sistema laje zero e o outro, o sistema tradicional com execução de contrapiso. O trabalho de pesquisa apresentou, em forma de resultados, as diversas alterações que a opção pelo sistema laje zero causa na produção de lajes em concreto armado. Entre estas, pode-se destacar a exigência de um controle de qualidade mais rigoroso, ganho de tempo em questões de prazo de obra e redução de custos. Apesar disso, foi demonstrado um déficit no que diz respeito à proteção acústica, pelo fato de eliminar o contrapiso.

Palavras-chave: racionalização; lajes; concreto armado; contrapiso; fôrmas; concretagem.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: maquete eletrônica do empreendimento A	13
Figura 2: maquete eletrônica do empreendimento B	13
Figura 3: esquema do delineamento da pesquisa	16
Figura 4: representação esquemática da produção de lajes em concreto armado	19
Figura 5: nivelamento e execução das taliscas	27
Figura 6: preenchimento com auxílio de enxada	27
Figura 7: alisamento da superfície com uma desempenadeira metálica	27
Figura 8: ilustração modelo de lajes niveladas e acabadas	31
Figura 9: escoramentos metálicos com ajuste de altura	30
Figura 10: desempenadeira de haste longa do tipo blue steel	33
Figura 11: aplicação de desempenadeira motorizada do tipo helicóptero	34
Figura 12: detalhe do barroteamento	37
Figura 13: disposição dos assoalhos	38
Figura 14: detalhe das passagens hidráulicas, armadura positiva e eletrodutos	39
Figura 15: armadura negativa da laje	40
Figura 16: execução do nivelamento das fôrmas	41
Figura 17: sarrafeamento do concreto através das mestras	42
Figura 18: execução do barroteamento	46
Figura 19: detalhe do assoalho	46
Figura 20: uso do tapete para marcação de passagens hidráulicas.....	47
Figura 21: detalhe das passagens hidráulicas	48
Figura 22: marcação de pontos elétricos.....	49
Figura 23: colocação de treliças metálicas	50
Figura 24: nivelamento da fôrma	51
Figura 25: detalhe da armadura negativa	52
Figura 26: detalhe das passagens para tubulação de gás	52
Figura 27: marcação do nível do concreto	53
Figura 28: execução dos pontos de conferência	54
Figura 29: alisamento do concreto com <i>bullfloat</i>	55
Figura 30: aplicação de desempenadeira motorizada com disco	56
Figura 31: aplicação de desempenadeira de cabo curto nos cantos dos pilares	57
Figura 32: aplicação de desempenadeira motorizada tipo helicóptero	57
Figura 33: detalhe das tiras de reescoramento	58

Figura 34: retirada das passagens da tubulação de gás	58
Figura 35: processo de cura do concreto	59
Figura 36: armadura negativa exposta na laje	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: tolerâncias quanto ao nivelamento de lajes zero	35
Quadro 2: comparação de custos	69
Quadro 3: simulação 1 de comparação de custos	70
Quadro 4: simulação 2 de comparação de custos	71

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 MÉTODO DE PESQUISA	14
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	14
2.2 OBJETIVOS	14
2.3 PRESSUPOSTO	14
2.4 DELIMITAÇÕES	15
2.5 LIMITAÇÕES	15
2.6 DELINEAMENTO	15
3 LAJES EM CONCRETO ARMADO	18
3.1 SISTEMA CONSTRUTIVO TRADICIONAL	18
3.1.1 Produção de lajes em concreto armado	18
3.1.2 Execução de contrapiso	23
3.2 SISTEMA CONSTRUTIVO LAJE ZERO	28
4 ACOMPANHAMENTO DA OBRA COM SISTEMA TRADICIONAL	36
4.1 APRESENTAÇÃO DA OBRA	36
4.2 DOCUMENTOS	36
4.3 EXECUÇÃO	36
4.3.1 Fôrmas da laje	37
4.3.2 Pontos elétricos	38
4.3.3 Passagens hidráulicas	38
4.3.4 Armaduras positivas	39
4.3.5 Instalações elétricas embutidas	39
4.3.6 Armaduras negativas	40
4.3.7 Nivelamento da fôrma	40
4.3.8 Preparação para concretagem	41
4.3.9 Concretagem da laje	41
4.3.10 Reescoramento	42
4.3.11 Cura do concreto	43
4.3.12 Contrapiso	43
5 ACOMPANHAMENTO DE OBRA COM SISTEMA LAJE ZERO	44
5.1 APRESENTAÇÃO DA OBRA	44
5.2 DOCUMENTOS	44
5.3 EXECUÇÃO	45

5.3.1 Fôrmas da laje	45
5.3.2 Passagens hidráulicas	47
5.3.3 Pontos elétricos	48
5.3.4 Armaduras positivas	49
5.3.5 Instalações elétricas embutidas	50
5.3.6 Nivelamento da fôrma	50
5.3.7 Armaduras negativas	51
5.3.8 Passagens para tubulação de gás	52
5.3.9 Preparação para concretagem da laje	53
5.3.10 Concretagem da laje	53
5.3.11 Acabamento da superfície	56
5.3.12 Reescoramento e retirada das passagens do gás	57
5.3.13 Cura do concreto	59
5.3.14 Controle da peça pronta	59
6 COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS	60
6.1 ALTERAÇÕES NA EXECUÇÃO	60
6.1.1 Fôrmas	60
6.1.2 Armaduras	61
6.1.3 Passagens e instalações embutidas	61
6.1.4 Concretagem	62
6.1.5 Acabamento superficial	63
6.2 ALTERAÇÕES NO PLANEJAMENTO E PRAZO	63
6.2.1 Fôrmas	63
6.2.2 Instalações e passagens hidráulicas	64
6.2.3 Acabamento superficial	64
6.2.4 Contrapiso	65
6.3 ALTERAÇÕES NO CUSTO	65
6.4 ALTERAÇÕES NO DESEMPENHO ACÚSTICO	72
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o setor da construção civil, assim como os demais setores de produção, vive um processo de modernização e implantação de novas tecnologias. Com isso, cria-se a necessidade de adaptação e sistematização em prol de uma maior racionalização dos processos envolvidos nas obras, obtendo maior agilidade e redução de desperdícios. Uma dessas novas tecnologias é a execução de lajes em concreto armado acabadas, conhecidas popularmente como **laje zero**. Este sistema construtivo exige um nivelamento perfeito da superfície de concreto, permitindo que seja assentado um revestimento final diretamente sobre ela, dispensando o uso do contrapiso, a camada regularizadora utilizada no sistema construtivo tradicional.

A justificativa da escolha deste tema de trabalho se deve a existência de dúvidas por parte de empresas construtoras na hora de se optar por um dos métodos e por se tratar de um tema recente e de grande relevância no setor da construção civil. Desta forma, o trabalho utiliza como modelo de estudo os pavimentos tipo de dois empreendimentos em fase de construção na cidade de Porto Alegre. O primeiro, identificado neste trabalho como obra A, segue o método tradicional de execução de lajes, enquanto o segundo, obra B, utiliza o sistema laje zero.

As observações e dados coletados nestes empreendimentos servem de base para obtenção de índices práticos que, somados ao conteúdo obtido em pesquisa bibliográfica, permitem uma comparação entre os dois sistemas construtivos abordados, destacando as principais alterações que o sistema laje zero apresenta em relação ao sistema tradicional, como procedimentos executivos, alterações de prazo, custos e desempenho acústico.

A formatação do trabalho se desenvolve em sete capítulos. O primeiro apresenta a introdução, com uma breve contextualização do assunto e justificativas de escolha do tema. O segundo capítulo explica o método de pesquisa, destacando os objetivos, pressupostos, limitações, delimitações e delineamento do trabalho. No terceiro capítulo, é feita uma revisão bibliográfica do tema, destacando como os dois métodos construtivos se encontram na teoria. O capítulo quatro descreve a execução de lajes em concreto armado de forma tradicional,

através de observações feitas no empreendimento A. Por outro lado, o quinto capítulo descreve como se dá a execução de lajes utilizando o sistema laje zero, de acordo com o acompanhamento do empreendimento B. Com base nas descrições, o capítulo seis apresenta a comparação dos dois métodos, destacando as principais diferenças encontradas e como estas alteram o andamento da obra em termos de execução, prazo, custo e desempenho. O sétimo capítulo, por fim, apresenta considerações finais que se podem tirar sobre a execução de cada um dos métodos, buscando identificar qual o melhor sistema construtivo para cada situação. As maquetes eletrônicas dos empreendimentos podem ser visualizadas nas figuras 1 e 2.



Figura 1: maquete eletrônica do empreendimento A



Figura 2: maquete eletrônica do empreendimento B

2 MÉTODO DE PESQUISA

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: quais as vantagens e desvantagens da utilização do sistema construtivo laje zero em relação ao sistema tradicional com uso de contrapiso?

2.2 OBJETIVOS

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

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é a comparação, qualitativa e quantitativa, do método construtivo de lajes acabadas – laje zero – e o método tradicional, que utiliza contrapiso, destacando vantagens e desvantagens da utilização do novo sistema.

2.2.2 Objetivo secundário

O objetivo secundário deste trabalho é uma descrição detalhada dos sistemas construtivos:

- a) tradicional;
- b) laje zero.

2.3 PRESSUPOSTOS

É pressuposto básico do trabalho que sistema construtivo tradicional é o que executa lajes convencionais em concreto armado maciças moldadas no local, prevendo, após a cura do concreto, a execução de uma camada de regularização também executada no local composta por uma argamassa de cimento e areia, denominada contrapiso, sendo os níveis finais da laje

determinados por esta camada. É também pressuposto do trabalho que as duas empresas analisadas seguem procedimentos próprios, mas condizentes com o modo de execução de lajes em concreto armado em geral no setor.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a comparação entre o sistema laje zero e lajes moldadas de forma tradicional, que recebem contrapiso para execução de acabamentos de piso.

2.5 LIMITAÇÕES

O trabalho limita-se a comparar apenas duas obras na cidade de Porto Alegre, sendo obras de diferentes proporções e executadas por mão de obra distinta, utilizando índices pré-estabelecidos para base de comparações.

2.6 DELINEAMENTO

O trabalho foi desenvolvido através das seguintes etapas:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) definição dos critérios de comparação;
- c) acompanhamento das obras;
- d) coleta de dados e informações;
- e) descrição dos sistemas construtivos laje zero e tradicional;
- f) comparação dos resultados;
- f) análise final e conclusões.

A pesquisa foi realizada segundo a sequência de etapas apresentada na figura 3 e cada etapa foi detalhada nos itens abaixo.

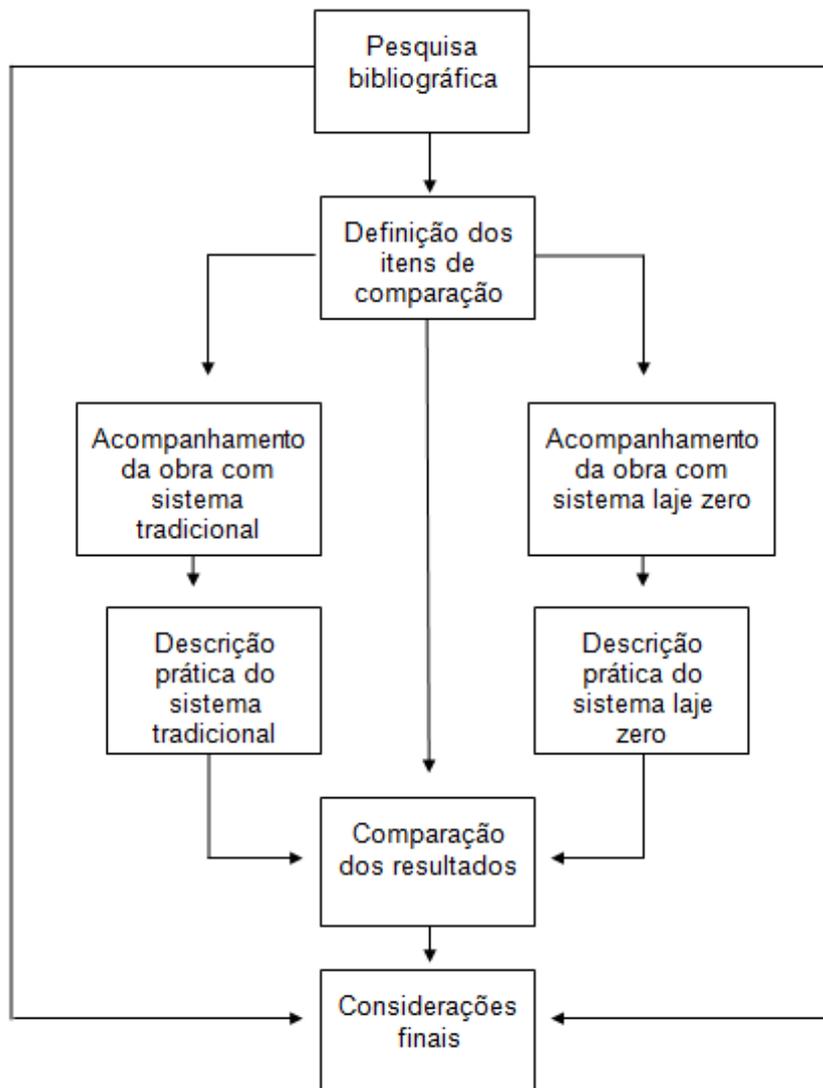


Figura 3: esquema do delineamento da pesquisa

Primeiramente, iniciou-se uma pesquisa bibliográfica, que se estendeu até a parte final do trabalho, através de consulta de livros, artigos e outros materiais que, de alguma forma, se refiram ao tema e forneçam conhecimento e detalhes importantes para a formação do conteúdo do trabalho.

A seguir, foram determinados critérios e índices que serviram de base para comparação, iniciando a parte prática do trabalho, que se deu através do acompanhamento das obras de construção de dois empreendimentos, o primeiro utilizando o sistema tradicional e o segundo o laje zero. Nas obras foram observadas não só as concretagens dos pavimentos tipo dos edifícios, mas também a preparação para esta, o método de projeto adotado e o aspecto final,

considerando o processo completo de cura. Durante esta etapa foram coletados todos os dados e resultados obtidos para fazer-se uma comparação dos dois sistemas.

O passo seguinte foi a elaboração de uma descrição detalhada dos sistemas laje zero e o tradicional com contrapiso, permitindo que se tenha conhecimento do que são os dois métodos construtivos individualmente, antes de serem comparados. É importante ressaltar a importância da etapa de observação das obras, pois esta forneceu dados e informações verificadas na prática, permitindo verificação ou contestação das informações colhidas na teoria.

Com isto, de posse de informações bibliográficas, dados coletados durante todo o acompanhamento das obras e descrição detalhada da execução de cada um dos métodos, tornou-se possível confrontar os resultados dos dois sistemas construtivos, comparando-os de forma qualitativa e quantitativa.

Finalmente, foi realizada uma análise dos resultados dessa comparação, onde foram feitas considerações finais a respeito dos sistemas construtivos.

3 LAJES EM CONCRETO ARMADO

Este capítulo está dividido em dois itens: o primeiro aborda o sistema construtivo tradicional e, o segundo, o sistema laje zero. O objetivo do capítulo é a apresentação de conceitos claros que forneçam uma base de conhecimento e informações ao trabalho, auxiliando o processo de comparação dos dois sistemas.

3.1 SISTEMA CONSTRUTIVO TRADICIONAL

Este item trata da execução tradicional de lajes em concreto armado e está dividido em duas partes. Na primeira, é realizada uma breve retomada dos processos executivos que envolvem a produção de lajes em concreto armado segundo o sistema construtivo tradicional. A segunda parte aborda a execução de contrapisos nestas lajes.

3.1.1 Produção de lajes em concreto armado

Neste contexto, o trabalho está focado nas lajes executadas de forma convencional, concretadas no local da obra. Para melhor entendimento do assunto, faz-se necessária uma definição do que são lajes e sua importância na estrutura de um edifício, seguido de uma descrição dos componentes que envolvem o processo de produção destas lajes. Gobetti (1984) define as lajes como elementos estruturais de formato retangular em sua maioria, tendo a função de absorver preponderantemente as cargas normais ao seu plano médio, servindo também de piso para estruturas onde predominam duas dimensões, comprimento e largura, sobre a terceira, que é a espessura.

Embora hoje em dia existam diversos tipos de lajes, como as lajes pré-moldadas, nervuradas, protendidas, mistas e outras, este trabalho estuda apenas as lajes maciças em concreto armado, descritas por Montalverne (1998, p. 23): “A laje maciça é o sistema construtivo mais difundido atualmente na construção civil (casas, edifícios, garagens, etc.). A laje consiste de fôrmas e escoras que sustentam a estrutura durante o processo de cura do concreto.”. A execução de lajes em concreto armado, porém, envolve outras etapas além da execução de

fôrmas e escoramento, como a colocação de armadura, instalações embutidas (elétricas, hidráulicas, etc.), transporte do concreto e concretagem. Souza e Melhado (2002) ilustram o processo básico de produção de uma laje maciça em concreto armado com um diagrama, mostrado na figura 4.

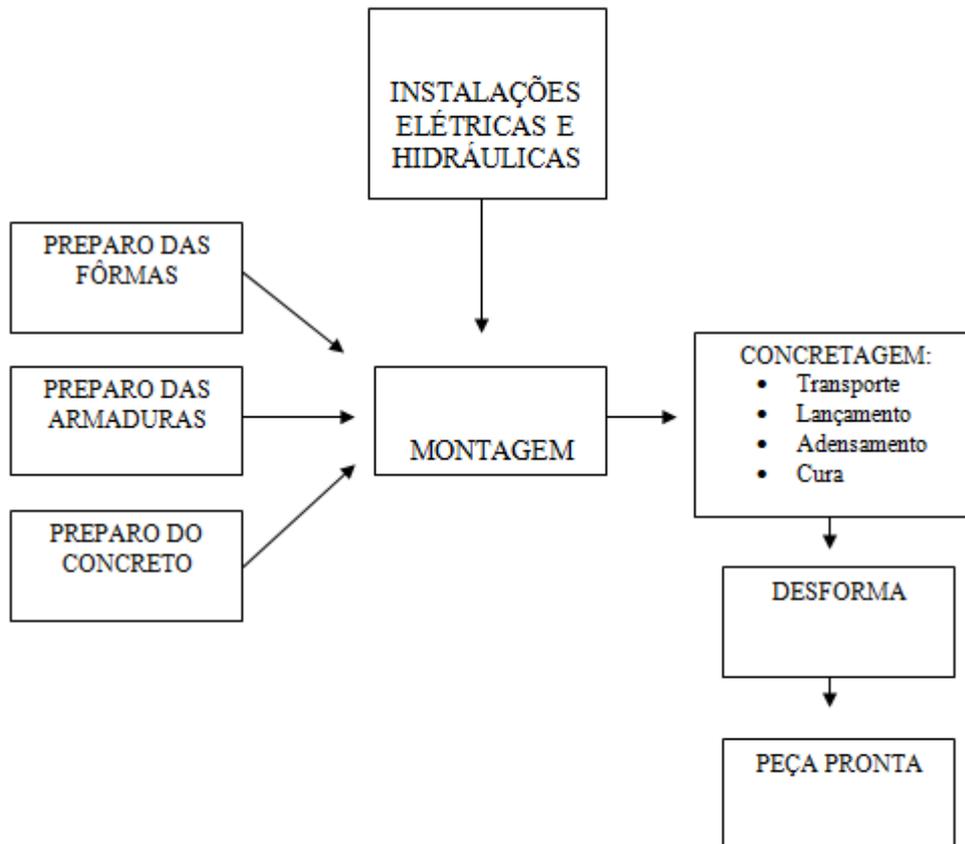


Figura 4: representação esquemática da produção de lajes em concreto armado (SOUZA; MELHADO, 2002, p. 25)

Cada um desses itens será analisado quanto a seus elementos mais importantes no que diz respeito à produção de lajes em concreto armado. Com relação às fôrmas, estas possuem três funções principais, segundo a NBR 15696 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009):

- a) definir a forma do concreto;
- b) suportar o concreto fresco até que ele adquira capacidade de auto-suporte;
- c) proporcionar à superfície em contato a rugosidade superficial requerida.

Em relação ao material empregado para produção das fôrmas na obra, a madeira sempre foi e ainda é a mais utilizada no sistema construtivo tradicional, embora existam outras técnicas obtendo cada vez mais espaço no mercado. Segundo Moliterno (1989), as madeiras mais empregadas na confecção de fôrmas para concreto armado são: *pinus elliotii*; eucalipto e as chapas de compensado. Quanto às lajes, especificamente, as fôrmas de madeira são utilizadas para confecção de travessões, painéis e acessórios de travamento.

Ainda em relação ao sistema de fôrmas de lajes, uma etapa de fundamental importância é o escoramento. Quanto à função, o escoramento é responsável pela transmissão dos esforços do sistema de fôrmas para os outros pavimentos. O correto dimensionamento dos escoramentos é imprescindível para que o sistema de fôrmas atinja seu objetivo. As escoras podem ser de madeira ou metálicas, porém, nos dias de hoje as últimas vêm ocupando maior espaço (trabalho não publicado)¹. Durante a execução de fôrmas, deve-se ter o cuidado em deixar esperas para eventuais passagens de tubulações de instalações, sejam elétricas, hidráulicas, de gás, etc. Outra etapa importante é a aplicação de desmoldantes, que ocorre após a montagem das fôrmas. Segundo Petrucci (1993), os desmoldantes são produtos aplicados nas fôrmas visando uma maior facilidade em retirá-las após a concretagem, além de atribuir ao concreto uma superfície menos rugosa.

Após todo o processo de execução de fôrmas, atentando para os cuidados citados anteriormente, a laje é liberada para a colocação dos gabaritos de passagens, instalações embutidas e armaduras. Os gabaritos de passagens, segundo Souza e Melhado (2002), são esperas colocadas na laje de modo a garantir que seja respeitada a locação de componentes de instalação de água, esgoto, elétrica ou prumadas de diversos tipos de instalações que atravessam a estrutura. O material comumente utilizado para confecção destes gabaritos no sistema tradicional é a madeira, sendo fixadas diretamente sobre o assoalho.

Já as instalações embutidas são os pontos de iluminação no teto e eletrodutos, sendo os primeiros colocados diretamente sobre o assoalho e os segundos já sobre a armadura positiva. Conforme Yazigi (2008), os pontos de iluminação no teto são garantidos por caixas de ferro definitivas e os eletrodutos podem ser flexíveis ou rígidos, sendo os mais indicados para uso em laje os eletrodutos flexíveis de polietileno, por suportarem bem a pressão do lançamento do concreto.

¹ Apostila de aula do Professor Dr. Ruy Alberto Cremonini, disciplina Edificações I, maio 2009, curso de graduação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS.

A armadura das lajes, segundo Fiorin (1998), se dá através da colocação de armaduras posicionadas junto à face inferior, denominadas positivas, e outras posicionadas junto à face superior, denominadas negativas. Estas armaduras têm a função de absorver os esforços de tração e compressão aos que a laje será submetida. Quando necessário, pode haver ainda uma terceira armadura, transversal, para absorver os esforços cortantes. A autora ainda destaca que a preocupação em relação à execução das armaduras não se atém somente à sua influência no comportamento do elemento estrutural, mas também na facilidade e na viabilidade de sua execução na obra, pois de nada adianta uma estrutura bem dimensionada se a mão de obra encontra dificuldades na hora da execução. Ainda com relação à armadura da laje, um dos fatores mais importantes é o posicionamento da armadura negativa, afastamento e cobrimento necessário do concreto. Quanto à armadura negativa, ela pode ir para a posição da positiva, se não houver um cuidado na circulação de pessoas e máquinas sobre a laje.

Pode-se realizar a seguinte conceituação (trabalho não publicado)²:

AFASTAMENTO: Para que seja garantido que o concreto envolva toda a barra e minimizar o risco da ocorrência de falhas de concretagem (ninhos) recomenda-se que o espaço livre entre barras isoladas da armadura na direção vertical e horizontal seja pelo menos dois centímetros e não menos que o diâmetro da barra. [...]

COBRIMENTO DAS ARMADURAS: a proteção às armaduras é garantida pelo pH do concreto (proteção química) e pela espessura da camada de cobrimento (proteção física). A camada de cobrimento deve proteger todas as barras, devendo ser medida a partir das barras mais próximas à superfície, considerando-se inclusive estribos e armaduras secundárias. [...]

O cobrimento das armaduras é garantido pelo uso de espaçadores que, segundo Souza e Mekbekian (1996), são peças utilizadas a uma razão média de cinco unidades por metro quadrado, de modo a garantir o espaçamento mínimo. O autor destaca que na armadura positiva são utilizadas peças plásticas entre as barras e o assoalho, já na armadura negativa são colocadas peças que no método tradicional costumam ser pré-moldadas de concreto, as **rapaduras**, ou elementos de aço pré-fabricado, denominadas **carangueijos**.

Após os procedimentos de montagem de fôrmas e de armaduras terem sido devidamente concluídos e conferidos por profissional habilitado, as passagens e instalações embutidas já terem sido colocadas e uma lavagem realizada, a laje está liberada para o processo de

² Apostila de aula do Professor Dr. Ruy Alberto Cremonini, disciplina Edificações I, maio 2009, curso de graduação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS.

concretagem. Esta consiste nas etapas de mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura.

Para que o processo de produção da laje de concreto armado seja satisfatório, além dos processos de montagem já citados, torna-se indispensável uma preocupação com a qualidade do concreto. Segundo Souza e Mekbekian (1996), a obra pode recusar o lote, caso verifique que este não atende às especificações desejadas, como trabalhabilidade ou tamanho do agregado.

A trabalhabilidade, segundo Neville (1997), pode ser definida como uma propriedade que expressa o esforço para manipular um concreto fresco com a mínima perda de homogeneidade, ou seja, é a propriedade em que o concreto pode ser misturado, transportado, lançado e adensado permanecendo homogêneo, deixando menor quantidade de vazios no concreto endurecido. Para que o concreto apresente uma adequada trabalhabilidade, o concreto deve possuir uma maior quantidade de água, denominada **água livre**. A trabalhabilidade é composta por fluidez e coesão, onde a primeira é definida como a habilidade do concreto em mover-se entre obstáculos e a segunda representa a resistência do concreto em segregar-se ou sofrer exsudação.

Quanto à consistência, definida por Neville (1997) como a resistência que opõem a massa de concreto fresco à sua deformação, a NBR NM67 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998) define que o método de abatimento de cone, mais conhecido como *slump test*, é o principal método a ser utilizado para determinar a consistência do concreto fresco através da medida de seu assentamento, feita em laboratório e em obra. Os padrões do teste estão contidos na Norma.

Ainda em relação ao concreto fresco, existe a possibilidade de utilização de aditivos durante a mistura do concreto, visando transformações como aumento da trabalhabilidade sem aumento no consumo de água, redução no consumo cimento, modificação no tempo de pega, redução da permeabilidade, aumento da durabilidade e outros (NEVILLE, 1997).

O processo de nivelamento, que tem início após o lançamento, é realizado através de mestras com a finalidade de obter a espessura desejada para a laje de concreto. A regularização da superfície do concreto pode ser realizada com o auxílio de taliscas de madeira e régua metálicas. No sistema construtivo tradicional, não há uma grande preocupação com os níveis

da laje, pois esses são posteriormente corrigidos com a camada de contrapiso (SOUZA; MELHADO, 2002).

Com relação à cura, Petrucci (1993), afirma que pode ser realizada por vários processos, dos quais destacam-se:

- a) irrigação periódica das superfícies;
- b) recobrimento com areia ou sacos de aniagem, mantidos sempre umidos;
- c) emprego de compostos impermeabilizantes de cura;
- d) outros, incluindo recobrimento com papel impermeável (que evita a evaporação) ou cloreto de cálcio (que absorve água do ar e a retém).

A última etapa consiste na desforma e o reescoramento, dando fim ao processo de produção da laje em concreto armado. A NBR 14931 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 23) afirma: “Fôrmas e escoramentos devem ser removidos de acordo com o plano de desforma previamente estabelecido e de maneira a não comprometer a segurança e o desempenho em serviço da estrutura.”. Principalmente em relação às escoras, a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003) destaca que a retirada do escoramento de tetos deve ser feita de maneira conveniente e progressiva, atentando para cuidados especiais com peças em balanço. Além disso, a NBR 14931 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 7) alerta:

Os planos de desforma e escoramentos remanescentes devem levar em conta os materiais utilizados associados ao ritmo de construção, tendo em vista o carregamento decorrente e a capacidade suporte das lajes anteriores, quando for o caso.

A colocação de novas escoras em posições pré-estabelecidas e a retirada dos elementos de um primeiro plano de escoramento podem reduzir os efeitos do carregamento inicial, do carregamento subsequente e evitar deformações excessivas.

Encerrados todos os processos de produção, a laje em concreto armada está apta a receber a camada regularizadora denominada contrapiso, detalhada no próximo item.

3.1.2 Execução de contrapisos

A camada de contrapiso é um elemento presente em lajes em concreto armado executadas pelo sistema construtivo tradicional. Barros e Sabbatini (1991, p. 3) definem: “Segundo a

BS8204³, o contrapiso consiste de camada(s) de argamassa ou enchimento aplicado(s) sobre laje, terreno ou sobre uma camada intermediária de isolamento ou de impermeabilização.”. Conforme Cichinelli (2005, p. 2), esta camada pode variar de 2 a 6 cm, dependendo da função desempenhada. Em contrapisos internos de lajes de edificações de múltiplos pavimentos o consumo de cimento varia entre 200 a 250 kg/m³, e os traços de cimento e areia úmida normalmente ficam entre 1:5 e 1:7, respectivamente, em unidade de volume.

Barros e Sabbatini (1991) explicam que além de servir para regularizar a base para o revestimento de piso, a camada de contrapiso tem também as finalidades de criar desníveis entre os ambientes, proporcionar caimentos para escoamentos de água, embutir tubulações, incorporar sistemas de impermeabilização, servir de barreira estanque ou isolante térmico e acústico. Segundo Barros (1995), o desempenho do contrapiso está relacionado a algumas características e propriedades que devem ser observadas em sua execução, cujas principais são:

- a) aspereza – determinada em função da granulometria da areia utilizada;
- b) ondulações – o resultado esperado é obtido face ao método de desempenho executado;
- c) resistência mecânica – é decorrente dos materiais utilizados e suas dosagens, quantidade de água da mistura e etapas de execução;
- d) capacidade de absorver as deformações normais da estrutura.

O uso do contrapiso divide opiniões de autores quanto à sua necessidade, principalmente em relação a custos, consumo de materiais e isolamento acústico. Rangel e Jorge (2009) consideram a utilização de contrapisos uma tarefa de custo elevado, levando em conta fatores como quantidade de materiais utilizados, tempo na preparação da argamassa, manualmente ou em betoneiras, e elevado número de etapas de transporte de materiais. Além disso, há um acréscimo na carga da edificação, sendo necessário aumento de seções de peças estruturais e quantidade de armaduras para sustentar a camada de regularização. Por outro lado, Branco et al. (2008) defendem o uso do contrapiso, lembrando que, geralmente, o desempenho acústico de lajes melhora com a existência dessa camada, destacando que o índice de percussão de uma laje varia de forma inversa com a sua espessura. Também em relação ao desempenho acústico, Nunes e Duarte (2004, p. 1) comentam sobre as novas tecnologias que tentam evitar

³ BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 8204** : Part 1 In situ floorings – Code of Practice for concrete bases and screeds to receive in situ floorings. London.

a camada de contrapiso: “[...] as lajes ficaram cada vez mais finas de modo que os níveis de ruídos transmitidos devido a impactos sobre os pisos aumentaram consideravelmente.”.

A NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010) define critérios tanto para ruído de impacto em pisos como para ruído aéreo entre unidades de edificações habitacionais de até cinco pavimentos. A unidade de medida no caso de ruídos de impacto é o nível de pressão sonora (L'_{nw}). Para a análise, podem ser utilizados tanto o método de engenharia como o método simplificado, ambos descritos na Norma. Para isolamento de ruído aéreo, a Norma define como unidade de medida a redução sonora entre pavimentos, prevendo ensaios em laboratório e em campo. São estabelecidos limites na Norma, sendo a classificação feita através dos índices: Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S). Todos os sistemas devem ter um desempenho que atinja pelo menos o nível M.

Barros e Sabbatini (1991) afirmam que anteriormente ao contrapiso pode-se realizar aplicação de materiais resilientes, visando à melhoria do desempenho acústico do sistema piso, aplicados diretamente sobre a laje estrutural. Alguns exemplos são espuma de polietileno, lã de vidro, borracha com baixa densidade, poliéster e poliestireno expandido elastizado (isopor).

Barros e Sabbatini (1991) ainda destacam que o contrapiso tem função importante de auxiliar na absorção da deformação lenta do concreto, concluindo que a ausência desta camada tende a causar descolamento de pisos, principalmente se tratando de placas cerâmicas ou pétreas.

Segundo Barros (1995), antes do início da execução de contrapisos, é necessário ter em mãos todos os equipamentos e ferramentas necessários para este fim, pois sem isso o desempenho pode ser prejudicado. Os principais equipamentos e ferramentas, em função de sua utilização, são listados:

- a) para limpeza e preparo da base: talhadeira ou ponteira; picão; marreta; vassoura de cerdas duras (vassourão); mangueiras ou baldes, para transporte de água;
- b) para execução do contrapiso: nível de mangueira ou aparelho de nível; colher de pedreiro 9”; peneira com cabo e 15 cm de diâmetro; balde plástico de 20 litros; vassoura de cerdas duras (vassourão); pá ou enxada; metro articulado; soquete com base de 30x30 cm e aproximadamente 7 kg de peso, com pontalete de 1,5 m de altura; réguas metálicas de 2,5 e 3,5 metros e desempenadeiras de madeira ou aço lisas.

Além de ter em mãos os equipamentos e acessórios necessários para a execução do contrapiso, é muito importante que se atente para uma precisa avaliação das condições da base, a fim de evitar erros de nivelamento, desperdícios de material e retrabalhos. Para Barros e Sabbatini (1991), a avaliação das condições da base é elemento fundamental para a formulação de um projeto de contrapiso, afirmando que, na maioria dos casos, este projeto não é aproveitado ou é inexistente. A avaliação consiste na verificação dos níveis do contrapiso, utilizando, para isto, o nível de referência da laje. Os autores aconselham que os níveis sejam verificados pelo menos em quatro pontos e, se possível, que estes pontos coincidam com o local onde serão executadas as taliscas, a fim de facilitar a posterior execução destas.

Segundo Cichinelli (2005), os passos para uma correta execução de contrapiso são:

- a) limpeza da base e retirada de restos de argamassa, entulho ou qualquer material aderido ao substrato com uso de picão e marreta;
- b) transferência de nível com o auxílio de um nível de mangueira (ou nível laser) a partir do nível de referência;
- c) marcação da altura do contrapiso com o auxílio de uma trena;
- d) lançamento de uma mistura de água e aditivo onde serão executadas as taliscas;
- e) polvilhamento de cimento sobre a mistura;
- f) escovação da mistura com uso de um vassourão;
- g) colocação da argamassa sobre a superfície;
- h) nivelamento da superfície e colocação de talisca (pedaço de madeira ou cerâmica), ilustrado na figura 5;
- i) conferência dos níveis de acordo com os caimentos necessários e execução das taliscas dos outros locais;
- j) conferência da altura das taliscas com o uso de linha;
- k) execução das mestras, faixas de argamassa entre as taliscas, determinando o nivelamento do contrapiso;
- l) aplicação de água sobre toda a base;
- m) polvilhamento de cimento sobre toda a base;
- n) escovação de toda a área com uso de um vassourão;
- o) lançamento da argamassa do contrapiso;
- p) preenchimento de toda a área com auxílio de uma enxada com movimentos contínuos, para que não seque rápido demais. Ilustrado na figura 6;
- q) compactação da argamassa com uso de um soquete de madeira, até que atinja-se o nível estipulado pela linha entre as taliscas;

- r) sarrafeamento da argamassa com uso de régua metálica apoiada sobre as taliscas;
- s) preenchimento de zonas com falhas e sarrafeamento destas;
- t) desempeno da argamassa com uso de uma desempenadeira de madeira ou alumínio, alisando-a para se obter o acabamento final. Ilustrado na figura 7.



Figura 5: nivelamento e execução das taliscas (BARROS 1995, p. 23)

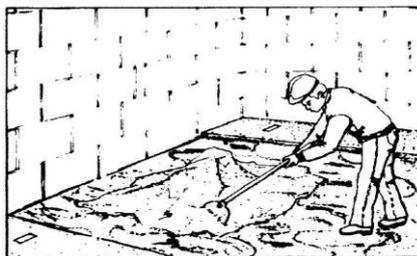


Figura 6: preenchimento com auxílio de enxada (BARROS, 1995, p. 23)

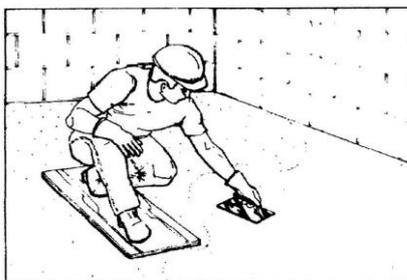


Figura 7: alisamento da superfície com uma desempenadeira metálica (BARROS, 1995, p. 23)

O processo pode ter algumas variações dependendo do procedimento existente em cada empresa construtora, porém, a estrutura básica se mantém a mesma. Segundo Barros (1995), alguns cuidados e observações importantes devem ser levados em conta durante e após a execução.

Durante a execução (BARROS, 1995):

- a) base deve estar completamente livre de sujeiras e detritos que possam prejudicar a aderência da argamassa;
- b) é aconselhada uma distância máxima entre as taliscas de 3 metros;
- c) a argamassa de assentamento das taliscas deve ter propriedades e características idênticas à que será assentada no contrapiso;
- d) aconselha-se assentamento das taliscas com no mínimo dois dias de antecedência da execução do contrapiso;
- e) deve-se evitar o trânsito de pessoas e acúmulo de sujeiras após a execução das taliscas, mesmo assim, a superfície deve ser lavada novamente;
- f) o excesso de água deve ser removido imediatamente antes do lançamento da camada de aderência;
- g) a quantidade de cimento durante o polvilhamento é de aproximadamente $0,5\text{kg/m}^2$;
- h) o processo de compactação deve ser feito de forma bastante enérgica, porém respeitando a espessura da camada.

Após a execução (BARROS, 1995):

- a) cura pode ser feita sob condições de meio ambiente;
- b) deve ser evitado o trânsito de pessoas e equipamentos durante o período mínimo de três dias, a fim de preservar a regularidade superficial;
- c) deve ser respeitado um período mínimo de 28 dias de secagem do contrapiso para assentamento do revestimento de piso final.

Após o processo de cura, respeitadas as condições de secagem necessárias, a camada de contrapiso está apta a receber o revestimento de piso final, qualquer que seja o escolhido.

3.2 SISTEMA LAJE ZERO

O item trata do sistema construtivo laje zero, um dos métodos de racionalização dos processos existentes na construção civil, procurando obter fatores como economia, padronização dos serviços e reduções de desperdícios. Para isto, foi feito um levantamento de alterações que o sistema laje zero apresenta em relação ao processo tradicional de produção de lajes em concreto armado.

Segundo Souza e Melhado (2002), há duas fases de racionalização em relação à execução de lajes em concreto armado, as lajes niveladas e as acabadas, também conhecidas como laje

zero. Estas lajes, ilustradas na figura 8, diferem principalmente em relação ao acabamento superficial e são classificadas a seguir:

- a) lajes niveladas: são consideradas um avanço na racionalização da produção, pois há um controle do seu nivelamento, através de um projeto especificando uma tolerância para a espessura, permitindo o recebimento de uma camada mínima de contrapiso, não dispensando, contudo, essa última.
- b) lajes acabadas ou laje zero: são consideradas o último estágio de racionalização, exigindo um controle de nivelamento mais rígido, pois neste caso a laje estrutural assume as principais funções da camada de contrapiso, como isolamentos e criação de níveis. Por esta causa, é indispensável também o controle em relação à planeza e eventuais diferenciações de rugosidade, pois a laje deverá estar pronta para receber um revestimento de piso final.

A utilização do sistema de lajes acabadas, porém, não implica somente a alteração do acabamento de sua camada de superfície, e sim, cuidados extras ao sistema construtivo tradicional de execução de lajes. Isto significa que devem ocorrer transformações durante o processo de produção de lajes em concreto armado, quando se escolhe por um processo de racionalização.

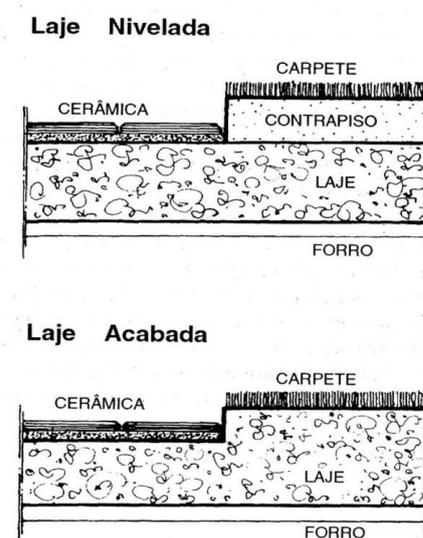


Figura 8: ilustração modelo de lajes niveladas e acabadas (SOUZA; MELHADO, 2002, p. 19)

Com relação ao sistema de fôrmas, por exemplo, deve haver diversos cuidados que são dispensados no sistema tradicional. Segundo Souza e Melhado (2002), as fôrmas devem receber especial atenção durante a execução das lajes acabadas. É necessário, portanto, que

haja um controle para garantir que as peças de fôrma, normalmente frágeis em sua natureza, não saiam do lugar, o que pode ser auxiliado com uso de referências de nível com ajuste na altura.

Um projeto para a produção é imprescindível, especialmente para o escoramento, que é normalmente definido na própria obra, podendo ser subdimensionado ou superdimensionado, causando deformações ou gastos excessivos. A implantação de técnicas mais avançadas também é válida, como utilização de chapas de compensado plastificadas, escoras metálicas com controle de altura (figura 9) e controle do nivelamento através de aparelhos eletrônicos de alta precisão, pois auxiliam na não deformação do sistema de fôrmas do edifício, elemento fundamental para a execução das lajes zero (SOUZA; MELHADO, 2002).

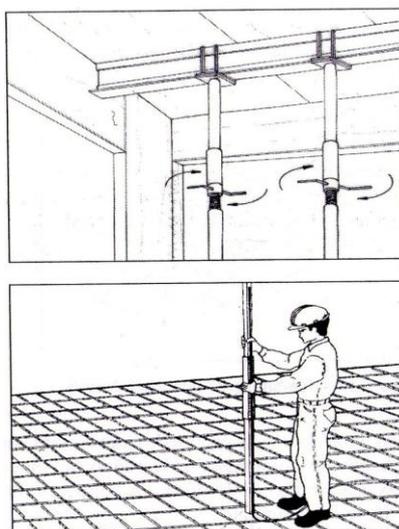


Figura 9: escoramentos metálicos com ajuste de altura (SOUZA; MELHADO, 2002, p. 65)

Com relação às armaduras, Souza e Melhado (2002) advertem que também deve haver uma preocupação extra, pois no sistema laje zero não há a camada de contrapiso, que, além de determinar os níveis da obra, corrige eventuais problemas de cobertura da armadura negativa, assim como dos eletrodutos existentes na laje, necessitando, então, de um projeto de compatibilização entre os projetos estruturais, instalações e arquitetônico, evitando problemas futuros, ou até mesmo a não desejada camada de regularização de contrapiso.

Segundo Rangel e Jorge (2009), os elementos da armadura devem ser colocados de modo a manterem-se em seu perfeito posicionamento, sem conflitos com os eletrodutos e caixas de instalações elétricas. Devem ser colocados afastados da superfície das formas por espaçadores

de modo a evitar a exposição após a concretagem. Para tal, reforça-se a teoria de que é imprescindível que o projeto defina os parâmetros de sua colocação.

No sistema laje zero, outro fator de suma importância é a preocupação com passagens e embutidos na laje, sejam elétricas, hidráulicas ou instalações em geral. Souza e Melhado (2002, p. 32) destacam:

A necessidade de se criar passagens através de caixas deixadas durante a execução da laje constitui um problema de difícil solução para a racionalização do processo de produção, pois, geralmente, esses pontos são responsáveis por uma grande parcela de problemas patológicos, tais como vazamentos. Além disso, os erros de locação das caixas de passagem são responsáveis por retrabalhos, já que é preciso quebrar a laje para relocá-los.

Para isso, torna-se fundamental a existência de um **projeto de furação**, que segundo Souza e Melhado (2002) trata-se de um projeto específico que, através de cotas acumuladas, as caixas são locadas com clareza e simplicidade, minimizando os retrabalhos gerados por esse processo. Além disso, os materiais utilizados para execução de caixas passagens vêm passando por um processo de evolução. Em substituição gradativa da tradicional madeira, surgem as caixas pré-moldadas de argamassa, blocos de poliestireno expandido (**isopor**), entre outros, visando uma melhora na precisão dos furos deixados e uma facilidade na remoção das caixas.

Quanto ao concreto, deve-se ter muita atenção nos fatores que possam influenciar seu lançamento, adensamento e cura e, principalmente, nas suas características de trabalhabilidade e consistência, que têm grande influência na busca por uma laje zero. Souza e Melhado (2002) consideram que, em lajes acabadas, o valor de consistência resultante do abatimento de tronco de cone não pode ser o único fator que define a adequação do concreto, pois as características de trabalhabilidade devem ser acompanhadas a cada etapa das concretagens, podendo-se utilizar adição de aditivos, dependendo de fatores como condições climáticas ou tipo de transporte do concreto. Souza e Melhado (2002, p.35) ainda alertam que:

A consistência inadequada do concreto pode comprometer o nivelamento da laje, proporcionando grandes deformações superficiais. Isso pode prejudicar o acabamento da superfície, pois um concreto com um teor baixo de finos na sua composição não oferece, após seu adensamento, uma superfície rica em argamassa, o que é desfavorável à execução de acabamento da laje, no caso de se desejar uma superfície lisa.

Quanto à coesão, Souza e Melhado (2002) afirmam que esta pode ser utilizada como medida da facilidade de acabamento, sendo avaliada pela facilidade de desempenar a superfície do concreto. A coesão encontra-se bastante relacionada com o teor de pasta existente no material, sendo que o teor de finos deve ser bastante elevado quanto se procura uma alta qualidade no acabamento superficial do concreto. Porém, o concreto não deve ser excessivamente coesivo, pois pode prejudicar a etapa de lançamento.

Quanto ao uso de aditivos, pode-se utilizar os plastificantes a fim de diminuir a retração do concreto, melhorando sua plasticidade e compactação, reduzindo a quantidade de água. Outra opção visando o acabamento da superfície de concreto é a utilização de aditivos retardadores, para conseguir um intervalo maior antes do início da pega, conseguindo dar acabamento mais facilmente. Porém, deve ter cuidado para não prolongar demais o tempo de concretagem, pois quanto mais tarde começar o acabamento, mais tarde tende a terminar (SOUZA; MELHADO, 2002).

A cura do concreto, que, segundo Rangel e Jorge (2009), é um item de suma importância na obtenção de lajes acabadas, pois além dos problemas clássicos que trazem uma cura mal realizada, o acabamento superficial também pode ser comprometido. Rangel e Jorge (2009, p. 5) definem:

A cura do concreto é o conjunto de procedimentos visando à proteção do concreto contra mudanças bruscas de temperatura, secagem rápida, exposição direta ao sol, chuvas fortes, agentes químicos, vibrações e choques que possam produzir fissuras, ou comprometer a sua aderência à armadura.

Para Souza e Melhado (2002), realizando uma cura satisfatória, além de proteger o concreto de possíveis fissurações plásticas, contribui-se também para uma adequada resistência à abrasão e ao desgaste. Para que a cura seja satisfatória em lajes acabadas, Souza e Mekbekian (1996) destacam alguns cuidados importantes:

- a) iniciar a cura tão logo a superfície permita;
- b) utilizar retentores de água superficial, como sacos de estopa ou algodão, areia ou serragem saturados;
- c) cobrir a superfície com lona onde houver incidência de sol intenso;
- d) manter a aspersão de água por um período mínimo de três dias consecutivos, em intervalos curtos para que a laje permaneça sempre úmida;
- e) evitar o trânsito de pessoas ou impactos fortes no primeiro dia após a concretagem.

Antes de dar início à execução da concretagem em busca de uma laje zero, é necessária a presença de todos os equipamentos e ferramentas para este fim. Souza e Melhado (2002) citam os principais equipamentos e sua respectiva função na busca por uma laje zero:

- a) rolo assentador de agregado: tem a função de facilitar o acabamento final e diminuir o desgaste das desempenadeiras. Destaca-se o de tipo *rollerbug*;
- b) desempenadeira manual: tem a função de adequar a planeza e a rugosidade do concreto, possibilitando o acabamento requerido em projeto. Podem ser de haste longa ou curta, dependendo dos locais de aplicação. Destacam-se a de tipo *hand float* (haste curta) e *blue steel* (haste longa), ilustrada da figura 10;
- c) desempenadeira motorizada: tem a mesma função das desempenadeiras manuais, porém executa o trabalho de cinco a dez vezes mais rápido. Deve ser aplicada somente após o concreto suportar seu peso, sem se deformar. Pode funcionar através de eletricidade ou gasolina. Destaca-se a de tipo *power troweler* ou **helicóptero**;
- d) aparelho de nível laser: permite a conferência do nivelamento da superfície em diversos pontos da laje, apresentando alta precisão;
- e) taliscas, mestras metálicas e gabaritos: têm a função de indicar o nivelamento da superfície de concreto, além da espessura das lajes a serem concretadas, servindo de referência geométrica antes e depois da concretagem.

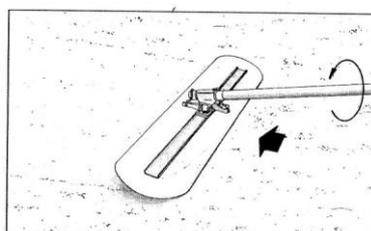


Figura 10: desempenadeira de haste longa do tipo *blue steel*
(SOUZA; MELHADO, 2002, p. 53)

Souza e Melhado (2002) afirmam que os equipamentos devem ser utilizados no momento adequado. Segundo os autores, a utilização precipitada pode trazer problemas na superfície da laje como, por exemplo, o excesso de água de exsudação. Por outro lado, a utilização tardia prejudica o acabamento final da superfície de concreto, além de significar desperdício de material, tempo e mão de obra. Além disso, o sistema laje zero exige uma preparação para a concretagem planejada com antecedência, a fim de evitar o acúmulo de pessoas sobre a laje, evitando problemas, como o deslocamento da armadura negativa e passagens, ou outros fatores que possam prejudicar o seu acabamento final. O uso de mestras úmidas (feitas do

próprio concreto) pode ser vantajoso em comparação com as mestras de madeira, pois dispensa a posterior retirada das peças, o que pode ser prejudicial para o acabamento da superfície.

O processo de nivelamento é realizado durante a concretagem, seguido do acabamento superficial da camada de concreto. Souza e Melhado (2002) destacam os principais passos da execução deste acabamento:

- a) aplicação sobre a superfície do concreto o rolo assentador de agregados;
- b) aplicação das desempenadeiras manuais de cabo longo, realizada sempre transversalmente ao adotado para o sarrafeamento;
- c) aplicação da acabadora de superfície (helicóptero) a partir do momento em que for possível caminhar sobre o concreto e deixar apenas uma leve marca na bota do operário, conforme figura 11;
- d) aplicação de desempenadeiras de aço manuais de cabo curto para retocar a superfície;
- e) um dia após a concretagem, realização do controle de recebimento, para verificação do resultado obtido quanto ao nivelamento e planeza da laje;
- f) desforma, tomando particular cuidado com o reescoramento, para evitar deformações na laje nivelada anteriormente.

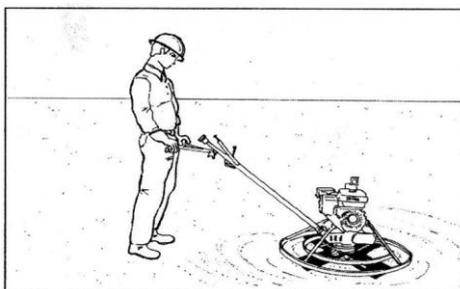


Figura 11: aplicação de desempenadeira motorizada do tipo **helicóptero** (SOUZA; MELHADO, 2002, p. 71)

Após a execução da concretagem e obtenção da laje zero, ou laje acabada, torna-se necessário a verificação dos resultados. O controle quanto ao nivelamento em lajes zero deve ser feito em três etapas distintas: antes, durante e depois da concretagem. Quanto ao controle anterior à concretagem, o nivelamento das fôrmas deve ser conferido em diversos pontos do pavimento tipo, com auxílio de aparelho de precisão. Durante a concretagem, a conferência deve ser feita ainda com o concreto em estado fresco, para que seja possível fazer ajustes. Após o serviço de concretagem, os pontos devem ser transferidos para a laje e verificados novamente, como

também após o reescoramento. Esta verificação após a concretagem é necessária para avaliar se os erros de nivelamento não ultrapassaram as tolerâncias pré-definidas.

Os resultados obtidos devem ser comparados com as tolerâncias estabelecidas para a execução de lajes racionalizadas em concreto armado. As tolerâncias para nivelamento das fôrmas da laje e superfície de concreto podem ser verificadas no quadro 1, embora possam variar dependendo do procedimento de cada empresa. (SOUZA; MELHADO, 2002).

	Entre as extremidades das diagonais principais da laje		Nos pontos de verificação	
	Fôrmas	Concreto	Fôrmas	Concreto
Erro máximo	$\pm 1\text{cm}$	$\pm 1\text{cm}$	$\pm 3\text{mm}$	$\pm 1\text{cm}$

Quadro 1: tolerâncias de nivelamento (SOUZA; MELHADO, 2002)

Além do nivelamento de fôrmas e concreto, segundo Souza e Melhado (2002), componentes como taliscas, gabaritos e caixas de passagem devem ter sua locação e nivelamento 100% conferidos, sendo a tolerância de erro de nivelamento $\pm 3\text{mm}$ e locação $\pm 5\text{mm}$, com exceção da posição das taliscas, onde a tolerância é de $\pm 15\text{cm}$. Caso a verificação dos resultados obtidos com a concretagem da laje zero tenha apontado erros superiores às tolerâncias admitidas, torna-se necessária a realização de procedimentos de reparos. Esses reparos, segundo os autores, devem ser executados nos seguintes casos:

- a) existência de danos à superfície da laje durante a execução da edificação;
- b) rugosidade inadequada ao projeto para produção;
- c) nivelamento proposto não é atingido.

Para reparar irregularidades relacionadas ao acabamento superficial ou rugosidade do concreto, conforme Souza e Melhado (2002), aconselha-se a aplicação de uma fina camada de uma pasta constituída por cimento e resina PVA (acetato de polivinila). Porém, para o caso de irregularidades quanto ao nivelamento da laje, terão de ser tomadas alternativas mais complexas, como a execução de uma camada de contrapiso, a fim de nivelar a laje.

4. ACOMPANHAMENTO DA OBRA COM SISTEMA TRADICIONAL

4.1 APRESENTAÇÃO DA OBRA

A obra estudada (A) é um empreendimento localizado na cidade de Porto Alegre. O prédio possui 10 pavimentos, sendo sete pavimentos-tipo. Há dois apartamentos por andar, com três dormitórios e 88 metros quadrados de área privativa cada. A área total do pavimento é de 198 metros quadrados.

Nesta obra foi acompanhada a execução de estrutura em concreto armado, com lajes maciças executadas de forma tradicional, ou seja, sem acabamento superficial, prevendo a execução de contrapiso. O acompanhamento da obra compreendeu a produção de sete lajes de pavimentos tipo, do 4º ao 10º pavimento, porém neste item é feita a descrição da produção de apenas uma, embora deva ser entendida como um resumo de todas as observações, não sendo tratada pontualmente. Além disso, as etapas da estrutura que antecederam esta, como execução de formas dos pilares e vigas e concretagem dos pilares e escadas não foram descritas.

4.2 DOCUMENTOS

Os documentos utilizados para a execução das lajes foram os projetos estruturais de fôrmas e armaduras, projeto hidrossanitário e projeto elétrico. A empresa não possui cadernos de procedimentos ou planilhas de controle relacionadas à execução das lajes.

4.3 EXECUÇÃO

Este item descreve detalhadamente o processo executivo observado durante o trabalho, destacando também as durações das tarefas e quantidade de mão de obra demandada. Para isso, é importante ressaltar que um dia trabalhado corresponde a 8 horas.

4.3.1 Fôrmas da laje

As formas da laje foram executadas com painéis de compensado resinado de espessura 10 mm, porém anteriormente foi feita uma estrutura para receber os painéis, conhecida como **barroteamento**. Esta se deu com a colocação de escoras de madeira eucalipto, suportando guias de madeira *pinus* (15,0 x 2,5 cm) chamadas de **madres**. As **madres** foram fixadas nas escoras com uso de sarrafos, ligando as duas peças, conferindo estabilidade ao conjunto. Sobre essas guias foram apoiados, em direção oposta, caibros de madeira *pinus* (7,0 x 5,0 cm), como ilustrado na figura 12.



Figura 12: detalhe do barroteamento

Após a execução do barroteamento de todo o pavimento, foram colocadas as chapas de compensado, apoiadas diretamente sobre os caibros e fixadas com uso de pregos comuns. Sob as escoras foram colocadas cunhas de madeira, para possibilitar ajuste na altura das escoras e para compensar eventuais diferenças de tamanho entre estas. O espaçamento entre as escoras foi de aproximadamente um metro. Os cortes e ajustes dos compensados foram feitos no próprio pavimento, com o uso de uma serra circular móvel. Os painéis de laje do pavimento inferior foram desformados e transportados por corda para o pavimento no qual a fôrma estava sendo utilizada para serem novamente utilizados. A tarefa de montagem das formas de laje de um pavimento teve duração de cinco dias de trabalho, sendo executada por dois carpinteiros. Enquanto isso, outros dois carpinteiros fizeram o trabalho de desforma e transporte do material. A disposição das chapas de compensado pode ser visualizada na figura 13.



Figura 13: disposição dos assoalhos

4.3.2 Pontos elétricos

Assim que foi terminada a colocação das fôrmas de laje, um eletricista colocou os pontos de iluminação de tetos na laje. Foram usadas caixas oitavadas de ferro. Estas caixas foram pregadas no assoalho e preenchidas com serragem, para evitar a entrada de concreto na peça. Para a locação dos pontos de iluminação, o eletricista utilizou o projeto elétrico da edificação. Esta tarefa teve duração de duas horas.

4.3.3 Passagens hidráulicas

Para as passagens de instalações hidráulicas, foram confeccionadas caixas de madeira, utilizando para isso o cedrinho, feitas pelos carpinteiros, embora as medidas tenham sido determinadas por profissionais hidráulicos. Estas caixas foram pregadas diretamente sobre assoalho, nos pontos onde passariam as tubulações. Para locação dos pontos, foi utilizado o projeto hidrossanitário da edificação. Esta atividade teve duração de aproximadamente duas horas e foi realizada por apenas um instalador hidráulico.

Neste mesmo momento foram colocadas as passagens para *shafts* e dutos de churrasqueiras, assim como a colocação dos tubos de linha de vida, para os operários prenderem seus cintos de segurança. Esta tarefa foi executada por carpinteiros.

4.3.4 Armaduras positivas

Após a laje estar com as passagens delimitadas e pontos de iluminação colocados, tornou-se possível a colocação das armaduras positivas da laje. Enquanto um ferreiro fazia a marcação com giz dos pontos onde deveriam ser colocadas as barras, outro ia colocando-as, resultando em uma malha de armaduras colocadas na direção longitudinal e transversal, amarrando-as umas às outras com uso de arame. Depois de colocadas todas as barras da armadura positiva, foram colocados os espaçadores, peças plásticas que garantiram o cobrimento entre a armadura positiva e o assoalho. Estes espaçadores foram colocados na proporção de um a cada metro quadrado. Esta atividade teve duração de dois dias, sendo executada por apenas dois ferreiros.

4.3.5 Instalações elétricas embutidas

Após a colocação das armaduras positivas, a laje foi liberada para a colocação das tubulações elétricas embutidas. Nesta obra, foram utilizadas mangueiras flexíveis de cores azul e preto, colocadas diretamente sobre as armaduras positivas, amarradas com uso de arames, sem uso de espaçadores. As mangueiras foram colocadas na laje de acordo com o projeto elétrico da edificação, fazendo a ligação entre os diversos pontos de iluminação e atravessando lajes e vigas, para tubulações embutidas em paredes ou forros. Esta atividade durou cerca de dois dias de trabalho, sendo realizada por apenas um eletricista. A figura 14 mostra a laje com armadura positiva, passagens hidráulicas e instalações elétricas.



Figura 14: detalhe que mostra as passagens hidráulicas, armadura positiva e eletrodutos

4.3.6 Armaduras negativas

Assim que as tubulações elétricas foram colocadas, o mesmo ferreiro que colocou as armaduras positivas passou a trabalhar na colocação das armaduras negativas da laje. Para garantir que a armadura negativa ficasse em sua posição de projeto, as barras foram duplamente dobradas nas pontas, servindo como espaçador desta, substituindo o uso de peças adicionais para este fim. A atividade de colocação dos negativos teve duração de aproximadamente cinco horas de trabalho. A armadura negativa pode ser visualizada na figura 15.



Figura 15: armadura negativa da laje

4.3.7 Nivelamento da fôrma

O nivelamento de fôrmas de lajes e vigas foi feito durante a colocação das armaduras negativas. Inicialmente, com uso de mangueira de nível, foi marcada uma cota conhecida nos pilares, com lápis. Após foi esticada uma linha de nylon entre eles, no nível das marcações. Com o uso de uma peça de madeira, foi feita uma **galga**, uma espécie de gabarito que marcava na peça a distância que a fôrma deveria estar das marcações para atender o pé-direito de projeto. Com isso, foi-se medindo a distância da linha até a forma em pontos do fundo das vigas e lajes, conferindo as medidas. A altura da fôrma era alterada através da movimentação das cunhas sob as escoras, com uso de um martelo. O nivelamento da fôrma, ilustrado na figura 16, teve duração de dois dias de trabalho, sendo realizado pelo mestre de obra e dois carpinteiros.



Figura 16: execução do nivelamento das fôrmas

4.3.8 Preparação para a concretagem

Após o término da montagem e conferência das armaduras negativas da laje, foram colocadas as telas de proteção de periferia nos cabos de linha de vida, visando a segurança dos trabalhadores. Além disso, a fôrma foi limpa e lavada com uso de mangueira, deixando-a pronta para a concretagem.

4.3.9 Concretagem da laje

O concreto chegou à obra por meio de caminhões betoneira, totalizando 36 metros cúbicos. O intervalo entre os caminhões foi de 30 minutos. O transporte vertical foi feito através de uma bomba lança. Após a chegada do concreto de cada caminhão, foi conferida a nota fiscal, verificando se o concreto possuía as propriedades desejadas, e em seguida foram moldados os corpos de prova, para controle da resistência característica à compressão do concreto. No pavimento, 12 operários trabalharam na concretagem, sendo seis para segurar o mangote da tubulação, dois para fazer o adensamento e quatro para nivelar e reguar o concreto. À medida que foi sendo lançado o concreto, os operários puxavam-no e espalhavam-no com pás e enxadas, evitando o acúmulo deste em pontos da fôrma. Em seguida, foi realizado o adensamento com o uso de um vibrador elétrico. À medida que o concreto era vibrado, foi sendo feito o nivelamento do concreto, através da criação de pontos de conferência, círculos de concreto onde se media a espessura da camada. Esta medição foi feita através de uma **galga**, uma espécie de gabarito de conferência, onde um pedaço de cano de PVC de pequeno

diâmetro, que indicava a espessura desejada (10 cm), era cravado nos pontos de nivelamento, indicando ao operário se a altura da camada estava adequada. Caso contrário, retirava-se ou acrescentava-se mais concreto e nivelava-se novamente, até que a espessura atingisse a medida de projeto.

Após, foram se formando as mestras a partir de dois pontos de nivelamento. As mestras foram feitas do próprio concreto, formando faixas de mesma espessura, posicionadas lado a lado, com uma distância de aproximadamente um metro e meio. A seguir, com uso de régua metálicas, o concreto entre as mestras foi sendo reguado, fazendo com que todo ele ficasse no nível destas. Este processo foi repetido até o preenchimento de toda a laje, vigas e escada. A concretagem teve fim após o sarrafeamento do concreto lançado pelo último caminhão. A atividade de concretagem teve duração de seis horas. Trabalharam nesta atividade oito serventes e quatro pedreiros. A figura 17 mostra o concreto sendo reguado.



Figura 17: sarrafeamento do concreto através das mestras

4.3.10 Reescoramento

A obra trabalhou com dois andares escorados, um totalmente e um parcialmente. No momento em que as escoras foram necessárias no pavimento em execução, aconteceu o reescoramento do andar inferior, onde permaneceram somente alguns pontalotes. A escolha da localização dos pontos que permaneceram escorados foi feita pelo mestre de obra, utilizando sua experiência em obras anteriores para a decisão. A distribuição consistiu, em média, de quatro

escoras sob panos de lajes e três escoras sob os fundos de cada viga, dependendo do tamanho desta.

4.3.11 Cura do concreto

Nos dois dias seguintes à concretagem, um servente molhou a laje pela manhã, com uso de uma mangueira, até que se formassem lâminas de água sobre a superfície. Esta atividade durou cerca de uma hora.

4.3.12 Contrapiso

Por questão de prazo, não foi possível acompanhar a execução de contrapiso nesta obra, porém, de acordo com informações obtidas na empresa, este seria realizado com argamassa de cimento e areia no traço 1:3 (em volume) e consumo de cimento na base de sete sacos por metro cúbico. Foi determinada espessura de sete centímetros, prevendo a colocação das tubulações de gás embutidas no contrapiso. De acordo com informações recolhidas e experiência de obras anteriores da mesma empresa, a execução do contrapiso seria realizada por dois pedreiros e um servente, com produtividade média de 28 m²/dia. Com isso, considerando as dimensões do pavimento tipo desta obra, pode-se estimar uma duração de sete dias para esta atividade.

5. ACOMPANHAMENTO DE OBRA COM SISTEMA LAJE ZERO

Neste capítulo, é realizada uma descrição detalhada do acompanhamento da obra que executa lajes acabadas, ou seja, com acabamento da superfície do concreto após a concretagem da laje, deixando-a pronta para o recebimento de um revestimento de piso. O item apresenta uma descrição das etapas que envolveram a produção destas.

5.1 APRESENTAÇÃO DA OBRA

A obra em estudo faz parte de um empreendimento localizado na cidade de Porto Alegre, com uma torre comercial e outra residencial. O trabalho utilizou para observações apenas os pavimentos tipo da torre residencial, que, neste trabalho, é identificada por obra B.

A estrutura desta obra seguiu, segundo procedimentos executivos da empresa, um ciclo onde há a produção de uma laje a cada sete dias úteis, utilizando para isto procedimentos que fazem parte da gestão de qualidade da empresa, controles e fichas de verificação. O acompanhamento da obra compreendeu a produção de 15 lajes de pavimentos tipo, do 3º ao 17º pavimento, porém neste item é feita a descrição da produção de apenas uma laje, embora deva ser entendida como um resumo de todas as observações.

Esta torre residencial possui 23 pavimentos, sendo 17 pavimentos tipo. No pavimento tipo há 10 apartamentos, sendo quatro com dois dormitórios (66,52 m²) e seis com apenas um dormitório (38,18 m²). O pavimento possui área total de 572 metros quadrados.

5.2 DOCUMENTOS

Para execução dos serviços de estrutura dos pavimentos tipo foram utilizados os seguintes documentos:

- a) projetos: estrutural de fôrmas, furação hidrossanitário, marcação de pontos elétricos, escoramento e reescoramento;
- b) caderno de procedimentos e fichas de verificação de execução da fôrma, armadura, concretagem e instalações.

- c) planilhas de controle: resistência do concreto, nivelamento e deformação lenta das lajes, e desperdício de concreto.

5.3 EXECUÇÃO

Este item descreve, de forma detalhada, as principais etapas da produção das lajes acabadas, com base no acompanhamento da obra. A duração de cada etapa e a quantidade de operários utilizada foram destacadas ao final de cada subitem. Como o foco do trabalho está na montagem e concretagem das lajes, não foram descritas etapas anteriores da estrutura, como locação dos pilares, montagem de fôrmas de vigas e concretagem de pilares e escadas.

5.3.1 Fôrmas da laje

O processo de **barroteamento** foi feito com peças metálicas. As primeiras escoras colocadas, pelo fato da forma ainda não ter estabilidade, receberam tripés de apoio na base. O encaixe nas vigas metálicas se deu com uso de encaixes, peças com função de suporte, colocadas na parte superior das escoras. Foram usados dois tipos de encaixes, os simples onde se podia apoiar uma viga metálica, e os duplos, que possuíam uma largura maior, possibilitando o apoio de duas. As vigas metálicas (6,0 cm x 8,0 cm x 2,5 m), que possuíam madeira na parte superior, foram apoiadas sobre as escoras, encaixando perfeitamente nos encaixes. O conjunto destas peças metálicas formou uma espécie de malha, com vigas metálicas nas duas direções, permitindo o apoio dos painéis de laje diretamente sobre estas. A figura 18 ilustra o processo.

Neste processo de montagem trabalharam 12 carpinteiros, enquanto cinco carpinteiros trabalharam na desforma dos painéis de laje do pavimento anterior. A atividade teve duração de cinco horas.

A montagem dos painéis de laje, conhecida como colocação do **assoalho** somente começou após o término do **barroteamento**. Foram utilizados painéis de compensado plastificado 18 mm, ilustrados na figura 19. Os painéis foram fixados na madeira das vigas metálicas e nos painéis laterais das vigas. Primeiramente, foram colocados painéis inteiros, os quais possuíam identificações de número e posição, na forma de pintura. Através destas marcações, os painéis foram colocados na mesma posição do pavimento anterior, onde já existiam os furos de

passagens elétricas que atravessavam a laje, dispensando este trabalho de furação para o pavimento atual. Nesta etapa foram executados os rebiaxos na laje, sendo necessários em caso de laje zero, pois não há camada de contrapiso.



Figura 18: execução do **barroteamento**



Figura 19: detalhe do assoalho

Entre os painéis inteiros ficaram lacunas, onde posteriormente foram colocadas as tiras de reescoramento. Estas foram formadas por tiras de madeira de largura 15 cm, cortadas de painéis inteiros de compensado resinado 18 mm. As tiras de reescoramento foram retiradas do pavimento quatro andares abaixo e colocadas nos espaços deixados entre os painéis inteiros, possuindo função muito importante na desforma da laje. Trabalharam na montagem dos painéis de laje 18 carpinteiros, com duração de cinco horas.

5.3.2 Passagens hidráulicas

Para a marcação dos pontos hidráulicos, o encarregado desta atividade teve em mãos o projeto de furação do pavimento tipo, que é um projeto específico dos pontos hidráulicos de marcação de laje, fiel ao projeto hidrossanitário. Este projeto contém cotas acumuladas apenas dos pontos de tubulações que atravessam as lajes, onde foram deixadas passagens.

A atividade de marcação de pontos hidráulicos começou com a colocação dos tapetes tipo decorflex em panos de lajes pré-determinados, orientados por pilares e vigas próximos. Nos tapetes estavam recortados os furos correspondentes às passagens hidráulicas em cozinhas ou banheiros, que deveriam ser deixadas na laje. Os tapetes foram, então, esticados nos locais desejados e o assoalho da laje foi pintado com tinta vermelha nos espaços furados, de modo que quando tirassem os tapetes permanecessem as marcações. Isto dispensou a utilização de trenas para tirar as medidas do projeto de furação. A maioria dos pontos no assoalho já estava pintada do pavimento anterior, mas mesmo assim foram conferidos com o uso do tapete e repintados, quando necessário. A colocação do tapete pode ser visualizada na figura 20. Nesta etapa foi conferido se o caminho da tubulação de gás estava correto, pois este também já estava pintado na fôrma da laje.



Figura 20: uso do tapete para marcação de passagens hidráulicas

Após todas as marcações executadas, teve início a colocação dos acessórios que garantem as passagens hidráulicas. Os acessórios são tubos de PVC e cilindros de poliestireno expandido (isopor) para as passagens de esgoto cloacal, pluvial, ventilação, água fria e água quente. Estes materiais foram fixados nas posições anteriormente pintadas, diretamente sobre o

assoalho, com uso de fita gomada e arames. Após a colocação das passagens, foram fixados na forma os espaçadores utilizados para a colocação de esperas para a tubulação individual de gás, peças plásticas com ajuste na altura, colocadas somente nos locais onde passa esta tubulação. A figura 21 ilustra as passagens de instalações hidráulicas. Foi observado que a tarefa de marcação de pontos hidráulicos na laje e colocação das peças que garantem as passagens no concreto durou cerca de quatro horas. Nesta atividade trabalharam quatro instaladores hidráulicos.



Figura 21: detalhe das passagens hidráulicas

5.3.3 Pontos elétricos

Na marcação dos pontos elétricos na laje também foi utilizado um projeto específico para marcação dos pontos em laje, o projeto de marcação de pontos elétricos. Este projeto demonstrava, através de cotas acumuladas, os pontos de iluminação de teto, caixas de passagem e mangueiras embutidas, conforme o projeto elétrico. Inicialmente, foi feita uma conferência do projeto com os pontos já pintados na fôrma de laje. Quando necessário, foram re-pintados com tinta azul, utilizando um pincel. A pintura dos pontos pode ser visualizada na figura 22. Os eletricitistas possuíam furadeira serra copo e extensão, na necessidade de furar a forma da laje em locais onde mangueiras tivessem que atravessá-la, porém, como os panos de laje já foram colocados conforme os pavimentos anteriores, este re-trabalho foi poucas vezes necessário.



Figura 22: marcação de pontos elétricos

Enquanto as marcações foram sendo concluídas, outros eletricitistas foram colocando as caixas embutidas nos painéis da laje, utilizando pregos, martelo e arames. Os tipos de peças elétricas colocadas nesta fase, diretamente sobre o assoalho, foram pontos de iluminação de tetos e caixas de passagem, onde foram usadas caixas oitavas e retangulares de ferro. Depois de fixadas no assoalho, todas as caixas foram preenchidas com serragem, a fim de evitar a entrada de concreto. A atividade de marcação e colocação dos pontos elétricos durou cerca de quatro horas. O serviço foi realizado por três eletricitistas

5.3.4 Armaduras positivas

As barras foram colocadas nas duas direções concomitantemente e amarradas entre si com arames. Assim que era terminado um pano de laje, um ferreiro colocava os espaçadores e as treliças metálicas (figura 23), sendo estas peças utilizadas como espaçadores e barra de distribuição da armadura negativa. Como espaçador da armadura positiva foi utilizado um espaçador plástico do tipo cadeirinha, colocado em cada encontro de uma barra na longitudinal com uma transversal. Isto fez com que as armaduras positivas ficassem 1,5 cm afastadas da forma da laje, garantindo o cobrimento após a concretagem. As treliças foram colocadas nas áreas onde seriam colocadas as armaduras negativas, com espaçamento de aproximadamente um metro entre uma e outra, nas duas direções. A colocação das armaduras positivas e treliças teve duração de aproximadamente sete horas de trabalho, com 12 ferreiros trabalhando nesta atividade.



Figura 23: colocação de treliças metálicas

5.3.5 Instalações elétricas embutidas

Após as armaduras positivas e treliças metálicas terem sido colocadas em aproximadamente um terço da laje, os eletricitas iniciaram a colocação das tubulações embutidas. Foram utilizadas mangueiras lisas flexíveis azuis. As mangueiras foram conectadas entre caixas de inspeção, pontos de iluminação de tetos e descidas na fôrma, em lajes e vigas. As tubulações foram colocadas para permitir que as fiações fossem colocadas após a concretagem. A colocação das mangueiras dependia da colocação da armadura positiva, porém foi feita acompanhando este outro processo, forçando o ritmo dos ferreiros em sua produção. As mangueiras foram apoiadas em espaçadores especiais para instalações elétricas, sendo o formato semelhante ao espaçador da armadura positiva, porém com maiores dimensões para caber a mangueira, e deixar-las afastadas da laje em aproximadamente 2,5 cm. A principal função do uso do espaçador foi impedir que as tubulações ficassem encostadas no assoalho, evitando possíveis fissuras. As mangueiras foram amarradas nos espaçadores através de laços de barbante. A colocação de mangueiras e espaçadores em toda a laje durou cerca de dez horas de trabalho.

5.3.6 Nivelamento da fôrma

Durante a colocação dos negativos, foi realizado o nivelamento da forma de laje e vigas. Este foi feito através do uso de nível laser, onde se colocou o aparelho no pavimento inferior, com

sensor ajustado em uma altura conhecida. Com isso, uma equipe de carpinteiros, situados no mesmo pavimento do aparelho, colocou o medidor em diversos pontos da forma e, com uma régua acoplada ao medidor, pôde saber quanto a forma tinha de ser deslocada para ficar com a medida de projeto, pois o aparelho emitia sinal visual e sonoro quando o medidor encontrava-se na mesma altura do sensor. Com isso, os carpinteiros foram regulando as alturas dos painéis de lajes e vigas, através de movimentação das escoras metálicas, que possuíam ferramentas de ajuste de altura em suas laterais. O trabalho de nivelamento foi conferido pelo encarregado da fôrma e mestre de obra. Esta tarefa durou aproximadamente seis horas, sendo a equipe que executou o nivelamento, formada por quatro carpinteiros. A figura 24 ilustra o nivelamento sendo executado.



Figura 24: nivelamento da fôrma

5.3.7 Armaduras negativas

Independentemente do nivelamento da fôrma, iniciou-se a colocação da armadura negativa da laje, logo após a conclusão da colocação da armadura positiva. Neste momento, os eletricitistas já haviam colocado mangueiras em aproximadamente dois terços do pavimento. As barras da armadura negativa foram colocadas sobre as treliças metálicas, fixadas através de arames. A altura da treliça definiu a altura que a armadura negativa ficou do assoalho (10 cm). O serviço de colocação durou aproximadamente oito horas. Uma equipe de 12 ferreiros trabalhou na execução desta tarefa. A figura 25 mostra as armaduras negativas, apoiadas sobre as treliças.



Figura 25: detalhe da armadura negativa

5.3.8 Passagens para tubulação de gás

Foram deixadas esperas no concreto para garantir a passagem das tubulações de gás depois da laje concretada, por considerar que a colocação das tubulações antes da concretagem, além de considerar atraso e envolver mais uma equipe de mão de obra, estas correriam o risco de serem danificadas. O caminho foi feito com uso de **barrotilhos** (3,0 x 3,0 cm) e tábuas de madeira (30 x 2,5 cm). Os primeiros foram utilizados para tubulações individuais, dentro dos apartamentos, já as tábuas serviram para passagens coletivas, nos corredores do pavimento. Estas peças foram colocadas sobre os caminhos já pintados anteriormente no assoalho, sobre os espaçadores. Como espaçadores para as tabuas de madeira, foram utilizadas **rapaduras**, taliscas pré-fabricadas de concreto. A execução durou cerca de três horas. Trabalharam neste serviço três instaladores hidráulicos. As passagens para o caminho do gás podem ser visualizadas na figura 26.



Figura 26: detalhe das passagens para tubulação de gás

5.3.9 Preparação para concretagem da laje

Antes da concretagem houve uma revisão de todos os itens que seriam utilizados nesta. Uma limpeza geral foi realizada, as telas de proteção de periferia e ganchos de bandeja de proteção contra quedas foram colocados (somente em pavimentos com bandejas) e a fôrma foi lavada com uso de uma mangueira. Foi observada uma preocupação em colocar os ganchos na posição onde seriam executadas paredes de alvenaria, para não prejudicar o acabamento do piso na hora da retirada das peças. Neste momento, a tubulação do concreto foi montada e o aparelho de nível laser foi nivelado com o ponto de partida do concreto, sempre no patamar da escada, conforme ilustrado na figura 27. Além disso, o engenheiro e o mestre de obra revisaram todas as atividades, preenchendo fichas de verificação dos serviços e, por fim, liberando a concretagem.



Figura 27: marcação do nível do concreto

5.3.10 Concretagem da laje

A concretagem foi realizada por duas equipes, trabalhando simultaneamente. A primeira foi composta pelos mesmos carpinteiros que realizaram a fôrma e, a segunda, por uma equipe de operários especializados em nivelamento e acabamento. Também foi observada a presença de um ferreiro, um hidráulico e um eletricista durante a concretagem. O ferreiro arrumava os negativos sempre que necessário, enquanto o hidráulico e o eletricista atuavam quando alguma peça, como passagens ou mangueiras, saía de seu lugar original. O transporte vertical

foi através de bombeamento e o concreto chegou à obra por meio de caminhões betoneira, totalizando 120 metros cúbicos. Antes do lançamento do concreto, foram conferidas algumas propriedades, como trabalhabilidade e resistência à compressão.

Nesta obra foi utilizado um concreto especial, devido à necessidade do acabamento da superfície. Foi feita durante a dosagem, uma redução (aproximadamente 50%) do uso de aditivo poli-funcional, no caso o MIRA 34. Esse aditivo é normalmente utilizado para aumentar a plasticidade do concreto, causando também um retardo na pega. Esta redução teve o objetivo de diminuir o efeito deste aditivo, adiantando o processo de pega do concreto, visando à antecipação do polimento. Porém, com esta diminuição no aditivo, o concreto fica menos plástico, sendo necessária adição de água e, conseqüentemente, cimento, justificando o preço mais elevado. Além disso, este concreto apresentou um baixo teor de argamassa.

A seguir, foram moldados, por uma empresa terceirizada, corpos de prova de cada caminhão, a fim de se controlar a resistência à compressão em laboratório. Na laje, o concreto foi lançado após bombeamento por uma tubulação rígida fixada no interior da torre, da bomba até a laje. A equipe de carpinteiros foi responsável por segurar e conduzir o mangote da tubulação, além de realizar o adensamento com o vibrador. À medida que o concreto foi lançado e adensado, a equipe de nivelamento foi espalhando-o, com uso de enxadas, e executando os pontos de conferência do nível. Estes pontos foram círculos feitos de concreto, onde se nivelou a superfície com o auxílio do aparelho de nível laser, como ilustrado na figura 28.



Figura 28: execução dos pontos de conferência

A partir dos pontos de conferência, foram feitas as mestras, sendo estas feitas com o próprio concreto, utilizando uma desempenadeira manual. As mestras foram sendo feitas em pares e lado a lado, com uma distância média de um metro e meio entre elas. Em seguida, utilizando uma régua metálica, o concreto foi reguado, de maneira que sua superfície ficasse toda no nível das mestras.

O processo foi sendo repetido, à medida que o concreto foi sendo lançado na laje. Após cada lançamento, adensamento e sarrafeamento de aproximadamente um lote de oito metros cúbicos, a equipe do nivelamento alisava o concreto com uso de uma desempenadeira manual de cabo longo, denominada *bullfloat*, de maneira que não era mais preciso pisar na superfície já concretada. A desempenadeira foi aplicada no sentido contrário ao sarrafeamento, nos dois sentidos. Foi observado que os operários molhavam a superfície antes da aplicação do *bullfloat*, facilitando o trabalho de preencher os poros do concreto. As áreas de proximidade com a escada foram deixadas por último, evitando que os operários pisassem no concreto depois de lançado. A aplicação da desempenadeira de cabo longo pode ser visualizada na figura 29.

Após o término da concretagem, enquanto os operários da equipe de carpintaria deixavam a obra, o electricista instalou os equipamentos de iluminação para a laje, para dar condições de trabalho à equipe do acabamento, já que a noite se aproximava. Por fim, o concreto excedente da tubulação foi descarregado no térreo, sendo utilizado para outros fins. A concretagem da laje teve duração de sete horas. Nesta trabalharam 12 carpinteiros, oito operários da empresa de nivelamento, dois serventes, um ferreiro, um hidráulico e um electricista.



Figura 29: alisamento do concreto com *bullfloat*

5.3.11 Acabamento da superfície

O acabamento da superfície começou a ser executado em pontos onde já era possível caminhar sobre o concreto, deixando pequenas marcas do sapato. Isto aconteceu quando o primeiro lote de concreto havia completado idade entre quatro horas ou cinco horas. Com isso, os operários iniciaram aplicando a desempenadeira motorizada com disco, popularmente conhecida como **enceradeira**. Foram realizadas duas aplicações em cada porção de concreto, com o objetivo de promover a assentamento do agregado graúdo, liberando a nata do concreto para a superfície, além de retirar qualquer irregularidade que possa ter ficado com a passagem do *bullfloat*. Porém, após a utilização deste equipamento, a superfície fica áspera, necessitando de mais uma etapa de acabamento. Para pontos de difícil acesso, como cantos de pilares, pontos próximos à escada e periferias, foram utilizadas as desempenadeiras de cabo curto (*handfloat*). As figuras 30 e 31 ilustram o processo de aplicação das desempenadeiras motorizada com disco e *handfloat*, respectivamente.

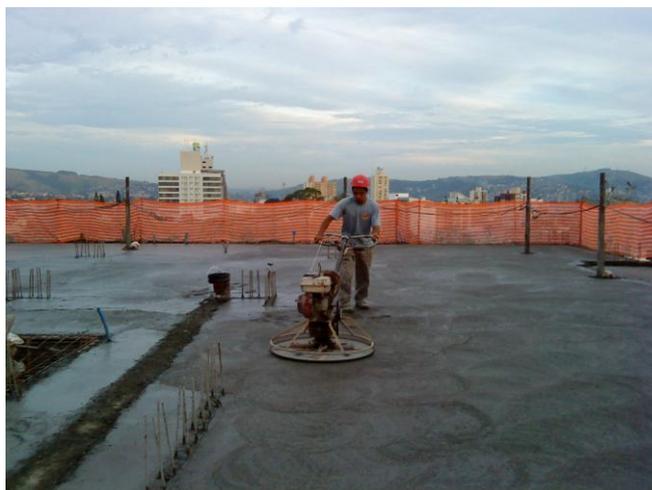


Figura 30: aplicação de desempenadeira motorizada com disco

Quando o concreto destes pontos já havia concluído o processo de **pega**, ou seja, já era possível transitar pelas áreas sem deixar nenhuma marca, passaram a utilizar a desempenadeira motorizada do tipo helicóptero, com as pás expostas (sem a presença do disco). O início da aplicação deste equipamento, após o concreto lançado pelo primeiro caminhão completar aproximadamente seis horas de idade, conferiu ao concreto uma superfície lisa e polida, através das hélices existentes no aparelho. Foram realizadas em torno de quatro aplicações para cada porção da superfície. A tarefa de acabamento da laje teve

duração de aproximadamente 14 horas. Dois operários especializados em nivelamento trabalharam nesta atividade, que teve fim por volta das 2h da manhã. A figura 32 ilustra a aplicação do **helicóptero** na superfície.



Figura 31: aplicação de desempenadeira de cabo curto nos cantos dos pilares



Figura 32: aplicação de desempenadeira motorizada tipo helicóptero

5.3.12 Reescoramento e retirada das passagens do gás

Um dia após a concretagem, foi realizado o reescoramento da laje, ou seja, foram retiradas 50% das escoras da laje e levadas para o pavimento recém concretado, mantendo apenas as escoras de fundo de vigas e sob as tiras de reescoramento, o que pode ser visualizado na figura 33. De acordo com o procedimento da empresa, permaneceram quatro lajes escoradas,

Laje zero em edificações de múltiplos pavimentos: comparação com o sistema construtivo tradicional (projeto de pesquisa)

sendo a porcentagem do total, de cima para baixo a partir da última: 100%, 50%, 25% e 25%, conforme projeto de escoramento.



Figura 33: detalhe das tiras de reescoramento

Neste mesmo dia aconteceu a retirada das passagens de madeira que formaram o caminho do gás, com uso de um martete motorizado. Nos espaços criados pela retirada, após aproximadamente três meses, foram instaladas as tubulação de gás e, posteriormente, arrematados com cimento e areia, no mesmo nível do concreto. O reescoramento e a retirada do caminho do gás tiveram duração de, respectivamente, uma e duas horas. Na tarefa de reescoramento trabalharam quatro carpinteiros, enquanto na retirada do caminho do gás, dois instaladores hidráulicos. A retirada do caminho do gás pode ser visualizada na figura 34.



Figura 34: retirada das passagens da tubulação de gás

5.3.13 Cura do concreto

A cura da laje foi realizada por três noites seguidas após a concretagem, sendo feita através de um sistema de irrigação com aspersores. Uma tubulação vertical em PVC foi montada exclusivamente para levar água do térreo às lajes da torre, ligando-a em uma tubulação horizontal, montada um dia após a concretagem, composta por 12 peças de aspersão do tipo cruzetas e ramais feitos de mangueiras de plástico. Estas podem ser visualizadas na figura 35.

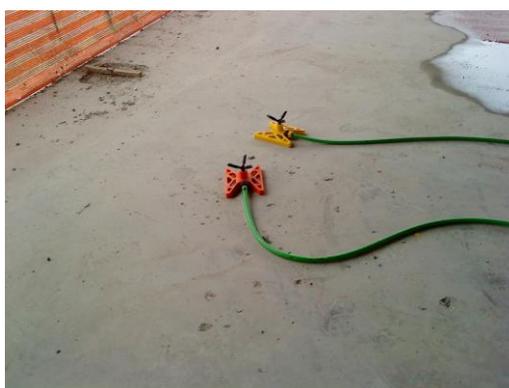


Figura 35: processo de cura do concreto

5.3.14 Controle da peça pronta

A empresa realizou alguns procedimentos em relação à laje já concretada, visando o controle de desempenho e qualidade desta. O primeiro destes foi o controle de nivelamento da laje, que definiu o quanto foi satisfatório o serviço da equipe de nivelamento terceirizada. Este controle foi feito com aparelho de nível laser, medindo-se o nível de alguns pontos em relação ao mesmo ponto de partida utilizado pela equipe no dia do concreto. O pagamento da equipe de nivelamento foi atrelado a este controle. As lajes que não apresentaram, por motivos de chuva ou falhas na concretagem, um resultado satisfatório de nivelamento ou acabamento, foram identificadas e registradas em uma planilha de controle de reparos, para que fosse feita uma regularização com massa de piso, possibilitando a execução do revestimento de piso final. A deformação da estrutura também foi controlada, realizando-se duas medições, uma após o reescoramento e outra após o carregamento da estrutura com paredes e revestimentos. Outro controle foi o da resistência característica à compressão do concreto da laje, através do acompanhamento do rompimento dos corpos de prova moldados no dia da concretagem.

6 COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Este capítulo apresenta uma análise comparativa entre os dois sistemas construtivos, destacando as principais diferenças que a utilização de um sistema de laje zero causa em relação ao sistema construtivo de lajes tradicionais em concreto armado. Esta análise foi baseada não só nas descrições dos capítulos anteriores, como também em observações feitas em obra, dados coletados junto às empresas e auxílio de embasamento teórico.

6.1 ALTERAÇÕES NA EXECUÇÃO

A execução de lajes zero, como observado, exigiu atenção e cuidados muitas vezes não levados em consideração em um sistema tradicional, que obrigaram o processo a sofrer algumas modificações. Este item apresenta as mudanças que a obtenção de lajes acabadas exigiu no processo executivo, sem que houvesse a perda de qualidade. O item analisa também os resultados das ações tomadas.

6.1.1 Fôrmas

Devido ao fato dos apartamentos da obra B serem entregues prontos para a colocação de revestimento final de piso, foi observada uma enorme preocupação com a necessidade das lajes estarem bem niveladas e não sofrerem deformações excessivas. A preocupação se justifica, pois isto pode causar desníveis ou fissuras no concreto, gerando dificuldades na colocação do piso ou até descolamentos futuros. Para reduzir os riscos em relação a este tipo de problema, tornaram-se necessários cuidados extras durante a execução da fôrma, pois estas normalmente são de natureza frágil. Primeiramente, optando-se por um sistema de escoramento e **barroteamento** metálico, garantindo maior sustentação ao sistema de fôrmas, comparado ao escoramento em madeira. Além disso, o escoramento foi executado com uso projeto específico e utilização de aparelho de nível laser para o nivelamento das fôrmas. Foi notado que este sistema adotado foi satisfatório para a obra B, pois não foi observada nenhuma deformação excessiva, conforme verificado em medições com o nível laser, feitas em todos os pavimentos. A tolerância de erro no nivelamento estabelecido pela empresa é de

5 mm por ponto. Como não foram realizadas medições na obra A, não foi possível estimar a deformação da estrutura, sendo notada apenas a presença de algumas microfissuras na laje.

6.1.2 Armaduras

Quanto às armaduras da laje, a principal preocupação observada foi a garantia de que as barras da armadura negativa permanecessem em seus lugares, não sofrendo deslocamentos que as deixassem expostas após a concretagem. Por isso, foram utilizadas treliças metálicas como espaçadores na obra B, fornecendo maior rigidez ao sistema. O resultado obtido com as treliças foi muito bom, porém não eliminou o problema completamente. Em algumas lajes desta obra puderam ser observadas algumas pontas ou barras expostas (figura 36), embora menos do que na obra que utilizou o sistema tradicional, que não utilizou espaçadores.



Figura 36: verificação do não cobrimento da armadura negativa

6.1.3 Passagens e instalações embutidas

Na obra B foram observadas algumas medidas de prevenção de erros de locação de passagens ou instalações embutidas, pois isto obriga a quebra da laje. Além dos projetos de furação e marcação de pontos elétricos já citados no trabalho, que forneceram maior facilidade e precisão no processo, foram utilizados alguns procedimentos visando à garantia de que os pontos fossem marcados exatamente nas mesmas posições em todos os pavimentos, como a

utilização de pinturas no assoalho e conferência com tapetes, além da preocupação dos carpinteiros em usar os painéis de fôrma sempre nas mesmas posições. Com isso, optou-se pela utilização de compensados plastificados, o que permitiu um melhor re-aproveitamento durante a obra, evitando a necessidade de novas marcações. O uso de outras técnicas para as passagens hidráulicas, como isopor ou canos de PVC, em substituição às tradicionais caixinhas de madeira, também foi um facilitador do sistema. Outra alteração foi a colocação de passagens para a tubulação de gás, já que estas são embutidas na laje, enquanto na obra A são embutidas no contrapiso.

Quanto à marcação dos pontos hidráulicos e elétricos, a utilização dos projetos e conferências com pinturas e tapetes foi essencial, pois os erros de locação na obra B foram mínimos. As esperas para o gás, porém, se apresentaram como um problema para a execução. Isto se deveu ao intenso trânsito de funcionários no momento da concretagem, principalmente no momento do lançamento do concreto, deslocando as passagens. Isso acarretou na quebra da laje em alguns pontos, no momento da colocação das tubulações de gás.

6.1.4 Concretagem

Foi observado que as lajes da obra B foram executadas com espessura maior (3 cm) que as lajes da obra A, por questões estruturais. Devido à preocupação de manter o piso nivelado e acabado para receber diretamente o revestimento de piso final, a obra B utilizou concreto com características diferentes (alto teor de argamassa e menor tempo de pega), além de empresa terceirizada com mão de obra especializada para realizar o nivelamento do concreto, com uso do aparelho de nível laser. Este procedimento foi muito satisfatório, pois, conforme registro das conferências realizadas no dia seguinte à concretagem, raramente foram registrados desníveis superiores a 5,0 mm, limite estabelecido pela empresa. Na obra A não houve controle do nivelamento, sendo considerado um gasto desnecessário, pois os níveis da obra são determinados pelo contrapiso.

6.1.5 Acabamento superficial

Esta é uma tarefa inexistente no sistema tradicional, sendo realizada apenas na obra B. Foram necessários equipamentos específicos para este fim, como o uso de desempenadeiras motorizadas e mão de obra especializada neste tipo de serviço. Porém, em dois pavimentos houve uma chuva não prevista, danificando o serviço de acabamento. Por isto, tornou-se necessário uma regularização da superfície com uso de cimento cola nestes pavimentos. Outra dificuldade observada foi a nata de concreto que caiu durante a concretagem das lajes superiores, formando irregularidades que comprometem o acabamento. Para evitar isto, utilizou-se lava-jato no andar inferior das concretagens, porém não se obteve um sucesso pleno, pois apenas um funcionário realizava este serviço. Outra medida preventiva seria a vedação das juntas das chapas de compensado, porém não aconteceu. Quanto ao acabamento da superfície, não foram observadas preocupações além das convencionais na obra A.

6.2 ALTERAÇÕES NO PLANEJAMENTO E PRAZO

A opção por um sistema laje zero acarreta algumas mudanças nos prazos e planejamentos de execução da estrutura. Estas alterações podem ser consequência da concepção de racionalização que acompanha o sistema, com utilização de tecnologias mais avançadas durante as etapas, ou simplesmente pelo fato de eliminar uma etapa da construção, a execução de contrapiso. Este item analisa as alterações observadas na obra B, devido à implantação do sistema laje zero quanto ao planejamento de execução, seja no curto ou longo prazo.

6.2.1 Fôrmas

Com relação ao sistema de fôrmas, foi observada uma redução no tempo de montagem, justificada pelo uso de equipamentos metálicos no uso de escoramentos, pois são peças com dimensões padronizadas que não necessitam cortes ou ajustes, existentes no sistema que utiliza madeira. Além disso, a utilização de um projeto para a produção acelerou o tempo de execução, pois evitou a necessidade de tomadas de decisões durante o processo. A pintura dos compensados, indicando a posição em que eles deveriam ser colocados, simplificou a montagem das formas de lajes, pois evitou o tempo de recortes e ajustes em cada pavimento,

além de evitar a produção de novas fôrmas. Todas essas medidas também poderiam ser implantadas no sistema tradicional.

6.2.2 Instalações e passagens hidráulicas

A locação das passagens apresentou-se mais rápida com a existência de um projeto específico para as lajes, comparada à utilização dos projetos hidrossanitário e elétrico de todo o pavimento. Isto se explica pelo fato de serem projetos com menos número de informações, definindo com clareza apenas o que é utilizado para aquela etapa. A pintura nas chapas e conferência com tapetes também acelerou a locação das passagens, pois reduzia as medições com trenas. O uso de materiais como isopor e PVC apresentaram um ganho de tempo em relação às caixinhas de madeira tradicionais, pois facilitaram a retirada, sem a necessidade de envolver a equipe de carpintaria. A colocação das esperas para tubulações de gás gerou um atraso na tarefa de produção das lajes, embora não muito significativo.

6.2.3 Acabamento superficial

A necessidade de dar polimento à laje torna-se uma dificuldade para o planejamento de curto prazo da obra, pois alguns fatores podem comprometer a qualidade e sucesso deste. Um exemplo observado foi a preocupação com as condições climáticas, pois a chuva pode prejudicar o acabamento da superfície, deixando marcas na laje. Por isso, as concretagens foram programadas sempre conforme análise de previsões meteorológicas, que não são sempre certas. Esta dependência pode representar um atraso, postergando conseqüentemente as tarefas posteriores.

Devido ao fato dos equipamentos de acabamento só poderem ser utilizados após a pega do concreto, deve haver uma preocupação com o horário do término das concretagens, pois se o concreto termina muito tarde, o acabamento só poderá ser concluído de madrugada. O principal problema disto está na relação com os vizinhos, pois estas máquinas emitem ruídos que podem atrapalhar o sono dos moradores mais próximos, e como o barulho é proibido nestes horários, pode haver o cancelamento da tarefa, causando prejuízos como a necessidade de uma regularização posterior. Quanto a isso, foi observado que todas as concretagens eram programadas para iniciar no primeiro horário do dia. Por duas vezes na obra B, a laje não

estava pronta para ser concretada no horário, sendo esta tarefa cancelada devido à preocupação com o horário do acabamento. Não foram registrados problemas com vizinhos na obra B, pelo fato da obra situar-se em uma zona comercial.

6.2.4 Contrapiso

A eliminação da etapa de execução de contrapiso é, sem dúvida, o maior ganho do sistema laje zero em relação ao prazo e planejamento da obra. Por dispensar os serviços de preparação de argamassa de cimento e areia, a mão de obra que seria utilizada para executar a tarefa pode ser utilizada em alguma outra atividade, como, por exemplo, colocação de azulejos. Além disso, não é necessário o recebimento de cargas para esta atividade, como sacos de cimento e caminhões de areia, aliviando a obra em termos de logística. Outra vantagem é com relação ao abastecimento, pois esta tarefa demanda muito consumo de material e, por se tratar de uma obra de pavimentos múltiplos, exige muito tempo para transporte horizontal e vertical, principalmente sobrecarregando o elevador da obra. Outra dificuldade deste sistema é a preocupação com o trânsito de trabalhadores no local onde está sendo executado. Além disso, a argamassa de cimento e areia necessita cura, impedindo que se caminhe sobre esta nos primeiros três dias. Em obras com laje zero, onde não se executa esta camada, não há esta preocupação.

A eliminação desta etapa da obra pode apresentar também uma vantagem financeira, uma vez que terminando o empreendimento antes, pode-se obter um retorno antecipado de capital, através da comercialização das unidades. Isto não é regra, pois depende do tipo de contrato entre as construtoras e clientes.

6.3 ALTERAÇÕES NO CUSTO

Para comparar quantitativamente os dois métodos construtivos em relação ao custo, foram levados em consideração apenas fatores que se diferenciaram de um sistema para o outro, desprezando algumas etapas ou procedimentos que, embora não tenham sido idênticos nos dois métodos, não têm grande relevância na comparação. Através das observações em obra destas atividades, foi possível compor um índice de custo que serviu de base para a

comparação, sendo este definido como índice de custo (R\$/m²). Este índice foi formado por dados obtidos nas obras, como duração das atividades, produtividades e consumo de materiais ou equipamentos. Os custos unitários para as composições de cada atividade, apesar de terem sido obtidos com base na coleta de dados nos dois empreendimentos, foram adotados os mesmos para as duas obras, pois a capacidade de negociação de cada empresa poderia afetar os resultados, não sendo este o objetivo da comparação. Todas as atividades tiveram uma composição de valores, gerando um total gasto na atividade por pavimento. Após, houve a divisão pelo tamanho da laje da edificação, sendo esta a ferramenta para chegar ao índice adotado.

Após as observações, foram escolhidas as etapas consideradas mais importantes na obtenção de uma laje zero nesta obra, os quais estão listados a seguir, segundo os critérios avaliados:

- a) escoramento: materiais utilizados;
- b) fôrmas de laje: materiais utilizados;
- c) nivelamento da fôrma: uso de referências de nível;
- d) espaçadores da armadura negativa: uso de espaçadores;
- e) instalações de gás embutidas na laje: materiais e mão de obra;
- f) concretagem: materiais e mão de obra;
- g) acabamento superficial: materiais e mão de obra;
- h) execução de contrapiso: materiais e mão de obra.

Cada item foi dividido em subitens para facilitar e detalhar a composição dos índices de custo (R\$/m²). Como exemplo, pode-se verificar a composição para formação do índice referente aos espaçadores da armadura negativa, onde foi considerado o uso das treliças metálicas, levando em conta os custos da utilização deste material. Através de levantamentos e observações, foram definidos:

- a) R\$ 26,50 / treliça;
- b) 33 treliças / pavimento tipo.

Convertendo para o índice de comparação do trabalho, tem-se:

$$(R\$ 26,50 / treliças) \times (33 treliças / pavimento tipo) = R\$ 874,50 / pavimento tipo$$

$$(\text{R\$ } 874,50 / \text{ pavimento tipo}) / (578,0 \text{ m}^2 / \text{ pavimento tipo}) = \text{R\$ } 1,53 / \text{ m}^2$$

Outro exemplo é apresentado a seguir, neste caso encontrou-se o índice correspondente à utilização de mão de obra para execução de contrapiso, obtido através de valores de produtividade informados pela construtora, aplicados para a obra A. Foram definidos:

- a) R\$ 3,56 / h pedreiro;
- b) R\$ 2,42 / h servente;
- c) 112 h pedreiros / pavimento tipo;
- d) 56 h serventes / pavimento tipo.

Convertendo para o índice de custo, tem-se:

$$[(\text{R\$ } 3,56 / \text{ h pedreiro}) \times (112,0 \text{ h pedreiros} / \text{ pavimento tipo})] + [(\text{R\$ } 2,42 / \text{ h servente}) \times (56,0 \text{ h serventes} / \text{ pavimento tipo})] = \text{R\$ } 534,24 / \text{ pavimento tipo}$$

$$(\text{R\$ } 534,24 / \text{ pavimento tipo}) / (198,0 \text{ m}^2 / \text{ pavimento tipo}) = \text{R\$ } 2,70 / \text{ m}^2$$

Além do índice de custo, outro critério foi utilizado com o objetivo de comparar a obra como um todo, considerando todos os pavimentos da edificação. Para tornar esta comparação válida, foi definido um índice que leva em conta a reincidência do custo. Esta avaliação tornou-se necessária à medida que algumas etapas, como projetos, produziram custos apenas uma vez para todos os pavimentos da edificação, enquanto outras tarefas demandaram custos durante todos os pavimentos, como por exemplo, a execução de contrapiso.

Este índice de reincidência foi calculado como a porcentagem dos pavimentos tipo em que foi computado custo do subitem, em relação ao número total de pavimentos tipo existentes na edificação. Os índices finais dos itens foram formados através da soma das multiplicações entre os índices de custo e reincidência de cada subitem correspondente aquela etapa. Na obra B, por exemplo, foram usadas chapas plastificadas 18 mm (R\$ 18,87/m²), sendo estas aproveitadas durante toda a execução da estrutura, ou seja, teve custo apenas uma vez (R=1,0), sendo o índice de reincidência:

$$\text{Índice de reincidência (IR)} = (1,0) / (17 \text{ pavimentos tipo}) = 0,059$$

Como o item fôrma de lajes é formado apenas pelo custo das chapas de compensado, a composição final do item ficou:

$$(\text{R\$ } 18,87 / \text{m}^2) \times (0,059) = \text{R\$ } 1,11 / \text{m}^2$$

Já na obra A, utilizou-se compensado resinado 10 mm (R\$ 9,40 / m²), sendo trocadas uma vez durante a execução dos sete pavimentos tipo. (R=2). Por isso, o IR já não tem o mesmo peso, pois o custo com esse material teve de ser computado duas vezes durante a obra.

$$\text{Índice de reincidência (IR)} = (2,0) / (7 \text{ pavimentos tipo}) = 0,286$$

O índice de fôrmas de laje para a obra A, nesse caso, resultou:

$$(\text{R\$ } 9,40 / \text{m}^2) \times (0,286) = \text{R\$ } 2,69 / \text{m}^2$$

Na comparação de custo dos dois sistemas, não foi considerada a diferença de espessura das lajes das obras (A possui lajes com 10 cm, enquanto B apresenta espessura de 13 cm), pois esta tem motivo unicamente estrutural, não sendo este um critério de avaliação do trabalho. Por isso, as duas lajes foram consideradas com espessura de 10 cm.

O quadro 2 apresenta os índices de custo e reincidência de todas as etapas consideradas. Os valores em verde representam economia do sistema laje zero em relação ao sistema tradicional, enquanto os valores em vermelho significam prejuízo.

QUADRO DE COMPARAÇÃO DE CUSTOS										
ITEM	A (tradicional)	B (laje zero)	DIFERENÇA		COMPOSIÇÕES DE CUSTO				B (laje zero)	
	IC (R\$/m²)	IC (R\$/m²)	IC (R\$/m²)	%	SUBITEM	IC (R\$/m²)	IR	R	IR	R
ESCORAMENTO	R\$ 2,68	R\$ 3,05	-R\$ 0,37		Aluguel (mês) escoras metálicas	4,70			0,353	6
					Aluguel (mês) vigas e acessórios	3,95			0,353	6
					Escoras de eucalipto	4,09	0,143	1		
					Guias + Caibros	14,66	0,143	1		
FÔRMAS DE LAJE	R\$ 2,69	R\$ 1,11	R\$ 1,58		Compensado plastificado 18mm	18,87			0,059	1
					Compensado resinado 10mm	9,40	0,286	2		
NIVELAMENTO	R\$ 0,00	R\$ 0,28	-R\$ 0,28		Aluguel (mês) nível laser	0,79			0,353	6
ESP. ARMAD. NEG.	R\$ 0,00	R\$ 1,53	-R\$ 1,53		Treliças metálicas	1,53			1,000	17
PASSAGENS GÁS	R\$ 0,00	R\$ 0,59	-R\$ 0,59		Barrotilhos de madeira	0,19			0,235	4
					Tábuas de madeira	0,13			0,235	4
					Espaçadores	0,31			1,000	17
					Mdo colocação passagens	0,06			1,000	17
					Mat enchimento passagens	0,06			1,000	17
					Mdo enchimento passagens	0,08			1,000	17
CONCRETAGEM	R\$ 22,42	R\$ 29,16	-R\$ 6,75		Concreto Pisolix h=10cm	24,20			1,000	17
					Concreto convencional h=10cm	21,40	1,00	7		
					Mão de obra terceirizada	4,96			1,000	17
					Mão de obra própria	1,02	1,00	7		
POLIMENTO	R\$ 0,00	R\$ 3,25	-R\$ 3,25		Mão de obra terceirizada	3,25			1,000	17
CONTRAPISO	R\$ 13,41	R\$ 0,00	R\$ 13,41		Material contrapiso	10,71	1,00	7		
					Mão de obra contrapiso	2,70	1,00	7		
TOTAL	R\$ 41,19	R\$ 38,97	R\$ 2,22	5,39%						

Quadro 2: quadro de comparação de custos

Observando o quadro podemos verificar que o somatório dos índices correspondentes aos itens analisados da obra A totalizou R\$ 41,19, enquanto que a soma dos itens da obra B resultou em R\$ 38,97. Isto nos leva a conclusão de que o sistema laje zero, considerando todos os fatores considerados na comparação, apresenta uma economia de R\$ 2,22/m², representando 5,39%. Essa diferença de custo pode ser justificada através de uma análise dos resultados.

Partindo do princípio que as duas obras apresentaram processo de nivelamento da fôrma e do concreto, poderíamos assumir que os itens que se tornam obrigatórios para a execução do sistema laje zero, permitindo assentar o piso diretamente sobre a superfície, são a utilização de um concreto especial com menor teor de argamassa, o acabamento superficial, a colocação das tubulações de gás embutidas, já que não há a presença de contrapiso, e o uso do aparelho de nível laser para nivelamento. Esses itens, confrontados com o item de execução de contrapiso, apontaram uma economia de R\$ 7,08/m² (20,34%) para a obra B, quando

considerados apenas estes fatores. O quadro 3 apresenta os custos desta simulação, ocultando e zerando os valores dos demais itens.

QUADRO DE COMPARAÇÃO DE CUSTOS											
ITEM	A (tradicional)	B (laje zero)	DIFERENÇA		COMPOSIÇÕES DE CUSTO			A (tradicional)		B (laje zero)	
	IC (R\$/m²)	IC (R\$/m²)	IC (R\$/m²)	%	SUBITEM	IC (R\$/m²)	IR	R	IR	R	
ESCORAMENTO	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00		Aluguel (mês) escoras metálicas	0,00			0,353	6	
					Aluguel (mês) vigas e acessórios	0,00			0,353	6	
					Escoras de eucalipto	0,00	0,143	1			
					Guias + Caibros	0,00	0,143	1			
FÔRMAS DE LAJE	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00		Compensado plastificado 18mm	0,00			0,059	1	
					Compensado resinado 10mm	0,00	0,286	2			
NIVELAMENTO	R\$ 0,00	R\$ 0,28	-R\$ 0,28		Aluguel (mês) nível laser	0,79			0,353	6	
ESP. ARMAD. NEG.	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00		Treliças metálicas	0,00			1,000	17	
PASSAGENS GÁS	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00		Barrotilhos de madeira	0,00			0,235	4	
					Tábuas de madeira	0,00			0,235	4	
					Espaçadores	0,00			1,000	17	
					Mdo colocação passagens	0,00			1,000	17	
					Mat enchimento passagens	0,00			1,000	17	
					Mdo enchimento passagens	0,00			1,000	17	
					Concreto Pisomix h=10cm	24,20			1,000	17	
CONCRETAGEM	R\$ 21,40	R\$ 24,20	-R\$ 2,80		Concreto convencional h=10cm	21,40	1,00	7			
					Mão de obra terceirizada	0,00			1,000	17	
					Mão de obra própria	0,00	1,00	7			
POLIMENTO	R\$ 0,00	R\$ 3,25	-R\$ 3,25		Mão de obra terceirizada	3,25			1,000	17	
CONTRAPISO	R\$ 13,41	R\$ 0,00	R\$ 13,41		Material contrapiso	10,71	1,00	7			
					Mão de obra contrapiso	2,70	1,00	7			
TOTAL	R\$ 34,81	R\$ 27,73	R\$ 7,08	20,34%							

Quadro 3: simulação 1 de comparação de custos

Porém, se verificou durante as observações que somente estas três alterações não seriam suficientes para atingir o objetivo de obtenção de uma laje zero, devido a fatores já explicados, como dificuldades na armadura negativa, necessidade de uma precisão maior no nivelamento, projetos para a execução, etc. Para isso, foram realizados alguns investimentos visando atingir o objetivo sem qualquer perda de qualidade. Contabilizando o investimento com escoramentos metálicos, fôrmas e treliças a economia do sistema laje zero apresentou um decréscimo, passando de R\$ 7,08/m² para R\$ 6,17/m², porém ainda apresentando ganho (15,35%) em relação ao sistema que utilizou contrapiso, conforme mostra o quadro 4.

QUADRO DE COMPARAÇÃO DE CUSTOS										
ITEM	A (tradicional)		B (laje zero)		DIFERENÇA		COMPOSIÇÕES DE CUSTO			
	IC (R\$/m²)	IC (R\$/m²)	IC (R\$/m²)	%	SUBITEM	IC (R\$/m²)	IR	R	IR	R
ESCORAMENTO	R\$ 2,68	R\$ 3,05	-R\$ 0,37		Aluguel (mês) escoras metálicas	4,70			0,353	6
					Aluguel (mês) vigas e acessórios	3,95			0,353	6
					Escoras de eucalipto	4,09	0,143	1		
					Guias + Caibros	14,66	0,143	1		
FÔRMAS DE LAJE	R\$ 2,69	R\$ 1,11	R\$ 1,58		Compensado plastificado 18mm	18,87			0,059	1
					Compensado resinado 10mm	9,40	0,286	2		
NIVELAMENTO	R\$ 0,00	R\$ 0,28	-R\$ 0,28		Aluguel (mês) nível laser	0,79			0,353	6
ESP. ARMAD. NEG.	R\$ 0,00	R\$ 1,53	-R\$ 1,53		Treliças metálicas	1,53			1,000	17
PASSAGENS GÁS	R\$ 0,00	R\$ 0,59	-R\$ 0,59		Barrotilhos de madeira	0,19			0,235	4
					Tábuas de madeira	0,13			0,235	4
					Espaçadores	0,31			1,000	17
					Mdo colocação passagens	0,06			1,000	17
					Mat enchimento passagens	0,06			1,000	17
					Mdo enchimento passagens	0,08			1,000	17
CONCRETAGEM	R\$ 21,40	R\$ 24,20	-R\$ 2,80		Concreto Pisolmix h=10cm	24,20			1,000	17
					Concreto convencional h=10cm	21,40	1,00	7		
					Mão de obra terceirizada	0,00			1,000	17
					Mão de obra própria	0,00	1,00	7		
POLIMENTO	R\$ 0,00	R\$ 3,25	-R\$ 3,25		Mão de obra terceirizada	3,25			1,000	17
CONTRAPISO	R\$ 13,41	R\$ 0,00	R\$ 13,41		Material contrapiso	10,71	1,00	7		
					Mão de obra contrapiso	2,70	1,00	7		
TOTAL	R\$ 40,17	R\$ 34,01	R\$ 6,17	15,35%						

Quadro 4: simulação 2 de comparação de custos

Além de todas as alterações, a obra B efetuou a contratação de uma equipe especializada em nivelamento para trabalhar durante a concretagem, sendo estes os responsáveis por realizar o sarrafeamento do concreto, nivelar a superfície com aparelho de nível laser e alisar o concreto com desempenadeira metálica. Esta contratação foi julgada necessária, pois a mão de obra própria da empresa não foi considerada capaz de realizar este serviço conforme o procedimento. Como a obra A utilizou mão de obra própria para a concretagem, sem preocupações com o nivelamento, foi observada uma diferença de R\$ 3,95 no valor da mão de obra, reduzindo a economia do sistema laje zero para R\$ 2,22/m² (5,39%), como demonstrado anteriormente no quadro 2.

6.4 ALTERAÇÕES NO DESEMPENHO ACÚSTICO

Baseado em estudos realizados, sabe-se que a espessura de laje tem grande influência na transmissão de ruídos, destacando inclusive que, no caso de ruídos por impactos, há o aumento de 1dB de pressão sonora a cada diminuição de 1,0 cm na espessura. Com isso, podemos concluir que as lajes do pavimento tipo da obra B são menos capazes de reduzir os efeitos de transmissão de ruídos de impactos, pois a execução do contrapiso na obra A, aumentou a massa de piso que divide os pavimentos, aumentando também a espessura de 10 cm (laje) para 17 cm (laje +contrapiso). Além disso, a execução da camada de contrapiso permite a execução de isolamento acústico, usualmente realizado com aplicação de um material resiliente colocado entre a laje e o contrapiso, possibilitando uma melhora muito significativa no desempenho acústico do sistema, embora não seja o caso da obra A.

A NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010) determina que o piso de um pavimento possa transmitir, no máximo, 80 dB de intensidade sonora através de impacto, o que corresponde, segundo Vale... (2010), a uma laje de concreto maciço de 10 cm de espessura, sem qualquer tipo de revestimento. Com isso podemos concluir que ambas as lajes das obras estudadas atendem os requisitos mínimos, embora esteja claro que a obra A apresenta um conforto acústico superior, devido à espessa camada de contrapiso. Com relação ao ruído por transmissão sonora pelo ar, a norma avalia a redução sonora em pisos que separam unidades habitacionais, sendo o valor mínimo de 40 dB. As lajes das duas obras estudadas atendem a estes requisitos, não demonstrando tanta variação entre estas, neste aspecto.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo das obras foi considerado produtivo, pois foi possível conhecer detalhes da execução de lajes zero, que apesar de ser utilizada há alguns anos no país, ainda se mostra uma técnica recente e em fase de teste. Por outro lado, foi possível verificar que ainda há obras que utilizam o sistema construtivo tradicional, destacando alguns pontos que reforçam a idéia de manutenção deste sistema de produção histórico.

Quanto à execução, verifica-se que a grande dificuldade do sistema laje zero é evitar a perda de qualidade durante o processo, e embora as medidas adotadas pareçam apontar para o caminho correto, ainda há o que evoluir, como pôde ser visto na dificuldade de, por exemplo, garantir a posição das armaduras negativas, passagens da tubulação de gás e rebaixos na laje. Cada vez mais são necessários investimentos neste sentido, como a utilização de projetos para a produção, utilização de equipamentos de tecnologia mais avançada, preocupações extras com a concretagem e, principalmente, conscientização por parte dos operários de que controle da qualidade no momento da execução tem influência direta no desempenho do produto final.

Além da vantagem de que a não utilização da etapa de execução de contrapiso gera uma redução significativa no desperdício de materiais e mão de obra no canteiro, foi possível verificar que o prazo da obra fica beneficiado de maneira direta e indireta pela opção de execução de lajes zero, pois, além da eliminação de uma etapa da obra, as soluções adotadas levam à racionalização da produção, acelerando-a durante os processos executivos.

Através da análise de custos podemos tirar algumas conclusões. Inicialmente, verificamos que a não execução de contrapiso indica uma economia financeiramente notável, pois mesmo considerando custos aplicados em cuidados extras com a execução, como projetos, nivelamentos, consumos de concreto diferenciado e outros controles de qualidade, a economia se manteve. Porém, foi possível verificar que a necessidade de uma mão de obra especializada durante a concretagem acabou saindo muito caro, quando comparado à utilização de mão de obra própria. Esta diferença praticamente anulou a economia que se tinha com a não execução do contrapiso. Isto nos leva a concluir que um investimento adequado por parte dos construtores seria o treinamento de mão de obra própria para executar as tarefas de nivelamento e acabamento da laje, porém como esta é feita com aparelho de nível laser e outras máquinas pouco usuais no meio da construção, ainda são poucos os que têm domínio

destes equipamentos. Por isso, as empresas ainda preferem pagar mais, mas com a garantia e responsabilidade de um serviço bem feito. Além disso, a qualidade de execução tem influência direta no custo do sistema, pois problemas como, por exemplo, o não acabamento ou nivelamento da superfície, obriga a execução de uma regularização ou reparo, gerando gastos adicionais.

A principal desvantagem da utilização do sistema laje zero parece ser mesmo o desempenho acústico, pois as lajes são consideravelmente mais esbeltas e não permitem a execução de uma camada de isolamento sob o contrapiso. Com isso, torna-se indispensável uma preocupação maior com o tipo de revestimento de piso a ser colocado sobre estas lajes, pois isto é determinante na redução na transmissão de ruídos para os pavimentos inferiores. Neste caso, no uso de pisos mais macios, como carpetes têxteis, ou então, materiais que possam ser aplicados sobre materiais resilientes, como pisos laminados, pisos de tábuas de madeira maciça, o problema pode ser amenizado, porém se torna crítico na presença de pisos cerâmicos ou pétreos.

Outra desvantagem é a possibilidade de descolamento de placas cerâmicas ou pétreas, intensificada pela ausência da camada de contrapiso que auxilia na absorção da deformação lenta do concreto, principalmente em placas de grandes dimensões. Embora o acompanhamento da obra não tenha abrangido a colocação dos pisos, esta preocupação é justificada pela enorme preocupação da empresa em controlar a deformação da estrutura, conforme demonstrado no trabalho.

Pode-se verificar, então, que o sistema laje zero apresenta muitas vantagens quando bem executado, como redução de consumo de material e mão de obra, redução de tempo e redução de custo (se bem administrado). Por outro lado, sua execução é considerada mais complicada, exigindo cuidados maiores com a qualidade e, como visto na obra B, contratação de uma empresa especializada para a realização de parte do serviço. Além disso, a adoção deste sistema caminha contra a idéia de garantia de desempenho acústico, cada vez mais presente no cenário da construção nacional.

Por fim, pode-se concluir que em obras que trabalham com prazo e orçamentos reduzidos, o sistema laje zero se apresenta como boa alternativa, porém deve-se ter um cuidado redobrado para que não haja perda de qualidade, além da consciencia de que o tipo de revestimento de

piso têm maior importância neste caso, devido à fatores como a menor proteção acústica que este sistema de lajes proporciona, como também riscos de descolamentos.

REFERÊNCIAS

ACÚSTICA. **Revista Técne**. São Paulo. v. 142, janeiro 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7212**: concreto dosado em central. Rio de Janeiro, 1984 .

_____. **NBR 11768**: aditivos para concreto de cimento portland: especificação. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR NM67**: concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 15696**: fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto: projeto, dimensionamento e procedimentos executivos. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 15575**: desempenho para edificações de até cinco pavimentos. Rio de Janeiro, 2010.

BARROS, M. M. S. B. **Recomendações para a Produção de Contrapisos para Edifícios**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1995. Texto Técnico n. 13. Disponível em: <[http://pcc2436.pcc.usp.br/Textostécnicos/RevestimentoHorizontais/TT-13-CONTRAPISO%20\(PCC2436\).pdf](http://pcc2436.pcc.usp.br/Textostécnicos/RevestimentoHorizontais/TT-13-CONTRAPISO%20(PCC2436).pdf)>. Acesso em: 25 maio 2009.

BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Tecnologia de Produção de Contrapisos para Edifícios Habitacionais e Comerciais**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1991. Boletim Técnico n. 44.

BRANCO, F. G.; GODINHO, L.; MASGALOS, R. **Desempenho de Argamassas Leves em Isolamento a Sons de Percussão**. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2008. Disponível em: <<http://www.sea-acustica.es/Coimbra08/id008.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2009.

CICHINELLI, G. Contrapiso. **Revista Equipe de Obra**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 12-17, abril 2005.

FAJERSZTAJN, H.; LANDI, F. R. **Fôrmas para Concreto Armado**: aplicação para o caso do edifício. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1992. Boletim Técnico n. 60. Disponível em: <http://publicacoes.pcc.usp.br/PDF/BTs_Petrece/BT60-%20Fajersztajn.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2009.

FIORIN, E. **Arranjos de Armaduras em Estruturas de Concreto Armado**. 1998, 269 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/pdf/download/1998ME_ElianeFiorin.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2009.

GOBETTI, L. C. W. **Determinação de Momentos e Deformações em Lajes Retangulares Maciças sob Carregamento Linear**. Porto Alegre: UFRGS, 1984.

MOLITERNO, A. **Escoramentos, Cimbramentos, Fôrmas para concreto armado e travessias em estruturas de madeira**. São Paulo: Edgard Blücher, 1989.

MONTALVERNE, A. M. **Ferramentas Computacionais para o Projeto de Lajes em Concreto Armado**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 1998. Disponível em: <<http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/acessoConteudo.php?nrseqoco=6929>>. Acesso em: 15 maio 2009.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997.

NUNES, M. A. A.; DUARTE, M. A. V. Estudo Sobre a Transmissão de Ruído em Lajes de Apartamentos Residenciais. **Horizonte Científico**, v. 3, 2004. Artigo. Disponível em: <http://artigocientifico.uol.com.br/acervo/3/39/tpl_859.html.gz> Acesso em 20 mai. 2009.

PETRUCCI, E. **Concreto de Cimento Portland**. 12. ed. Rio de Janeiro: Globo, 1993.

RANGEL, D. O.; JORGE, M. **A Laje Nível Zero, em Substituição do Contrapiso em Edifícios Residenciais, como Alternativa Viável**. Salvador: Universidade Católica de Salvador, 2009. Disponível em: <<http://info.ucsal.br/banmon/index.html>>⁴. Acesso em: 15 abr. 2009.

SOUZA, A. L. R.; MELHADO, S. B. **Projeto e Execução de Lajes Racionalizadas de Concreto Armado**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2002.

SOUZA, R.; MEKBEKIAN, G. **Qualidade na Aquisição de Materiais e Execução de Obras**. São Paulo: Pini, 1996.

VALE o desempenho. **Revista Técne**. São Paulo. v. 158, maio 2010.

YAGIZI, W. **A técnica de edificar**. 9. ed. São Paulo: Pini: Sinduscon/SP, 2008.

⁴ Acesso ao artigo, estando no site : <http://info.ucsal.br/banmon/index.html>, selecionar <monografias online>, <Artigos diversos> e <A laje nivel zero, em substituição do contrapiso em edificios residenciais, como alternativa viável>