

FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

RODRIGO ANGELO CAMPAGNER VERGILI

UM OLHAR PARA A COBERTURA

**Análise de desempenho do sistema de impermeabilização
da cobertura do edifício Vilanova Artigas da FAU USP**

SÃO PAULO

2019

RODRIGO ANGELO CAMPAGNER VERGILI

UM OLHAR PARA A COBERTURA

**Análise de desempenho do sistema de impermeabilização
da cobertura do edifício Vilanova Artigas da FAU USP**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura.

Orientadora: Profa. Dra. Claudia Terezinha de Andrade Oliveira.

Exemplar revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade do autor e anuência da orientadora. A versão original, em formato digital, ficará arquivada na Biblioteca da Faculdade.

SÃO PAULO

2019

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

E-mail do autor: rodrigovergili@gmail.com

E-mail da orientadora: ctao@usp.br

Vergili, Rodrigo Angelo Campagner

Um olhar para a cobertura: Análise de desempenho do sistema de impermeabilização da cobertura do edifício Vilanova Artigas da FAU USP/ Rodrigo Angelo Campagner Vergili – São Paulo, 2019. 104f. :il.

Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura.

1. Análise de Desempenho. 2. Manutenção predial. 3. Sistemas de Impermeabilização. 4. Edifício Vilanova Artigas. I. Oliveira, Claudia Terezinha de Andrade, orientadora. II. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Rodrigo Angelo Campagner Vergili

UM OLHAR PARA A COBERTURA: Análise de desempenho do sistema de impermeabilização da cobertura do edifício Vilanova Artigas da FAU USP

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura.

Orientadora: Profa. Dra. Claudia Terezinha de Andrade Oliveira.

Aprovado em: _____

Banca Examinadora:

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Simone por ter aceitado fazer parte dessa aventura.

À Cláudia, minha orientadora, pelo apoio incondicional a essa pesquisa.

Aos meus pais pela educação que me proporcionaram. À minha irmã.

À CAPES e à Fundação Getty.

Aos professores e colegas do Grupo de Gestão da Conservação do Edifício Vilanova Artigas, principalmente: Profa. Maria Lúcia Bressan Pinheiro, Prof. Carlos Antonio Barossi, Profa. Beatriz Mugayar Kühl, Renata Campiotto, Carmen Saraiva, Ana Paula Arato Gonçalves e Fábio Gallo.

À Kênia Camargo e demais funcionários do Arquivo da FAU.

Ao Serviço de Infraestrutura da FAU, em especial à arquiteta Eunice Bruno.

Ao Prof. João Roberto Leme Simões, ao funcionário da FAU José Santos e ao engenheiro Carlos Britez pelas entrevistas.

Aos professores das disciplinas do programa de pós-graduação: Profa. Fabiana Lopes de Oliveira e Prof. Norberto Corrêa da Silva Moura.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para esse trabalho.

RESUMO

Este trabalho analisa o desempenho técnico-construtivo do sistema de impermeabilização de poliureia aplicado na cobertura do edifício Vilanova Artigas, sede da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. A pesquisa está inserida no estudo da manutenção preventiva aplicada na conservação de edifícios e está voltada, especificamente, ao estudo de sistemas de impermeabilização aderidos em coberturas planas. Para essa análise foi realizado o levantamento da cronologia construtiva da cobertura objeto de estudo, assim como levantamentos *in loco* na membrana aplicada e análises laboratoriais do material impermeabilizante (poliureia). Foram feitas correlações entre os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais do material poliureia com as condições físicas e ambientais da cobertura do edifício e do sistema de impermeabilização.

Palavras chave: Análise de desempenho; Manutenção predial; Sistemas de impermeabilização; Edifício Vilanova Artigas.

ABSTRACT

This work analyzes the technical-constructive performance of the polyurea waterproofing system applied to the Vilanova Artigas building, home of the Faculty of Architecture and Urbanism of the University of São Paulo. The research is inserted in the study of the preventive maintenance applied in the conservation of buildings and is directed, specifically, to the study of systems of waterproofing adhered in flat roofs. For this analysis was carried out the survey of the constructive chronology of the roof object of study, as well as in situ surveys in the applied membrane and laboratory analyzes of the waterproofing material (polyurea). Correlations were made between the results obtained in the laboratory tests of the polyurea material with the physical and environmental conditions of the building roof and the waterproofing system.

Keywords: Performance analysis; Building maintenance; Waterproofing systems; Vilanova Artigas Building.

LISTA DE IMAGENS

Figura 1 Vista geral do interior do edifício. Marcos Santos. USP Imagens.	2
Figura 2 Cobertura em concreto aparente do edifício Vilanova Artigas. Marcos Santos. USP Imagens.	3
Figura 3 Croquis que ilustram a relação entre alongamento da membrana impermeabilizante e abertura de fissura.	15
Figura 4 Procedimento de medidas e arranjos de ensaios de desempenho de corpos-de-prova com revestimento à base de poliureia, usados na pesquisa de Vasconcelos (2015).	25
Figura 5 Vista aérea do edifício Vilanova Artigas. Jorge Murata, 2007.	29
Figura 6 Detalhe do projeto estrutural do Escritório Técnico Figueiredo Ferraz com o corte das vigas de concreto armado da cobertura do edifício Vilanova Artigas. Folha 20 do Projeto de Estrutura de 20/05/1966. Arquivo Serviço Técnico de Infraestrutura da FAU.	29
Figura 7 Planta da cobertura com representação das vigas da cobertura e de seus módulos (escala gráfica em metros). Arquivo ConservaFAU, modificado pelo autor.	30
Figura 8 Representação do módulo da cobertura em planta (escala gráfica em metros). Elaborado pelo autor.	30
Figura 9 Vista superior da cobertura com destaque para as juntas de dilatação (escala gráfica em metros). Arquivo ConservaFAU modificado pelo autor.	31
Figura 10 Mapa da cobertura com identificação dos módulos (escala gráfica em metros). Elaborado pelo autor.	32
Figura 11 Corte esquemático da estrutura de concreto armado da cobertura, com destaques em cor para as duas etapas de concretagem. Fonte: Folha nº 20 do Projeto de Estrutura de 24/05/1966, modificado pelo autor.	34
Figura 12 Fôrmas de madeira recém retiradas da cobertura. Detalhe para a diferença de cor entre as duas fases de concretagem da cobertura e para as imperfeições na superfície inclinada do concreto aparente. Foto: José Moscardi.	35
Figura 13 Trabalhos realizados pela equipe do Fundo de Construção da Cidade Universitária, 1968. Foto: José Moscardi.	36
Figura 14 Cobertura da FAU USP em 2017. Foto: Rodrigo Vergili.	36
Figura 15 Vista interna da cobertura do edifício recém desformada. Foto: José Moscardi.	37

Figura 16 Vista externa da cobertura do edifício, antes da impermeabilização. Foto José Moscardi.	37
Figura 17 Vista aérea do edifício Vilanova Artigas recém inaugurado, em 1969. Detalhe para a impermeabilização, em branco, que cobria as laterais e topos das vigas invertidas. Foto: João Roberto Leme Simões.	38
Figura 18 Pavimento das salas de aula, 1969. Detalhe para o encontro das divisórias leves à cobertura de concreto armado. Há relatos que os painéis divisórios inaugurados junto com o edifício em 1969 foram substituídos pouco tempo depois, portanto, os painéis retratados na imagem não correspondem às divisórias que sofreram deformação. Foto: José Moscardi.	39
Figura 19 Vista do módulo 10P com acúmulo de lâmina d'água na laje, 1986 (data estimada). Ao fundo, o mastro do antigo sistema de proteção contra descargas atmosféricas. Autor desconhecido. Acervo da Biblioteca da FAU USP.	41
Figura 20 Vista de módulos da cobertura com acúmulo de lâmina d'água na laje, 1986 (data estimada). Detalhe para a tubulação em ferro fundido atravessando a viga invertida. Acervo da Biblioteca da FAU USP.	42
Figura 21 Indicação do Módulo 17P, em planta, onde foi realizado o protótipo de impermeabilização em 1994 (escala gráfica em metros). Elaborado pelo autor.	44
Figura 22 Sistema de escoramento proposto pelo Eng. Prof. Aluizio Fontana Margarido para a cobertura durante a demolição e reconstrução da laje.	46
Figura 23 Esquema da demolição e reconstrução da laje, com necessidade de construção de sóculos para impedir a entrada de água pelo vão da cobertura. Ilustração elaborada pelo autor.	47
Figura 24 Sóculo observado pelo interior da cobertura, no último pavimento do edifício. Foto: Rodrigo Vergili.	47
Figura 25 Planta da cobertura com destaque para as intervenções em etapas, ocorridas entre 1997 e 2000. O módulo 17P, em azul, corresponde ao protótipo aprovado em 1996. Ilustração elaborada pelo autor.	49
Figura 26 Planta da cobertura com destaque para a campanha de intervenções ocorridas em 2002, em vermelho. Ilustração elaborada pelo autor.	50
Figura 27 Vista interna da cobertura com detalhe para as eflorescências de carbonato de cálcio, formadas pela infiltração da água de chuva (Cláudia Oliveira, 2007).	52

Figura 28 Reprodução do relatório da PhD Design onde é possível observar os testemunhos de concreto extraídos da laje e as camadas de regularização e reimpermeabilização da cobertura. PhD Engenharia.....	53
Figura 29 Detalhe do projeto de sobrecobertura elaborado pelo escritório Kurkdjian Fruchtengarten Engenharia. Arquivo Serviço de Infraestrutura da FAU.	55
Figura 30 Detalhe do projeto de sobrecobertura elaborado pelo arquiteto Pedro Paulo de Melo Saraiva. Arquivo Serviço de Infraestrutura da FAU.	56
Figura 31 Vista geral da cobertura após a campanha de intervenção da cobertura entre 2009 e 2010. Foto: Cláudia Oliveira.	57
Figura 32 Vista geral da cobertura após a campanha de intervenção da cobertura entre 2009 e 2010. Foto: Cláudia Oliveira.	57
Figura 33 Aplicação da impermeabilização de poliureia diretamente sobre o substrato de concreto da cobertura. Foto: Rodrigo Vergili	58
Figura 34 Equipamentos, operários e materiais usados na impermeabilização da cobertura do edifício Vilanova Artigas. Acima: ao fundo no Estúdio 1 do edifício tambores de materiais usados no serviço e operários da empresa especializada na aplicação da impermeabilização, destaque do gerador usado para o jateamento (tambores dos materiais usados no serviço e unidade dosadora <i>airless</i> tipo hot spray sob a lona plástica). Abaixo: rótulos dos tambores dos produtos utilizados. Foto: Claudia Oliveira, dezembro 2013.	59
Figura 35 Vista da cobertura após a campanha de recuperação e reimpermeabilização da laje, ocorrida entre 2013 a 2015. Foto: Rodrigo Vergili	60
Figura 36 Reprodução das posições dos ralos e prumadas de águas pluviais conforme projeto hidráulico de 1962, do Escritório de Coordenação Técnica H. M. Lopes, com destaque em hachura para os módulos que não possuem ralos, junto às empenas noroeste, à esquerda, e sudeste, à direita. Elaborado pelo autor.....	62
Figura 37 À direita, detalhe das instalações hidráulicas da cobertura, sobre o pilar P17, de autoria do Escritório de Coordenação Técnica V. M. Lopes, de 1962, com previsão de quatro descidas de águas pluviais. À esquerda, corte do pilar P17, com indicação das respectivas prumadas, elaborado pelo autor.	63
Figura 38 Tipologia das vigas utilizadas para a análise geométrica da estrutura. Elaborado pelo autor.....	64

Figura 39 Corte longitudinal da cobertura do edifício, as vigas coincidentes com os eixos principais estão situadas 1,5cm abaixo das vigas entre eixos (não exibidas no detalhe construtivo).	65
Figura 40 Corte esquemático fora de escala, longitudinal ao edifício, representando a diferença de nível das vigas para prover a inclinação para o escoamento das águas pluviais nas lajes da cobertura. Elaborado pelo autor.	65
Figura 41 Corte transversal do edifício, com detalhe das vigas do segmento intermediário, à esquerda, e a viga do segmento anterior ou posterior, à direita. Reprodução da folha nº 130 do projeto estrutural.	66
Figura 42 Corte esquemático fora de escala, transversal do edifício, representando a diferença de nível das vigas para prover a inclinação para o escoamento das águas pluviais nas lajes da cobertura. Elaborado pelo autor.	66
Figura 43 Planta da cobertura, com representação do levantamento bruto das cotas de fundo das vigas, em escala cromática, obtidas por levantamento topográfico. Autor: Rodrigo Vergili.	68
Figura 44 Planta da cobertura, com representação das cotas nominais de fundo das vigas de acordo com detalhes construtivos do projeto estrutural. Autor: Rodrigo Vergili.	69
Figura 45 Deslocamentos verticais <i>aparentes</i> da cobertura, a partir da comparação dos valores obtidos pelo levantamento topográfico com os valores nominais do projeto estrutural. Autor: Rodrigo Vergili.	70
Figura 46 Planta da cobertura, com representação das cotas de fundo das vigas, em escala cromática, obtidas por levantamento topográfico, supondo sua correspondência com as cotas osso da laje. Em verde estão representadas as regiões com cota superior aos pontos de captação e em vermelho as regiões com cota inferior. Autor: Rodrigo Vergili	72
Figura 47 Planta da cobertura com delimitação das áreas que apresentam comportamento similar quanto ao empoçamento de água de chuva. Autor: Rodrigo Vergili.	73
Figura 48 Vista de módulo intermediário da cobertura, área C, com acúmulo de água de chuva. Foto: Rodrigo Vergili	74
Figura 49 Delaminação do revestimento de poliureia em módulo da cobertura. Autor: Rodrigo Vergili.	75
Figura 50 Fissura identificada na membrana de impermeabilização aplicada na laje. Autor: Rodrigo Vergili	76

Figura 51 Detalhe de protuberâncias no entorno de tubulações aparentes na cobertura.	77
Figura 52 Alteração de cor não uniforme, coincidentes com marcas de fluxo de aplicação	77
Figura 53 Destaque para os módulos onde há ocorrência de fissuras na laje e consequentemente na membrana de poliureia. Nos demais módulos, não foram identificadas	78
Figura 54 Detector de descontinuidade ETC-AC Digital, da marca ETCLASS. Autor: Rodrigo Vergili.	79
Figura 55 A esquerda detalhe ampliado da superfície íntegra do revestimento de base poliureia. A direita, destaque para micro furo, identificado por meio do Detector de Descontinuidade, na membrana do sistema de impermeabilização, com referência de régua escalonada em milímetros. Foto: Rodrigo Vergili.....	80
Figura 56 Rótulos dos produtos fornecidos para a obra (2012 -2015). Fotos: Claudia Oliveira, 2013.....	83
Figura 57 Formato de corte do corpo-de-prova tipo IV (ASTM D638) para ensaio de resistência à tração (esquerda) e formato do corpo-de-prova tipo C (ASTM D624) para o ensaio de resistência ao rasgo.	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sistema obtido a com as formulações dependendo do tipo de resina e extensor de cadeia (a partir de PRIMEAUX II (2004)).	17
Tabela 2 – Critérios mínimos e seus respectivos métodos de ensaio, para sistemas de impermeabilização à base de poliureia aplicados em substratos de concreto, a partir da Tabela B1 do Anexo B da ABNT NBR 16545:2016	18
Tabela 3 – Propriedades das membranas elastoméricas de poliuretano puro (100% sólidos poliuretano) e poliureia pura (100% sólidos poliureia), a partir de Guan (2003)	20
Tabela 4 – Combinações de sistemas de impermeabilização à base de poliureia (pura e híbrida) usadas nos experimentos de Vasconcelos (2015, p. 62, p. 83, p.84)	24
Tabela 5 – Propriedades físico mecânicas da poliureia x policloropreno – polietileno clorossulfonado	81
Tabela 6 – Propriedades da poliureia pura e da poliureia híbrida, de acordo com catálogo técnico do fornecedor.	82
Tabela 7 - Características técnicas da poliureia informada pelo fornecedor, à época da realização da obra no edifício Vilanova Artigas.	84
Tabela 8 – Valores individuais dos corpos-de-prova no ensaio de caracterização da resistência à tração e alongamento da amostra de poliureia. Valores de referência do fornecedor.	86
Tabela 9 – Valores médios dos ensaios realizados nas amostras de controle.	87
Tabela 10 – Resultados dos ensaios das amostras mantidas na condição “submersa”	87
Tabela 11 – Resultados dos ensaios das amostras mantidas na condição “seca”	88
Tabela 12 – Resultados dos ensaios de resistência ao escoamento (MPa).	88
Tabela 13 – Resultados dos ensaios de resistência à tração na ruptura (MPa).	89
Tabela 14 – Resultados dos ensaios de alongamento (%)	91
Tabela 15 – Resultados dos ensaios de resistência ao rasgo (kN/m)	92
Tabela 16 – Cotejamento com resultados apresentados por Vasconcelos (2015) após envelhecimento acelerado das membras de poliureia híbrida e poliureia pura.	95

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Variação da resistência ao escoamento das amostras mantidas em condição submersa e seca, quando comparadas à amostra controle, em %.....	89
Gráfico 2 – Variação da resistência à tração das amostras mantidas em condição submersa e seca, quando comparadas à amostra controle, em %.....	90
Gráfico 3 – Variação da resistência à tração das amostras mantidas em condição submersa e seca, quando comparadas à amostra controle, em %.....	91
Gráfico 4 – Variação da resistência ao rasgo das amostras mantidas em condição submersa e seca, quando comparadas à amostra controle, em %.....	92

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETO DE TRABALHO	2
1.2 JUSTIFICATIVA	4
1.3 OBJETIVO	6
1.4 ABORADEGEM METODOLÓGICA	6
1.4.1 Pesquisa bibliográfica	6
1.4.2 Pesquisa documental.....	7
1.4.3 Levantamento de campo.....	7
1.4.4 Ensaios laboratoriais	8
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	9
2. O DESEMPENHO TÉCNICO-CONSTRUTIVO DOS SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO	10
2.1 CONCEITUAÇÃO	10
2.2 SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO DE LAJE DE COBERTURA	13
2.3 SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO À BASE DE POLIUREIA	16
2.3.1 Aplicações dos sistemas à base de poliureia.....	19
3. CARACTERIZAÇÃO E CRONOLOGIA CONSTRUTIVA DA COBERTURA DO EDIFÍCIO	
VILANOVA ARTIGAS	27
3.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA COBERTURA	28
3.2 DA CONSTRUÇÃO DO EDIFÍCIO ATÉ 1980	33
3.3 INTERVENÇÕES ENTRE 1980 A 1991 – PRIMEIROS PROBLEMAS.....	39
3.4 ESTUDOS E PROTÓTIPOS 1992-1996 – RECONSTRUÇÃO DA LAJE	43
3.5 INTERVENÇÕES ENTRE 1997-2000 – RECONSTRUÇÃO DA LAJE	48
3.6 INTERVENÇÕES ENTRE 2001-2003 – RECONSTRUÇÃO DAS LAJES	49
3.7 ESTUDOS EM 2005-2006	50
3.8 NOVAS PROPOSTAS E INTERVENÇÕES ENTRE 2007 E 2010	55
3.9 INTERVENÇÕES EM 2012-2015 – SISTEMA DE POLIUREIA	58
3.10 CONSIDERAÇÕES.....	60
4. ANÁLISE DO SISTEMA DE COBERTURA DO EDIFÍCIO VILANOVA ARTIGAS	61
4.1 A FUNCIONALIDADE ENQUANTO PROJETO.....	61
4.2 ANÁLISE DOS DESLOCAMENTOS RELATIVOS DA COBERTURA.....	67

4.3	INSPEÇÃO VISUAL NA SUPERFÍCIE	75
4.4	INSPEÇÃO COM “HOLIDAY DETECTOR”	78
5.	ANÁLISES LABORATORIAIS DA MEMBRANA À BASE DE POLIUREIA.....	81
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA POLIUREIA APLICADA NA COBERTURA DO EDIFÍCIO	
	VILANOVA ARTIGAS	82
5.1.1	Análise dos resultados por propriedade do material.....	88
5.2	CONSIDERAÇÕES	93
6.	CONCLUSÃO	96
6.1	QUANTO A COBERTURA DO EDIFÍCIO	96
6.2	QUANTO AO SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO À BASE DE POLIUREIA	97
6.3	SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	98
7.	REFERÊNCIAS.....	99

1. INTRODUÇÃO

O envelhecimento do ambiente construído, principalmente nos grandes centros urbanos, associado às limitações geográficas das cidades e, conseqüentemente, ao crescente custo das construções, demanda novas formas de gestão da manutenção das edificações.

Nessas condições, a compreensão do processo de degradação, de suas causas e dos seus efeitos no desempenho das edificações associada às especificidades de cada projeto, passa a ter um papel fundamental para a proposição de ações que corrijam ou minimizem esses efeitos, tanto para a manutenção das construções existentes, quanto para incorporar melhores soluções nos projetos de futuras edificações.

Os resultados dos estudos do processo de degradação, quando aplicados de forma prática, propiciam um melhor aproveitamento de recursos, sejam materiais ou humanos, e contribuem para uma maior eficiência na gestão da manutenção predial.

Assim, na abordagem da conservação do patrimônio cultural, esses princípios são, ou deveriam ser, referência para a tomada de qualquer decisão.

Dessa forma, quando se aborda a conservação do patrimônio cultural, a eficiência da gestão da manutenção predial se dá quando os valores declarados e que atribuem significado à obra são respeitados, ou seja, valores históricos, estéticos, sociais, científicos, entre outros. Visto que não é possível associar valor monetário aos valores patrimoniais, as ações de manutenção, preferencialmente preventiva, têm impacto decisivo na preservação desses bens culturais de modo a evitar intervenções invasivas, ou afastar a possibilidade de demolição e reconstrução, diante dos impactos não desejáveis de ocorrências extemporâneas ou dos lentos e progressivos processos de degradação.

Dentro do contexto da conservação do patrimônio cultural, a pesquisa que originou esta dissertação integra um projeto de maior abrangência intitulado “Subsídios para um Plano da Gestão da Conservação - Edifício Vilanova Artigas” (PINHEIRO et al, 2017), desenvolvido entre o final de 2015 e final de 2017, como apoio do Programa *Keeping It Modern* da *Getty Foudantion*.

1.1 OBJETO DE TRABALHO

O objeto escolhido para desenvolvimento desse trabalho é a cobertura do edifício Vilanova Artigas, sede da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Localizado na Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira, foi projetado pelos arquitetos João Batista Vilanova Artigas e Carlos Cascaldi em 1961.

Concebido em concreto armado aparente e fazendo uso de grandes vãos, seu projeto é caracterizado por um rico jogo de volumes, conforme pode ser observado na Figura 1 e na Figura 2. Seus pavimentos estão distribuídos em oito meios-níveis, dispostos em dois blocos interligados por rampas e protegidos por uma única cobertura, elemento de destaque do edifício.



Figura 1 Vista geral do interior do edifício. Marcos Santos. USP Imagens.



Figura 2 Cobertura em concreto aparente do edifício Vilanova Artigas. Marcos Santos. USP Imagens.

A importância da cobertura no projeto de Vilanova Artigas extrapola a necessidade física de proteção zenital, o partido arquitetônico adotado no edifício é, posteriormente, incorporado a projetos de outros edifícios escolares dos arquitetos.

Considerado uma referência dentro da arquitetura moderna paulista, o edifício sede da FAU USP foi reconhecido e tombado como patrimônio histórico pelo CONDEPHAAT em 1982, e posteriormente, pelo CONPRESP em 1991, órgãos de preservação estadual e municipal, respectivamente.

Apesar da importância histórica e arquitetônica do edifício sua conservação, com o passar dos anos, ficou aquém tanto das necessidades de preservação do patrimônio arquitetônico, como das necessidades de segurança ocupacional. Segundo Oliveira et al (2007):

“Embora o concreto armado fosse conhecido desde o final do século XIX, a sua aplicação sem revestimento e que se negava a necessidade de qualquer tratamento para colmatar a porosidade superficial daqueles concretos era tida, à época [década de 1960], como uma solução que virtualmente dispensava manutenção. Essa prática potencializou a ocorrência de inúmeras patologias ou não conformidades nos edifícios modernistas no século XX, notadamente aqueles projetados com lajes planas na cobertura e grandes vãos”.

Nessas condições, o invólucro do edifício, composto pelas fachadas e cobertura -, conjunto de elementos mais expostos às intempéries e, conseqüentemente, mais sujeitos à degradação por ação de agentes agressivos, como a água de chuva, umidade e gases presentes na atmosfera - foi o mais afetado pela inexistência de uma política de manutenção adequada ao longo de mais de quatro décadas de uso do edifício

Apesar de terem ocorrido, ao longo dos anos, intervenções paliativas e reformas parciais na cobertura, estas não foram suficientes para mitigar a infiltração de água e conseqüente degradação do concreto, resultando num estado de conservação bastante precário ao fim dos anos 2000.

Naquela época foi proposta nova intervenção para recuperação da impermeabilização da cobertura com a um sistema de impermeabilização à base de poliureia que, apesar de se apresentar, segundo o relatório da consultoria (BARBOSA; PEREIRA, 2006) como uma solução tecnicamente vantajosa e viabilizar a proteção de toda a complexa superfície da cobertura com uma membrana contínua e sem emendas, o desempenho do sistema no Brasil ainda não havia sido suficientemente documentado e o material ainda carecia de normatização nacional.

A impermeabilização da cobertura foi completamente refeita entre os anos de 2013 e 2014 com a utilização do sistema à base de poliureia, no entanto, atualmente já são visualmente perceptíveis algumas anomalias¹ nessa superfície, assim como evidências de infiltração de água da chuva, indicando falhas² na estanqueidade desse sistema.

Nesse contexto, fica evidente o desafio de se trabalhar com um sistema de impermeabilização em coberturas planas, principalmente aquelas em concreto armado de edifícios modernos, que requerem proteção confiável sem alterações substanciais que possam afetar seus valores estéticos e históricos, e que ainda resulte em condições exequíveis de manutenção preventiva.

1.2 JUSTIFICATIVA

¹ **Anomalia:** descaracterização de um elemento ou sistema integrante da OAE (obra de arte especial) em relação à sua concepção original, segundo ABNT NBR9452:2016 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016)

² **Falha:** ocorrência que prejudica a utilização do sistema ou do elemento, resultando em desempenho inferior ao requerido, segundo ABNT NBR 15575-1:2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Este trabalho está inserido no estudo da manutenção preventiva aplicada à conservação de edifícios e está enquadrado nos sistemas de impermeabilização aderidas em coberturas de edificações históricas modernas, neste caso em específico, no edifício Vilanova Artigas.

O estudo do sistema de impermeabilização da cobertura é relevante para a conservação de qualquer edifício, já que a perda de seu desempenho potencializa a deterioração de, praticamente, todos os demais sistemas da edificação.

No edifício Vilanova Artigas, falhas na impermeabilização da cobertura levaram, num primeiro momento, à infiltração de água e à deterioração do concreto aparente na face interna da cobertura; posteriormente, o processo corrosivo nas armaduras da estrutura provocou o deslocamento do concreto, interferindo diretamente no uso do edifício e, indiretamente, na sua segurança e estabilidade estrutural.

Diante do histórico de ocorrências e de intervenções, a escolha do sistema à base de poliureia para a impermeabilização desse edifício, mostrou-se correta, a partir da análise dos consultores. No entanto, por se tratar de um material de uso relativamente recente, cuja normatização no Brasil, enquanto material, ocorreu após a conclusão da obra de impermeabilização do edifício, sua utilização estimula a continuidade de estudos quanto à sua durabilidade e, principalmente, quanto à funcionalidade enquanto sistema de impermeabilização, cujo desempenho é dependente de outras variáveis como condições do substrato, procedimentos de aplicação e procedimentos de manutenção.

Dessa forma, com poucas experiências relatadas, as aplicações de revestimentos à base de poliureia como sistemas de impermeabilização, em situações peculiares como as da cobertura do edifício Vilanova Artigas, requerem o aprofundamento de estudos e documentação detalhada.

Ao mesmo tempo em que, ao completar 50 anos de serviço em 2019, o edifício atinge uma idade de referência no campo teórico do desempenho de edificações, a análise do desempenho do edifício e da própria cobertura é significativa.

Como desdobramento prático do trabalho, esses estudos poderão contribuir para diretrizes de ações de manutenção e de conservação predial no edifício objeto da pesquisa.

1.3 OBJETIVO

O principal objetivo desse trabalho é investigar o comportamento do sistema de impermeabilização à base de poliureia, aplicada à cobertura do edifício Vilanova Artigas, nas diversas condições impostas pela peculiaridade da cobertura do edifício.

1.4 ABORADEGEM METODOLÓGICA

A pesquisa é de natureza aplicada por se tratar de estudo que aborda uma problemática específica e tenciona produzir conhecimento para aplicação prática.

Dado o seu objetivo, a pesquisa se qualifica como descritiva e é apoiada em procedimentos metodológicos focados na pesquisa bibliográfica e documental, levantamento de campo (inspeções e ensaios *in loco*) e em ensaios laboratoriais.

As inspeções, combinadas com os ensaios realizados *in loco* e em laboratório, e apoiadas na pesquisa bibliográfica e na pesquisa documental, visaram à investigação e descrição do comportamento em uso do sistema de impermeabilização, analisando a relação entre as possíveis causas e efeitos das falhas identificadas.

1.4.1 Pesquisa bibliográfica

Consiste na fundamentação teórica sobre os seguintes assuntos: análise de desempenho técnico-construtivo de edificações com foco nos sistemas de impermeabilização aderida em laje de concreto armado; revestimentos à base de poliureia e de poliuretano, manutenção e conservação de edifícios.

1.4.2 Pesquisa documental

Aborda a pesquisa histórica, a cronologia construtiva, o levantamento cadastral e documentações gráficas e fotográficas de projetos e de intervenções ocorridas na cobertura desde a construção do edifício, de forma a permitir uma análise de como esse sistema do edifício foi projetado, construído e alterado.

A pertinência dessa atividade se dá pelo valor histórico do edifício Vilanova Artigas, para o qual a compreensão dos retrospectos de intervenções é necessária para a compreensão do atual estado de conservação.

A abordagem consiste na pesquisa em acervos documentais da USP, principalmente junto ao arquivo institucional da FAU, gerido pelo Serviço de Expediente, e junto ao Serviço Técnico de Infraestrutura, setor responsável pela coordenação de projetos e obras de reformas dos espaços físicos da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

1.4.3 Levantamento de campo

Esse levantamento incluiu inspeções visuais na membrana de impermeabilização aplicada na cobertura, bem como em outros sistemas da cobertura que guardam relações com o sistema de impermeabilização. Os sistemas considerados essenciais para esta análise são: estrutura de concreto armado da cobertura, drenagem de águas pluviais, abastecimento de água e ventilação de esgoto. Estes últimos devido à configuração de seus componentes que atravessam as lajes e que, de certa forma, interferem na integridade do sistema de impermeabilização.

As inspeções foram realizadas com base em procedimentos metodológicos comumente adotados em inspeções prediais. Foram também realizados ensaios complementares em campo para verificar a continuidade da membrana do sistema de impermeabilização e detecção de falhas localizadas, por meio do método normatizado pela ASTM³ (*American Society for Testing and Materials*). Os procedimentos metodológicos para a inspeção e ensaios em campo são detalhados no Capítulo 4.

³ ASTM D4787-13 – *Continuity Verification of Liquid or Sheet Linings Applied to Concrete Substrates* [Verificação de continuidade de revestimentos líquidos ou de camadas aplicados em substratos de concreto].

1.4.4 Ensaios laboratoriais

Foram realizados ensaios laboratoriais em amostras da membrana à base de poliureia moldadas no momento da aplicação da impermeabilização, em 2014 e, portanto, representativas do lote dos produtos à base de poliureia usado na impermeabilização da cobertura do edifício.

Os ensaios tiveram por objetivo detectar possíveis alterações nas propriedades físico-mecânicas do material ao longo do tempo, em condições de exposição similares à da impermeabilização aplicada na cobertura no edifício. Conjugados com as análises feitas a partir da cronologia construtiva, resultados desses ensaios contribuem para a melhor compreensão do estado de conservação do sistema de impermeabilização.

Os procedimentos metodológicos para a confecção e condicionamento dos corpos-de-prova, definição das amostras, realização dos ensaios e análise dos resultados estão detalhadas no Capítulo 5.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O trabalho se inicia com o “Capítulo 1 - Introdução”, seguido de uma estrutura de mais cinco capítulos, encerrando-se com as “Referências Bibliográficas”.

O “Capítulo 2 - Análise de desempenho técnico construtivo de sistemas de impermeabilização aplicada à conservação de edifícios”, conceitua a análise de desempenho e sua importância na área de manutenção e conservação de edificações.

O “Capítulo 3 – Caracterização e cronologia construtiva da cobertura do edifício Vilanova Artigas”, consiste na caracterização do objeto de estudo e na apresentação da cronologia construtiva do sistema de cobertura, a partir do resgate de registros documentais e iconográficos.

No “Capítulo 4 - Análise do sistema da cobertura do edifício Vilanova Artigas”, são apresentados os resultados das inspeções da cobertura, considerando desde a estrutura de concreto armado e demais elementos que interferem diretamente no sistema de impermeabilização. Também são apresentados e analisados os resultados das inspeções na impermeabilização.

O “Capítulo 5 – Análises laboratoriais da membrana à base de poliureia” expõe e analisa os resultados dos ensaios laboratoriais de corpos-de-prova da membrana e suas relações com o processo de degradação do sistema aplicado.

No “Capítulo 6 - Conclusões” é apresentada a análise conjugada dos resultados obtidos seguida das conclusões e sugestões para a continuidade da pesquisa.

2. O DESEMPENHO TÉCNICO-CONSTRUTIVO DOS SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO

Este capítulo tem como objetivo abordar e conceituar os termos da abordagem do desempenho técnico-construtivo, com foco nos sistemas de impermeabilização aderida de cobertura de edificações, considerando os produtos à base de poliureia e poliuretana, e sua aplicação na manutenção e na conservação de edifícios.

2.1 CONCEITUAÇÃO

A norma brasileira de desempenho ABNT⁴ NBR 15.575-1 (2013) define desempenho como “comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas”, sendo este comportamento influenciado diretamente pelas condições de exposição do meio e condições de uso, operação e manutenção. Embora esse conceito esteja, atualmente, consolidado, seu campo de estudo é relativamente recente, sendo que os primeiros debates sobre o assunto, segundo Simões (2004), iniciaram-se na década de 1960, na Europa.

De acordo com Gibson (1982), a abordagem do desempenho na construção civil deve ser entendida como “[...] *the practice of thinking and working in terms of ends rather than means*”. Isso significa que na abordagem do desempenho há a preocupação com as características dos materiais e métodos construtivos que determinam o funcionamento do edifício, e não apenas com a especificação de materiais e métodos construtivos conhecidos cujo comportamento é validado pela prática, característica típica do modelo de projeto e construção com normas prescritivas.

De acordo com Borges (2008), a publicação da norma ISO 6241⁵ *Performance standards in building – Principles for their preparation and factors to be considered* em 1984 foi um marco importante para a aplicação desses conceitos, já que a partir dela foram definidos diversos requisitos técnicos objetivos sobre desempenho de edifícios, que, posteriormente, serviram de referência normativa para a elaboração de diversas outras normas técnicas, inclusive a norma brasileira.

⁴ ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

⁵ ISO 6241:1984 *Performance standards in building – Principles for their preparation and factors to be considered*, substituída pela ISO 19208:2016 .

Neste entendimento, quando analisado sob a perspectiva da manutenção, o edifício deve ser considerado um produto que precisa cumprir funções específicas, condicionadas pelas características ambientais, do entorno e pelas particularidades de uso. Dessa forma, qualquer solução de projeto precisaria de uma avaliação prévia, tecnicamente embasada e com critérios pré-definidos, para determinar se ela atenderá, ou não, às necessidades de serviço. A abordagem do projeto baseado no desempenho requer, portanto, análise rigorosa e método científico para o estudo do funcionamento de edifícios e suas partes quando soluções projetuais não convencionais são usadas, ou quando as soluções projetuais são usadas em condições ainda não testadas.

Quando aplicada a edifícios em uso, esse tipo de abordagem permite a compreensão do funcionamento da edificação e de seus sistemas prediais e, conseqüentemente, a aplicação desse conhecimento na própria manutenção e conservação do edifício. Ainda, essas informações também contribuem de forma complementar tanto para projetos futuros de obras semelhantes, quanto para outras edificações que possuam a mesma solução construtiva.

A abordagem de desempenho incorpora importantes requisitos de desempenho que têm induzido alterações na forma de desenvolvimento de projetos, na execução das obras e nas ações de operação e manutenção das edificações. Considerando que mesmo falhas pontuais na membrana de impermeabilização podem comprometer toda a estanqueidade do sistema, os requisitos que influenciam a durabilidade do sistema *vida útil de projeto (VUP)* e *manutenibilidade*, estão entre os essenciais para a escolha do sistema de impermeabilização.

“Vida Útil de Projeto (VUP): Período estimado de tempo para o qual um sistema é projetado, a fim de atender aos requisitos de desempenho estabelecidos nesta Norma, considerando o atendimento aos requisitos das normas aplicáveis, o estágio do conhecimento no momento do projeto e supondo o atendimento da periodicidade e correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção [...] a vida útil de projeto (VUP) é uma estimativa teórica do tempo que compõe o tempo da vida útil [do sistema] (ABNT NBR 15575-1:2013).

“Manutenibilidade: Grau de facilidade de um sistema, elemento ou componente de ser mantido ou recolocado no estado no qual possa executar

suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas, procedimentos e meios prescritos” (ABNT NBR 15575-1:2013).

A durabilidade de um sistema “[...] depende de muitos fatores que interferem isolada ou conjuntamente, desde a concepção e projeto até os cuidados mais corriqueiros de limpeza, uso e conservação” (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013, p. 194). A publicação da norma brasileira de desempenho o viabilizou a definição de responsabilidades entre os intervenientes do processo de produção e manutenção das edificações, bem como estabeleceu referencial técnico e jurídico sobre a durabilidade e seus requisitos associados, vida útil de projeto e manutenibilidade.

“Por depender de uma série de fenômenos, muitos ainda não perfeitamente explicados pela ciência, não é tarefa simples prever a durabilidade e a vida útil de uma edificação. Isso não exime os meios técnico e empresarial da responsabilidade de perseguir as definições necessárias e aperfeiçoamento dos seus produtos” (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013, p. 194).

A definição da durabilidade de um sistema, portanto, deve considerar três conceitos essenciais:

- os efeitos de uma falha no desempenho do sistema, que geralmente trazem impactos negativos, com consequências e extensão que também afetam outros sistemas da edificação ou outros requisitos de desempenho;
- o nível de facilidade, ou dificuldade, de manutenção preventiva ou corretiva do sistema em caso de falha no desempenho;
- os impactos financeiros, diretos e indiretos, e outros impactos mensuráveis decorrentes da manutenção preventiva ou corretiva da falha, considerando-se inclusive o custo de refazimento ou correção de outros sistemas também afetados pela falha.

A partir dessas abordagens, depreende-se que as considerações sobre a durabilidade, de modo a evitar a obsolescência precoce de certas soluções de projeto com desempenho ainda não validado pela prática, dependem de uma série de definições e decisões tomadas ao

longo do processo de produção e uso da edificação e requer a assunção da responsabilidade solidária entre projetistas, construtores e usuários.

2.2 SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO DE LAJE DE COBERTURA

Os sistemas de impermeabilização estão definidos como um conjunto de produtos e serviços dispostos em camadas ordenadas, destinado a conferir estanqueidade a uma construção, de acordo com a norma brasileira ABNT NBR 9575 (ABNT, 2010) aplicada às edificações e construções em geral.

“Esta Norma estabelece as exigências e recomendações relativas à seleção e projeto de impermeabilização, para que sejam atendidos os requisitos mínimos de proteção da construção contra a passagem de fluidos, bem como os requisitos de salubridade, segurança e conforto do usuário, de forma a ser garantida a estanqueidade dos elementos construtivos que a requeiram” ABNT NBR 9575 (ABNT, 2010).

A norma ABNT NBR 9575:2010 (ABNT, 2010) classifica os sistemas de impermeabilização em três classes, segundo o principal material constituinte da camada impermeabilizante: cimentícios, asfálticos e poliméricos. Os sistemas poliméricos, de interesse a esta pesquisa, são divididos em dois tipos:

- Membrana: formada por camada ou camadas sucessivas moldadas no local, “[...] com características de flexibilidade e com espessura compatível para suportar as movimentações do substrato [...]” (ABNT NBR 9575:2010), podendo ser estruturada com telas intermediárias entre as camadas impermeabilizantes. Esses sistemas podem ser total ou parcialmente aderidos ao substrato;
- Manta: “[...] produto impermeável, pré-fabricado, obtido por processos industriais, tais como calandragem ou extensão; podem ser estruturadas com telas ou não” (ABNT NBR 9575:2010).

O uso dos sistemas poliméricos moldados *in loco*, como as membranas acrílicas, de poliureia e de poliuretano, tem se tornado competitivo, se comparado com outros sistemas de impermeabilização, por fatores como (VASCONCELOS, 2015; POLIURETANO TECNOLOGIA E APLICAÇÕES, 2014):

- viabilidade de revestimento monolítico, sem emendas, em superfícies de geometria complexa;
- não exigência de camada de proteção mecânica para tráfego de pessoas e/ou veículos;
- aderência ao substrato, condição que permite a rápida identificação de pontos de vazamento de água se, eventualmente, houver descontinuidade (falha localizada, fissuração) da membrana impermeabilizante; nos sistemas não aderentes a água que penetra pelas fissuras se espalha sob a manta dificultando a localização da posição da descontinuidade;
- maior produtividade em razão da velocidade de aplicação; essa velocidade, em parte, está vinculada à simplificação dos processos de produção e também ao curto tempo de cura das resinas que permite a liberação do uso da área em poucos dias após a conclusão do serviço.

No entanto, a Figura 3 ilustra duas condições de interesse para a análise do comportamento dos sistemas de impermeabilização aderida.

Tensão de tração em membranas de impermeabilização aderidas

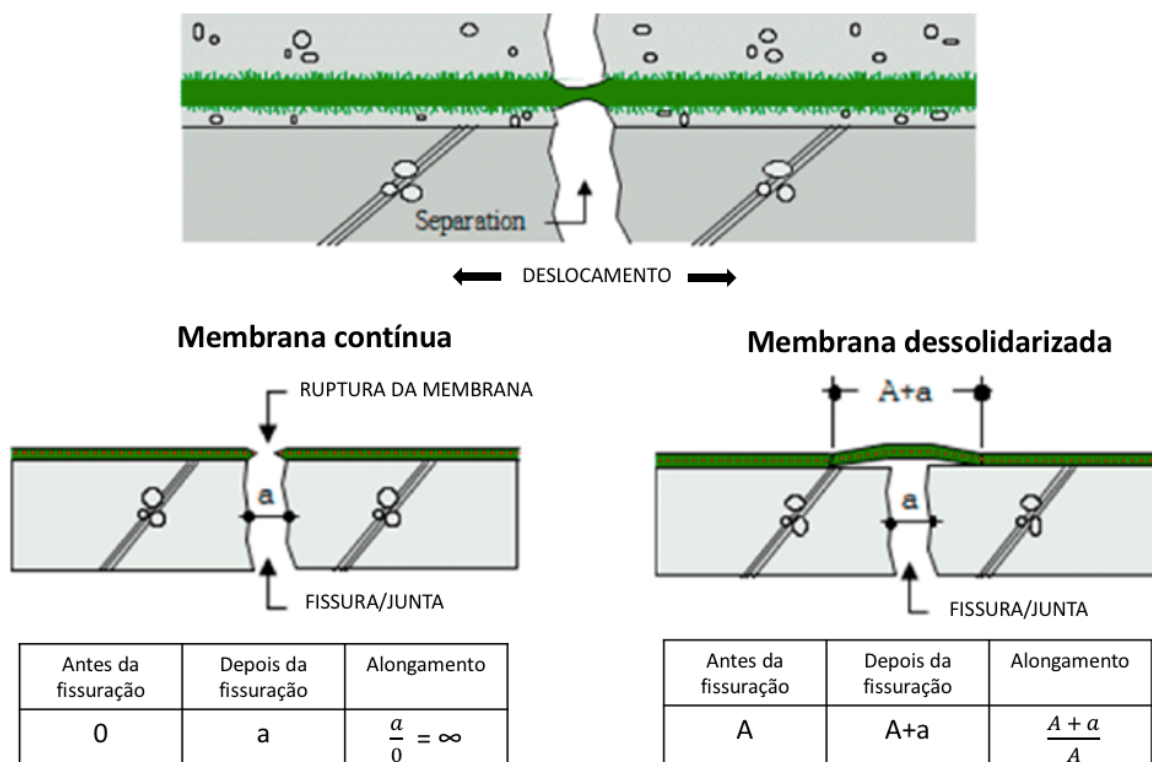


Figura 3 Croquis que ilustram a relação entre alongamento da membrana impermeabilizante e abertura de fissura.

Quando a membrana aderida é aplicada sobre fissura ativa pré-existente no concreto, com o devido detalhamento para dessolidarização, a movimentação da membrana não é restringida e a sua capacidade de acomodação é determinada pelo alongamento do material. Desde que a amplitude de movimentação esteja dentro dos limites de alongamento do material, não há falha na fissura no período de vida útil previsto para o sistema impermeabilizante.

No caso da aplicação da membrana sobre substrato de concreto ainda não fissurado, o módulo de elasticidade da membrana determina a sua acomodação em substrato com pequenas fissuras (como, por exemplo, as resultantes da retração plástica do concreto), com a consequente redução de seção da membrana sobre a fissura. Para fissuras de maior abertura resultantes da movimentação da estrutura (como, por exemplo, movimentação devida ao gradiente térmico) a amplitude de movimento pode atingir o limite de ruptura da membrana, independentemente da capacidade de alongamento do elastômero.

Os requisitos de acomodação das membranas elastoméricas em substratos fissurados, antes ou depois da impermeabilização, devem ser analisados com base no estudo do arranjo

estrutural, nos carregamentos atuantes na estrutura, bem como nas condições ambientais às quais a edificação estará exposta.

Como já destacado, outros requisitos vinculados à vida útil de projeto e manutenibilidade dos sistemas de impermeabilização também são essenciais na seleção das soluções técnicas mais adequadas à proteção da obra. Havendo dúvidas quanto à durabilidade esperada de um determinado sistema, análise de obras já realizadas e que possam ser cotejadas com as condições previsíveis em projeto, bem como a realização de ensaios normatizados de desempenho e *mock ups* são alternativas viáveis para a redução das incertezas associadas às soluções ainda não validadas pela prática.

2.3 SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO À BASE DE POLIUREIA

De acordo com a designação da PDA (Polyurea Development Association⁶) a poliureia é formada por dois componentes principais, misturados no momento da aplicação em proporções iguais:

- isocianato: composto contendo o grupo funcional isocianato $-N=C=O$ que é altamente reativo a grupos funcionais com hidrogênio livre;
- blenda de resinas nas quais o grupo reativo é a amina⁷ ($-NH_2$ ou $-NH-$).

PRIMEAUX II (2004) destaca que a poliureia designa uma tecnologia de impermeabilização e não apenas um produto, uma vez que há uma variedade de formulações e de aditivos que atendem diversos requisitos e níveis de desempenho exigidos nos mais variados projetos. A partir da mistura de isocianato e de uma blenda de resinas, as formulações podem resultar nos compostos apresentados na Tabela 1 conforme o tipo de resina e de extensores de cadeia.

⁶ Polyurea Development Association <<https://www.pda-online.org/definitions>>, informação acessada em 01 dez 2018.

⁷ Amina é o grupo funcional, derivado da amônia (NH_3), no qual um ou mais hidrogênios são substituídos por cadeias carbônicas.

Tabela 1 – Sistema obtido a com as formulações dependendo do tipo de resina e extensor de cadeia (a partir de PRIMEAUX II (2004).

Resina	Extensor de cadeia	Sistema
Polietermanina	Amina	Poliureia
Poliol Poliéter	Amina	Poliureia/Poliuretano
Polieteramina	Glicol	Poliuretano/Poliureia
Poliol Poliéter	Glicol	Poliuretano

O termo polioli abrange uma grande variedade de compostos contendo grupos hidroxilas (OH-) capazes de reagir com os isocianatos para formar poliuretanos (PU) (CLEMENTE et al, 2014). “[...] É um termo simplificado para álcoois polifuncionais. Existem duas categorias principais: polioli poliésteres e polioli poliéteres” (ABNT NBR 16545:2016).

Embora a norma brasileira ABNT NBR 16545:2016 esteja voltada ao sistema de impermeabilização de poliureia e ao sistema híbrido de poliureia/poliuretano, há apenas critérios mínimos de desempenho a serem atendidos pelos sistemas, não havendo diferenciação dos critérios dependendo da formulação dos produtos aplicados.

“**sistema poliureia:** resultado da reação de um componente isocianato que pode ser de natureza aromática ou alifática e um componente composto de resinas, aditivos, extensores de cadeia e pigmentos e sempre uma amina terminada” (ABNT NBR 16545:2016).

“**sistema híbrido de poliureia/poliuretano:** sistema (revestimento) híbrido de poliureia/poliuretano é o resultado da reação entre um componente de isocianato e um componente composto por misturas de resinas com terminações de amina e matérias-primas, com terminação de hidroxila” (ABNT NBR 16545:2016).

Os critérios mínimos e os respectivos ensaios de desempenho das membranas à base de poliureia aplicada em substratos de concreto, determinados pela norma brasileira ABNT NBR 16545:2016, e de interesse a esta pesquisa, constam na Tabela 2.

Tabela 2 – Critérios mínimos e seus respectivos métodos de ensaio, para sistemas de impermeabilização à base de poliureia aplicados em substratos de concreto, a partir da Tabela B1 do Anexo B da ABNT NBR 16545:2016

Exposição do ensaio	Nível de desempenho	Tempo de exposição	Método ASTM	Critério mínimo
Envelhecimento	Nível 1	2000 h	G154 Ciclo 3	Pelos ensaios laboratoriais listados a seguir, nesta tabela, nenhuma das propriedades deve apresentar variação superior a 25% com relação ao critério mínimo, após o período de exposição indicado
	Nível 2	3000 h		
PROPRIEDADES ENSAIADAS				
Dureza (instrumento tipo M, espessura amostra 1.270 ±381µm)			D2240 Shore A ou Shore D ^a	75A ou 40D, o menor dos dois valores
Resistência à tração, espessura amostra 1.270 ±381µm			D638 Tipo IV ou D412 Die C ^b	10 MPa
Resistência ao rasgamento, espessura amostra 1.270 ±381µm			D624 Die C	35 kN/m
Alongamento, espessura amostra 1.270 ±381µm			D638 Tipo IV ou D412 Die C ^b	Mínimo de 200% para as aplicações em substrato de concreto onde pode ocorrer fissuração
Adesão			D7234	Média de três ensaios igual ou superior a 2,0MPa, com igual ou maior do que 50% de falha coesiva do substrato em cada uma das três repetições

Notas

a ASTM D2240 (dureza Shore) normalmente requer espessura mínima da amostra de 600 µm, para o equipamento de ensaio Tipo M (usado geralmente para Shore A d Shore D) as amostras devem ter, no mínimo, 1.250 µm de espessura

b ASTM D638 (Tipo IV) e ASTM D412 (Die C), normalmente requerem espessuras das amostras de ensaio entre 3.200 µm e 4.000 µm

Especialistas (POLIURETANO TECNOLOGIA E APLICAÇÕES, 2014) apontam que, artificialmente, o mercado brasileiro classifica a poliureia em duas categorias: pura e híbrida, mas essa classificação deve ser evitada uma vez que, praticamente, não há produtos nacionais com 100% de ligações ureia; o uretano está presente, em maior ou menor teor, em todas as formulações comerciais.

Ao invés de especificar produtos à base de poliureia pura ou híbrida, os especialistas indicam que o produto deve ser especificado conforme as necessidades do projeto, de acordo com as exigências de resistência mecânica, resistência ao intemperismo, resistência a produtos químicos, entre outros requisitos técnicos e estéticos. Os produtos comercialmente disponíveis no mercado com elevado mais ligações ureicas, em relação ao de ligações uretânicas, são consideradas poliureias puras. Matérias primas para a produção das poliuretanas são sintetizadas no Brasil, tais como o isocianato e polióis; no entanto, as polieterminas ainda são

importadas, afirmam especialistas. Em razão da importação de materiais primas, a diferença de preço entre as formulações puras e híbridas, segundo especialistas, por chegar a 70% (POLIURETANO TECNOLOGIA E APLICAÇÕES, 2014).

O fato de pequenas alterações na formulação dos produtos modificarem as propriedades e o desempenho da membrana, aliado à recente normatização dos sistemas à base de poliureia, reforça a necessidade dos projetistas trabalharem em proximidade e colaboração com a indústria a fim de especificar soluções técnicas (materiais e serviços) compatíveis com a disponibilidade de produtos e de mão-de-obra especializada no mercado.

2.3.1 Aplicações dos sistemas à base de poliureia

De acordo com relato de Primeaux II (2004) na indústria química a poliureia começou a ser produzida em 1948, momento em que foram analisadas, comparativamente, propriedades térmicas de vários polímeros (poliéster, polietileno, poliuretano, poliamida e poliureia). A poliureia foi identificada como o material com boas propriedades térmicas e o ponto de amolecimento mais elevado. Na construção civil, como sistema impermeabilizante, começou a ser utilizada ainda na década de 1970, porém com resultados não satisfatórios. A primeira aplicação comercial de poliureia bicomponente, de cura rápida, para a produção de membrana elastomérica impermeabilizante foi feita em 1989. A partir de 2000 a PDA (Polyurea Development Association) publicou a primeira conceituação dos sistemas de poliureia para impermeabilização e proteção de superfícies, dando início a uma série de ações voltadas à difusão, pesquisa e desenvolvimento para estimular o uso desses sistemas.

Sendo bastante difundido como revestimento de proteção e como sistema de impermeabilização nos mercados dos Estados Unidos, Europa e Ásia, a poliureia ainda é pouco utilizada no Brasil. Usos mais recentes têm indicado vantagens no uso da membrana de poliureia pura na proteção de concreto armado como, por exemplo, sistema de impermeabilização e também de proteção contra corrosão de obras de arte em concreto armado da ferrovia de alta velocidade Beijing-Shanghai, uma das maiores e mais importantes obras de infraestrutura da China (HAUNG et al, 2012).

Algumas das principais propriedades da poliureia justificam a sua especificação como sistemas de impermeabilização e de proteção de superfícies em condições críticas de aplicação

e uso (REMONDINI, 2012; PRIMEAUX II, 2004; GUAN, 2003). Dependendo da sua formulação, as propriedades podem variar, mas em geral as seguintes propriedades são destacadas:

- cura rápida e resistência a umidade e uma ampla faixa de temperatura durante a aplicação: o isocianato (aromático ou alifático) reage quase que imediatamente com a blenda de aminas, e mesmo sem a presença de catalisador a cura ocorre em segundos não sofrendo influência das condições ambientais, isso explica porque a poliureia pode ser aplicada em locais com elevada umidade ambiental;
- a elevada produtividade na aplicação da membrana também é resultante da cura rápida, como também a resultante da facilidade de aplicação, via técnica de aspersão, se feita por operador capacitado e treinado; a facilidade de aplicação também é observável no acabamento dos detalhes construtivos geralmente nas interfaces entre a laje/substrato e os componentes das instalações hidráulicas, elétricas etc.;
- boa estabilidade de cor quando exposta à radiação ultravioleta dependendo do tipo de isocianato da reação; as cadeias alifáticas propiciam a obtenção de poliureias estáveis, além de apresentar menor perda de propriedades mecânicas; cadeias aromáticas resultam na tendência ao amarelecimento após dias ou meses de exposição à radiação ultravioleta;
- elevada resistência à abrasão e a produtos químicos;
- não liberação de compostos orgânicos voláteis (COV), condição que viabiliza a sua aplicação em projetos/obras com rigoroso controle de liberação de voláteis.

A Tabela 3 apresenta propriedades dos elastômeros de poliuretano e poliureia.

Tabela 3 – Propriedades das membranas elastoméricas de poliuretano puro (100% sólidos poliuretano) e poliureia pura (100% sólidos poliureia), a partir de Guan (2003)

Propriedade	100% sólidos Poliuretano	100% sólidos Poliureia
Resistência à tração (MPa)	de 6,9 a 13,8	de 7,6 a 27,6
Dureza Shore	de A20 a D65	de A20 a D65
Alongamento (%)	de 50 a 1.500%	de 20 a 1.000%
Resistência ao rasgo (kN/m)	de 61,3 a 122,6	de 43,8 a 105,1
Absorção de água (ASTM 570, imersão em água por 48 horas a 50°C)	de 5 a 15%	de 5 a 16%
Adesão ao concreto, sem primer (MPa)	> 2,4 com ruptura no concreto	> 2,4 com ruptura no concreto

A aplicação de poliureia é feita pela técnica denominada *hot spray*, que requer alta pressão (2000 psi/~14 MPa) e temperatura em geral de 70 ou 80°C (VASCONCELOS, 2015, REMOMDINI, 2012). Os dois componentes, isocianato e mistura de resinas, são dosados, a partir das embalagens originais e aquecidos enquanto transitam, sob pressão, nas mangueiras até a pistola de projeção onde é feita a mistura dos componentes na proporção 1:1.

O controle da temperatura é condição essencial para a formação da membrana com as propriedades desejadas. Guan (2003) destaca que membranas de poliureia aplicadas em temperaturas de 65°C, 70 °C e 80°C tem propriedades distintas, e que as propriedades de interesse ao sistema de proteção melhoram com o aumento da temperatura. Como o controle da temperatura nessa faixa não é tarefa fácil, uma opção, como salienta Guan (2003), é a redução da viscosidade do isocianato, uma vez que a temperatura e a viscosidade dos componentes são parâmetros determinantes da qualidade da membrana, garantindo a mistura dos dois componentes da proporção 1:1 e a fluidez necessária à formação da membrana contínua (em superfícies horizontais e verticais), de espessura constante e sem anomalias. Guan (2003) pontua os defeitos comumente associados à falta de controle desses dois parâmetros de aplicação da poliureia: variação cromática, formação de pequenos orifícios (*pinholes*) e/ou bolhas (*blisters*), variação no tempo de cura, variação na espessura da membrana, textura áspera (*aspecto de casca de laranja*).

O controle da temperatura do substrato e da temperatura de orvalho são, como destaca Primeaux II (2004), parâmetros decisivos para o controle das propriedades do sistema de proteção, apesar da temperatura e da umidade ambientes não terem impacto significativo na reação de síntese e na cura da poliureia. Primeaux II (2004) indica que, de acordo com especificações de fabricantes, a temperatura do substrato deve igual ou superior a 5°C acima do ponto de orvalho. A norma brasileira ABNT NBR 16545:2016 recomenda que essa diferença seja de mínimo, 3°C. Caso essa condição não seja satisfeita, a água eventualmente condensada no substrato dificulta a adesão da poliureia com impactos negativos no seu desempenho.

O preparo do substrato é uma etapa igualmente importante. A partir de Vasconcelos (2015, p. 51) e das recomendações da ABNT NBR 16545:2016, são relacionados os principais cuidados no preparo da laje de concreto que vai receber a membrana de poliureia:

- a superfície da laje de ter declividade de, no mínimo, 1% para assegurar a drenagem das águas de chuva e/ou lavagem; se necessário fazer contrapiso de argamassa

(cimento e areia) para estabelecer um plano de drenagem com a declividade recomendada evitando locais de acúmulo de água;

- a superfície da laje deve estar lisa, sem protuberâncias ou irregularidades que possam perfurar a membrana; para obtenção da superfície lisa o concreto deve ser polido, mas sem acabamento vitrificado;
- todos os elementos dos sistemas de instalações hidráulicas (drenagem, abastecimento de água, esgoto etc.), elétricas (sistema de proteção contra descargas atmosféricas O SPDA, baixa tensão etc.) e demais instalações que tenham interfaces com a impermeabilização devem ser fixados no substrato para a poliureia seja aplicada no encontro desses elementos com a laje; se necessário as interfaces entre elementos e laje devem ser preenchidos com mástique à base de poliuretano;
- as fissuras pré-existentes devem ser reparadas, geralmente sendo preenchidas com mástique à base poliuretano e seguindo orientações do projeto e/ou recomendações do fabricante dos produtos de impermeabilização considerando, se necessária, a dessolidarização das fissuras da membrana aplicada;
- o substrato deve estar livre de poeira, sujeira, graxa, óleo, contaminantes, nata de cimento e concreto não aderido;
- salvo disposição contrária do fabricante, a aplicação da poliureia deve ser antecedida pela aplicação de *primer* (normalmente à base de epóxi); as condições de cura e controle de aplicação do primer devem ser observadas de acordo com especificações de projeto ou orientações dos fabricantes dos produtos.

As características dos equipamentos, capacitação e treinamento da mão-de-obra, preparo de superfície e procedimentos de aplicação da poliureia são determinantes do desempenho da membrana em uso. Tais parâmetros de moldagem, aliados à escala dos equipamentos, não viabiliza mobilizações para aplicações de pequena escala ou reparos de sistemas em uso; as aplicações de poliureia a quente são viáveis apenas para grandes superfícies. Desta forma a moldagem de corpos de prova e *mock ups*, que reproduzam as reais condições de aplicação, é viável apenas durante a execução dos serviços em canteiro de obras.

Atualmente no Brasil revestimentos à base de poliureia são muito usados como barreiras de proteção de superfícies metálicas (aço carbono) como meio de proteção contra corrosão, abrasão e ambientes químicos agressivos, especialmente nos segmentos da indústria

da mineração⁸ (em caçambas de caminhões, vagões de trem, tanques de aço, correias transportadoras, estruturas de contenção secundária), na indústria petroquímica, indústria naval. Na construção civil, o uso crescente das membranas à base de poliureia tem sido observado na produção de pisos industriais, de estacionamentos, na impermeabilização de lajes e em revestimentos arquitetônicos (POLIURETANO TECNOLOGIA E APLICAÇÕES, 2014).

Apesar da atuação das associações internacionais⁹ no desenvolvimento de normas, recomendações técnicas, e na melhoria contínua das aplicações dos sistemas à base de poliureia, há ainda carência de experiências relatadas sobre o uso de poliureia como sistema de impermeabilização de coberturas de concreto armado.

No Brasil, entre os poucos trabalhos divulgados sobre o tema destaca-se a dissertação de mestrado de Vasconcelos (2015), que apresenta um completo quadro comparativo entre os ensaios de caracterização e desempenho de diversos sistemas de impermeabilização de lajes de concreto sujeitas ao tráfego, entre eles membranas asfálticas e membranas poliméricas aderidas de acrílico, poliureia pura, poliureia híbrida e de poliuretano.

Entre os resultados da dissertação de Vasconcelos (2015) que são interesse para esta pesquisa, destacam-se as poliureias de alto alongamento, aplicadas a quente, puras e híbridas, com a descrição dos sistemas apresentada na Tabela 4.

⁸ Informação acessada em 05 fev 2019 em <<https://revistamineros.com.br/revestimento-de-poliureia-100-impermeavel/>>.

⁹ Polyurea Development Association - PDA <<https://www.pda-online.org/>>; Polyurea Development Association Europe – PDA Europe <<http://pda-europe.org/>>; The Society for Protective Coating - SSPC <<https://www.sspc.org>>.

Tabela 4 – Combinações de sistemas de impermeabilização à base de poliureia (pura e híbrida) usadas nos experimentos de Vasconcelos (2015, p. 62, p. 83, p.84)

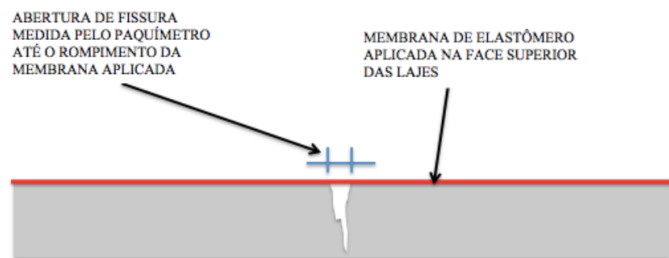
Material principal do sistema	Código da pesquisa	Camada do sistema impermeabilizante (membra aplicada aos substratos – prisma e laje)	Espessura desejada para o estudo (mm)	Alongamento da membrana livre (%)	Resistência à tração da membrana livre (MPa)	Resistência ao rasgo da membrana livre (kN/mm)
Poliureia híbrida	1A	Primer + poliureia 1	2	338*	7,12*	55,3*
				424**	4,79**	30,1**
	1B	Poliureia 1 aplicada sobre concreto sem primer	2			
Poliureia pura	2A	Primer + poliureia 2	2	383*	7,01*	67,6*
				471**	6,82**	5,72**
	2B	Poliureia 2 aplicada sobre concreto sem primer	2			

Notas: * idade 30 ou 40 dias; ** 500 horas em exposição a lâmpadas de radiação ultravioleta (UV).

Para avaliar o desempenho das membras de impermeabilização, Vasconcelos (2015) realizou ensaios de flexão em lajes e prismas, ilustrados na Figura 4, buscando correlacionar as propriedades das membranas (resistência à tração, resistência ao rasgo) com a capacidade de acomodação da abertura de fissuras sem ruptura da membra. As configurações dos ensaios, tencionaram estabelecer a correspondência com o comportamento real das membranas aplicadas sobre lajes de concreto em serviço. Cabe destacar que nos arranjos de ensaio apresentados, a fissura surge após a aplicação da membrana de impermeabilização.



(b) Arranjo de ensaio de tração na flexão de laje de concreto armado (dimensões 200x45x7 cm) com sistema de impermeabilização elastomérica aderida (VASCONCELOS, 2015, p.77)



(a) Croqui ilustrativo do procedimento de medição da abertura da fissura na lateral da lajes e prismas, com sistemas de impermeabilização elastomérica aderida, durante o ensaio de tração na flexão (VASCONCELOS, 2015, p. 76)



(c) Arranjo do ensaio de tração na flexão do prisma de concreto (dimensões 16x4x2 cm) com sistema de impermeabilização elastomérica aderida (VASCONCELOS, 2015, p.78)

Figura 4 Procedimento de medidas e arranjos de ensaios de desempenho de corpos-de-prova com revestimento à base de poliureia, usados na pesquisa de Vasconcelos (2015).

Ao contrário das outras membranas ensaiadas, Vasconcelos (2015 p.130 e p.131) observou que apenas para as membranas de poliureia aplicadas a quente (híbrida 1A ou pura 2A e aplicadas sobre primer) há uma tendência de correlação entre o alongamento e a abertura de fissura no momento da ruptura das membranas nos ensaios de flexão dos prismas e das lajes.

Vasconcelos (2015) identificou que para os ensaios feitos na laje a poliureia pura aplicada a quente sobre primer (2A) foi a única que não se rompeu nos ensaios de flexão do

prisma e da laje, resistindo a abertura de fissuras da ordem de 10mm no ensaio com as lajes e entre 15 e 20mm no ensaio com os prismas. Como a espessura das membranas em ambos os sistemas é, supostamente, a mesma (cerca de 2mm), a maior capacidade de deformação e o não rompimento da membrana da poliureia pura (nas condições de ensaio) podem estar vinculados a outras propriedades, como o módulo de deformação, conforme discussão anterior feita neste capítulo (ver Figura 3).

Quanto ao ensaio comparativo de desempenho das membranas aplicadas sobre lajes e prismas, o autor discute que a maior abertura de fissuras nos prismas se deve ao fato do “comportamento frágil e elástico” do prisma permitindo a deformação da membrana como se ela “estivesse sendo submetida a um ensaio de alongamento por tração direta” (VASCONCELOS 2015, p. 132). Para as lajes de concreto armado o autor concluiu que “devido ao comportamento elasto-plástico do concreto armado existe um situação intermediária [...]” “[...] a membrana aderida ao substrato [...] começa a se deformar em toda a sua extensão [...]” e que somente após a ruptura do concreto é observável o fenômeno de descolamento da membrana e o seu subsequente alongamento (VASCONCELOS 2015, p. 133). O autor concluiu que a hipótese formulada para a explicação a acomodação de fissuras requiere melhor avaliação por meio de modelagem estrutural por método de elementos finitos. O autor complementa que em condições reais de uso, as solicitações impostas à membrana, dependendo da distribuição de tensões e deformações nas lajes, devem ser investigadas, considerando a fadiga da membrana associada à variação das propriedades decorrente do envelhecimento natural.

Os resultados inéditos de Vasconcelos (2015) sugerem que, nas condições definidas no programa experimental da sua pesquisa, a membrana de poliureia pura, aplicada a quente sobre primer e com espessura sugerida de 2mm, é o sistema que melhor respondeu aos requisitos de desempenho de membranas aderidas ao substratos de concreto, especialmente quanto à capacidade de acomodação de fissuras surgidas após aplicação da membrana.

3. CARACTERIZAÇÃO E CRONOLOGIA CONSTRUTIVA DA COBERTURA DO EDIFÍCIO VILANOVA ARTIGAS

Esse capítulo aborda a apresentação da cobertura do edifício Vilanova Artigas e sua cronologia construtiva. Para tratar das intervenções ocorridas na cobertura, foram analisados o histórico de intervenções e ocorrências desde a construção do edifício até a última obra de recuperação estrutural, concluída em 2015.

A pertinência dessa atividade se dá pelo valor histórico e cultural do edifício Vilanova Artigas, onde a compreensão desses retrospectos é necessária para a proposição de futuras ações de manutenção e conservação.

Essa pesquisa consistiu no levantamento de toda a documentação existente acerca da cobertura do edifício, principalmente junto aos arquivos documentais da Seção de Expediente e da Seção de Infraestrutura da FAU. Os trabalhos acadêmicos de Contier (2015) e Gianecchini (2009), que abordam a construção e a ocupação do edifício, também auxiliaram na fundamentação cronológica da cobertura.

Desde a construção do edifício e, posteriormente, na manutenção e nas intervenções da cobertura, a responsabilidade de cada obra ficou a cargo de diferentes instituições da Universidade de São Paulo, conforme a época, o interesse político e a disponibilidade de recursos financeiros.

Apesar do edifício ter sido construído sob tutela do Fundo de Construção da Cidade Universitária “Armando de Salles Oliveira” (FCCUASO), ligado inicialmente à Reitoria da Universidade, as obras de manutenção rotineira do edifício eram de responsabilidade da própria FAU-USP, com equipe de manutenção predial e orçamentos próprios. Obras de reparos, manutenção especializada ou de intervenção de maior porte eram realizadas, quando não terceirizadas, pela própria equipe do Fundo, designado como FUNDUSP a partir de 1969.

De acordo com registros, até a década de 1990 a maioria das intervenções ocorridas na cobertura foi realizada pela própria equipe de obras do FUNDUSP, por vezes com auxílio de equipes de trabalho da Prefeitura do Campus. Em 1994, a FAU assumiu a gestão das intervenções no edifício, contratando externamente as obras necessárias, e em 2004, formalizou a criação de setor específico para gerenciamento dessas intervenções, o GEEF -

Grupo Executivo de Gestão dos Espaços Físicos da FAU, atualmente Serviço Técnico de Infraestrutura.

Diante desse retrospecto, os documentos relativos às intervenções no edifício da FAU se encontram dispersos em diferentes unidades da USP, conforme o executante do serviço, dentre eles: a Reitoria da Universidade de São Paulo, a FAU-USP (Faculdade de Arquitetura e Urbanismo), a SEF-USP (Superintendência dos Espaços Físicos, antigo FUNDUSP), a Prefeitura do Campus e o CPC-USP (Centro de Preservação Cultural).

Verificou-se, contudo, que cada unidade possui uma política de arquivamento própria e que documentos mais antigos, principalmente da SEF-USP, responsável pelas grandes obras de manutenção da cobertura até os anos de 1990, acabaram eliminados sob orientação da Tabela de Temporalidade de Documentos da Universidade de São Paulo¹⁰.

Durante a consulta para a elaboração da cronologia de intervenções, não foi localizado nenhum registro de obras realizadas na cobertura na década de 1970, dessa forma, eventuais intervenções tiveram seus documentos eliminados ou simplesmente não ocorreram. Já para a década de 1980, apesar de terem sido localizados registros na base de dados informatizada, a maioria dos processos foi eliminada. Por fim, para as décadas de 1990 em diante, os documentos continuam disponíveis para consulta em seus respectivos arquivos.

3.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA COBERTURA

A cobertura do edifício Vilanova Artigas é delimitada pelas próprias fachadas do edifício, possuindo 66m x 110m (dimensões nominais entre eixos do projeto estrutural). Seu sistema estrutural é formado por vigas invertidas de 1,9m de altura por 0,4m de largura, localizadas a cada 5,5m na longitudinal e 22,0m na transversal, sendo que as vigas periféricas são coincidentes com as empenas de concreto das fachadas, conforme observado na vista aérea do edifício na Figura 5.

¹⁰ A Tabela de Temporalidade de Documentos da Universidade de São Paulo estabelece prazos para eliminação de documentos administrativos da Universidade de São Paulo e a eliminação é de iniciativa de cada unidade.



Figura 5 Vista aérea do edifício Vilanova Artigas. Jorge Murata, 2007.

Essa estrutura principal é complementada por vigas secundárias, de 48,5cm de altura, em malha de 2,75 x 2,75m, conformando uma laje nervurada e vazada, em forma de “A” invertido, constituída por caixões-perdidos, cujo detalhe construtivo encontra-se ilustrado na Figura 6. A laje propriamente dita possui 8cm de espessura.

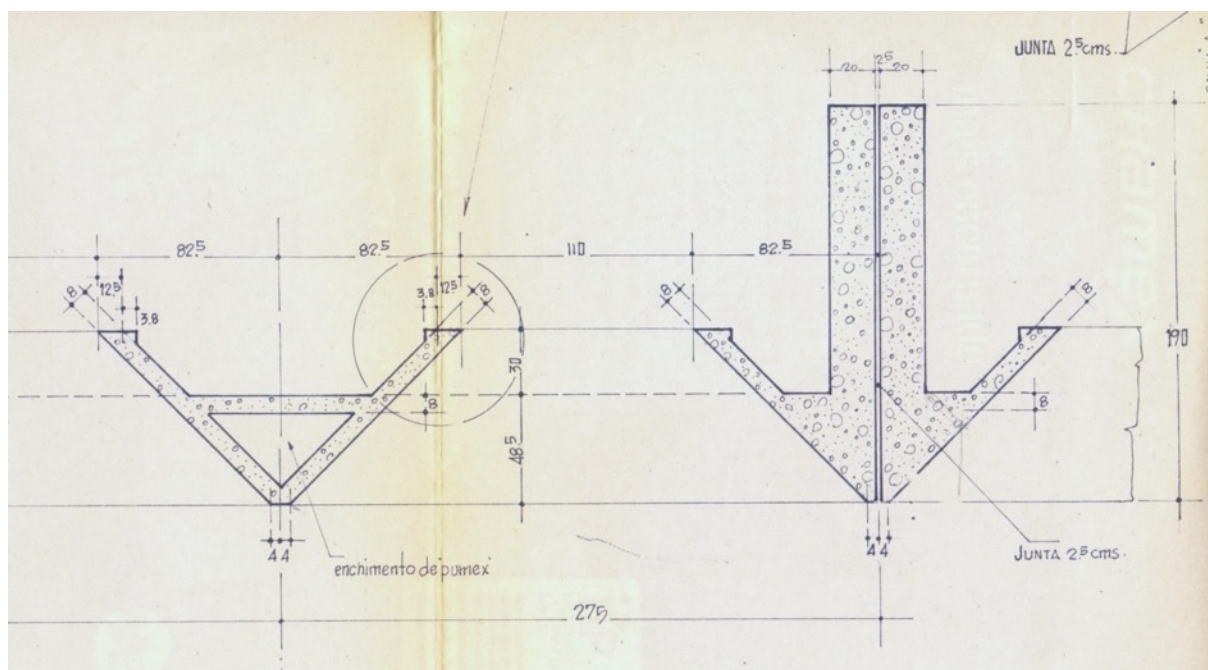


Figura 6 Detalhe do projeto estrutural do Escritório Técnico Figueiredo Ferraz com o corte das vigas de concreto armado da cobertura do edifício Vilanova Artigas. Folha 20 do Projeto de Estrutura de 20/05/1966. Arquivo Serviço Técnico de Infraestrutura da FAU.

As vigas de secção plena encontram-se apoiadas, alternadamente, em 18 pilares internos e, perifericamente, são parte integrante das empenas da fachada. Considera-se, para fins de identificação, cada espaço delimitado por vigas invertidas como um módulo da cobertura. Dessa forma, são 60 módulos distribuídos igualmente em três faixas: anterior (ou frontal), intermediária e posterior, como é possível observar na Figura 7. Em cada módulo, há 16 aberturas zenitais de 1,1 x 1,1m, cobertas por domos translúcidos, Figura 8.

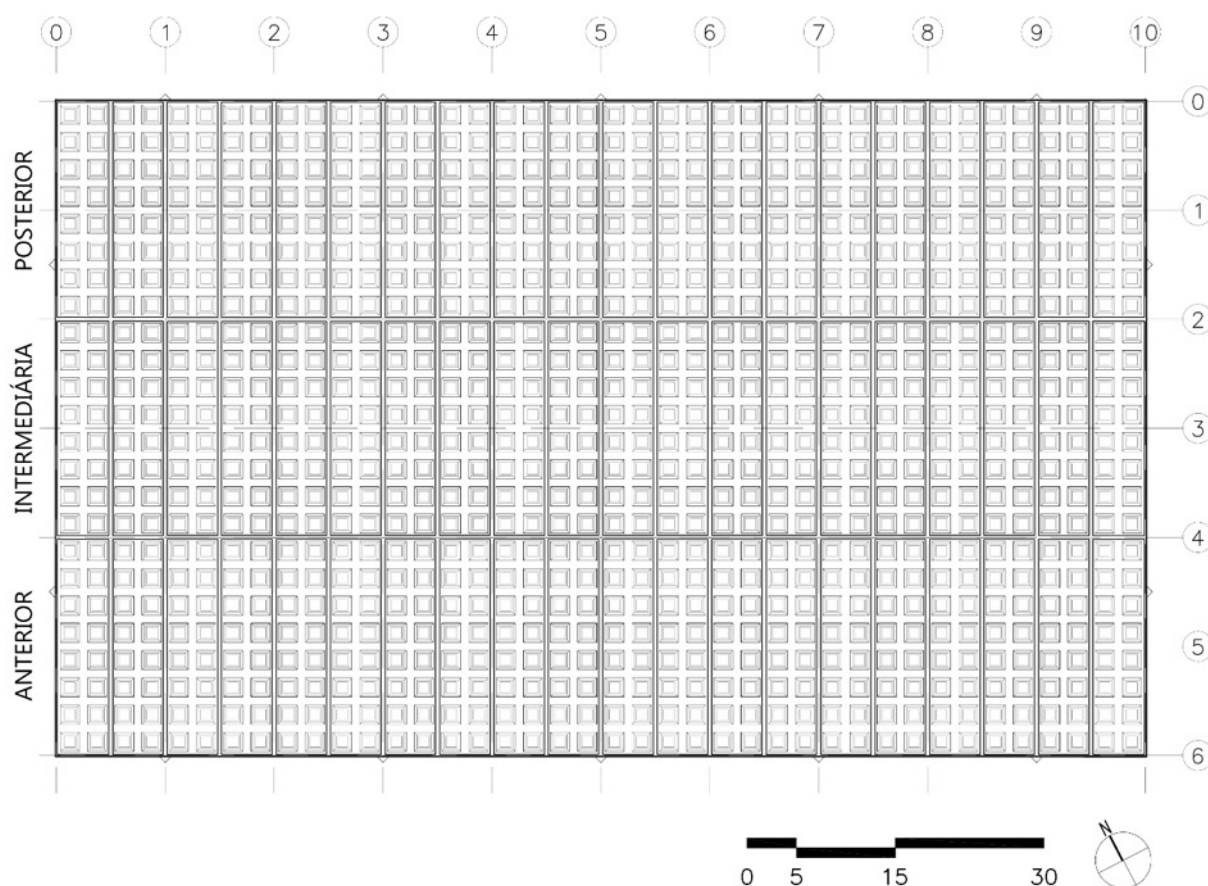


Figura 7 Planta da cobertura com representação das vigas da cobertura e de seus módulos (escala gráfica em metros). Arquivo ConservaFAU, modificado pelo autor.

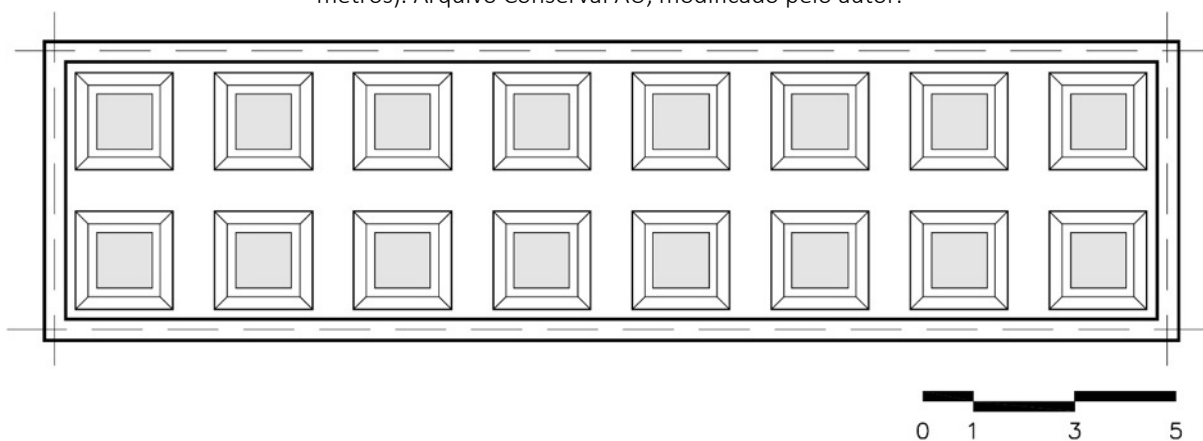


Figura 8 Representação do módulo da cobertura em planta (escala gráfica em metros). Elaborado pelo autor.

Diante de suas dimensões, a estrutura da cobertura é dividida em quatro “peças” que garantem a movimentação proveniente da dilatação térmica do concreto. A junta de dilatação principal “secciona” a cobertura transversalmente, dividindo-a exatamente ao meio, em duas partes simétricas. Essa junta se estende pelas empenas das fachadas nordeste e sudoeste. Podemos assumir que a segunda possui formato retangular, segregando os módulos centrais e cruzando a junta transversal em dois pontos, conforme observado na Figura 9. O detalhe construtivo apresentado anteriormente na Figura 6, também ilustra a “viga dupla” (duas vigas de 20cm de largura, espaçadas em 2,5cm).

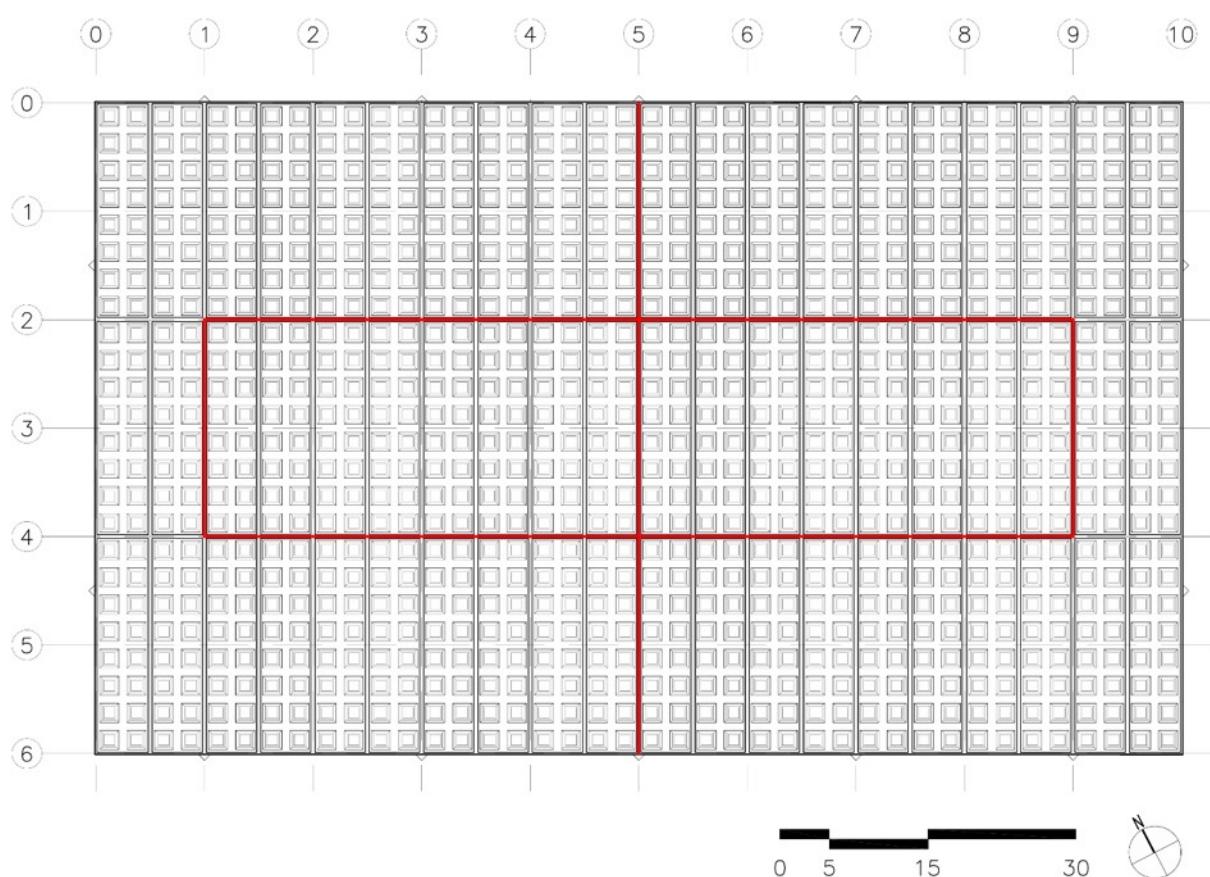


Figura 9 Vista superior da cobertura com destaque para as juntas de dilatação (escala gráfica em metros).
Arquivo ConservaFAU modificado pelo autor.

A proteção superficial do concreto se dá pelo próprio sistema de impermeabilização, que envolve toda a superfície externa.

Já para as juntas de dilatação, não há um registro da especificação técnica original de seu sistema de proteção. Até a campanha de recuperação de 2009-2010, as juntas horizontais recebiam uma proteção, na época bastante deteriorada, de manta butílica posicionada sobre

a viga. Esta foi substituída por um tratamento com selante de poliuretano e, posteriormente, recoberto pelos rufos de alumínio, ainda em 2010.

Na campanha de recuperação de 2012-2015, os rufos foram provisoriamente removidos e o topo das vigas foram recobertos pela membrana de poliureia. Atualmente elas estão protegidas sucessivamente pelo selante de poliuretano, pela membrana de poliureia e pelo rufo de alumínio.

Para fins de identificação, cada módulo é numerado sequencialmente de 1 a 20 (no sentido da fachada noroeste para a sudeste), seguido pela letra correspondente à faixa a qual o módulo pertence: A para anterior, I para intermediária e P para posterior. A Figura 10 ilustra a identificação dos módulos.

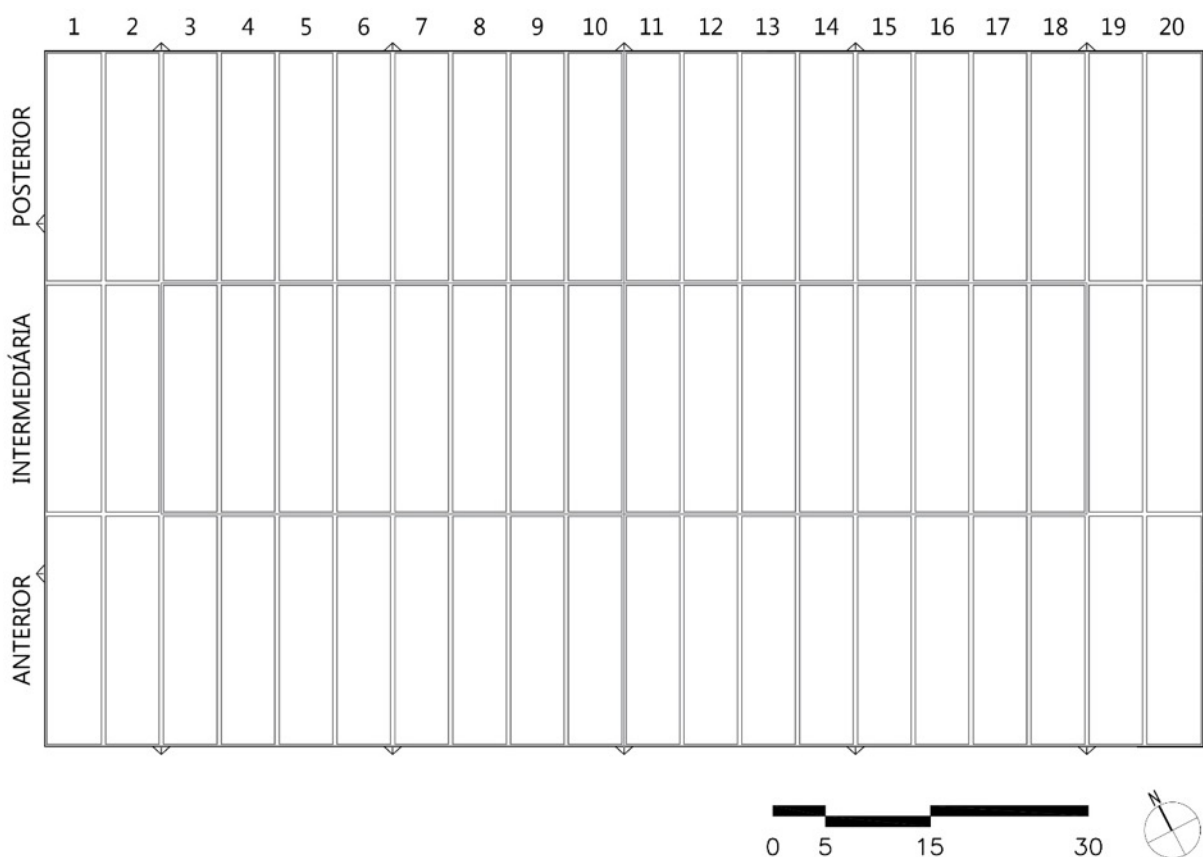


Figura 10 Mapa da cobertura com identificação dos módulos (escala gráfica em metros). Elaborado pelo autor.

3.2 DA CONSTRUÇÃO DO EDIFÍCIO ATÉ 1980

De acordo com publicação do DOE¹¹, em 15 de dezembro de 1966, a Construtora ANR – Alberto Nagib Rizkallah Ltda. foi contratada pelo Fundo de Construção da Cidade Universitária da USP para a execução da estrutura de concreto armado do edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

Destaca-se que o projeto estrutural, de responsabilidade do Escritório Técnico J. C. Figueiredo Ferraz, foi inicialmente elaborado em 1961 e 1962, passando por uma revisão completa em 1966, quando o volume de concreto foi calculado para a elaboração da estimativa de custo da obra. Contier (2015) indica que os trabalhos no canteiro de obras tiveram início ainda em 1966, de modo que a conclusão dos serviços estaria prevista para fins de janeiro de 1968, caso fosse cumprido o prazo de 400 dias de trabalho previstos no contrato.

No entanto, comparando essa previsão com as datas constantes nas pranchas do projeto estrutural, é possível concluir que eram realizados revisões e detalhamentos de projeto a medida em que a estrutura era executada.

A última modificação do projeto estrutural, datada de fevereiro de 1968 e, portanto, após o prazo inicial para conclusão da obra, refere-se a prancha nº 136, intitulada “Armação das vigas da cobertura”. Considerando que os trabalhos de concretagem da cobertura ainda não haviam sido iniciados nessa data e ainda o tempo necessário para a produção e instalação das formas, posicionamento das armaduras, concretagem e descimbramento da cobertura, presume-se que haveriam ainda alguns meses para a conclusão da estrutura.

Infelizmente, a ausência de informações documentais sobre esse período não permite traçar uma cronologia mais precisa dos acontecimentos no canteiro de obras. Por outro lado, é possível imaginar que a complexidade da obra e as limitações construtivas da época devem ter sido determinantes para eventuais atrasos. Especificamente para a cobertura, o caráter experimental de sua forma em superfícies inclinadas, as aberturas zenitais, os grandes vãos estruturais e a altura de trabalho, a qual superava facilmente os 15m, certamente contribuíram também para as falhas identificadas posteriormente, a primeira delas, logo após a desforma da estrutura, conforme descrito por Contier (2015):

¹¹ Publicação no Diário Oficial do Estado de São Paulo em 15 de dezembro de 1966.

“Tal desenho impôs que a concretagem fosse feita em duas etapas: a primeira até a altura da laje; a segunda até o cume da boca do domo [Figura 11]. Isso gerou uma marca visível no interior do edifício [Figura 12] que, segundo relatos, Artigas teria lamentado. Para tentar melhorar o aspecto a equipe do Fundo [Fundo de Construção da Cidade Universitária] lixou o concreto manualmente, com ajuda de andaimes suspensos [Figura 13], o que não resolveu o problema.”

A Figura 11 reproduz um detalhe do Projeto de Estrutura do Escritório Técnico Figueiredo Ferraz com representação em corte da laje e da viga invertida da cobertura, com destaque para as duas etapas de concretagem, em cores distintas. Observa-se que para a concretagem desses elementos, haveria, inevitavelmente, uma junta de concretagem horizontal, coincidente com o nível da laje.

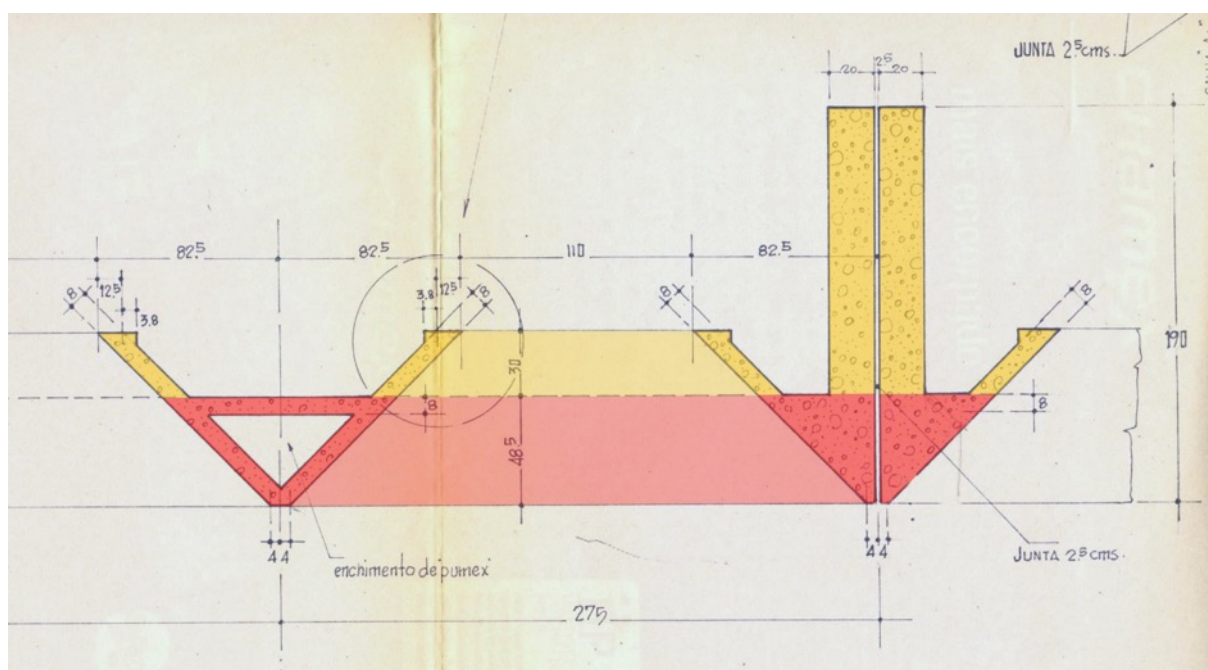


Figura 11 Corte esquemático da estrutura de concreto armado da cobertura, com destaques em cor para as duas etapas de concretagem. Fonte: Folha nº 20 do Projeto de Estrutura de 24/05/1966, modificado pelo autor.

A Figura 12 mostra o resultado ao fim dessa etapa construtiva, logo após a desforma da cobertura, onde é possível observar as imperfeições de acabamento na superfície inclinada, na região próxima à junta de concretagem.



Figura 12 Fôrmas de madeira recém retiradas da cobertura. Detalhe para a diferença de cor entre as duas fases de concretagem da cobertura e para as imperfeições na superfície inclinada do concreto aparente. Foto: José Moscardi.

A Figura 13 ilustra os trabalhos com andaime suspenso realizados pela equipe do Fundo para amenizar as imperfeições da desforma, no entanto, dificilmente o serviço de tratamento se limitou ao lixamento, visto a necessidade de preenchimento das falhas de concretagem superficiais para regularização do concreto aparente. A Figura 14 evidencia o resultado final desse trabalho, onde é possível observar manchas mais escuras nas proximidades das juntas de concretagem, fortalecendo indícios de reparos para a regularização dessa superfície.



Figura 13 Trabalhos realizados pela equipe do Fundo de Construção da Cidade Universitária, 1968. Foto: José Moscardi.



Figura 14 Cobertura da FAU USP em 2017. Foto: Rodrigo Vergili.

Conforme apontado por Simões (2004), outra falha construtiva ocorrida nessa etapa de trabalho foi o descimbramento precoce da estrutura da cobertura, possivelmente para atendimento de prazos políticos para inauguração do edifício. A Figura 15 ilustra a cobertura do edifício pouco depois da retirada do cimbramento do vão central, enquanto a Figura 16 exhibe a superfície externa antes de receber a impermeabilização.



Figura 15 Vista interna da cobertura do edifício recém desformada. Foto: José Moscardi.



Figura 16 Vista externa da cobertura do edifício, antes da impermeabilização. Foto José Moscardi.

Apenas no segundo semestre de 1968 foi dado início à impermeabilização da cobertura pela empresa Isotherma Comércio Indústria e Representações Ltda., com previsão de conclusão em 45 dias¹². Novamente, não há maiores registros nem detalhes da especificação técnica desse serviço.

Sabe-se, contudo, que o sistema de impermeabilização originalmente aplicado consistia numa membrana elastomérica de policloropreno e polietileno clorossulfonado, conhecida comercialmente por Neoprene-Hypalon®, marcas registradas da empresa DuPont, diretamente aplicada no substrato de concreto, protegendo tanto as lajes, quanto as vigas invertidas em suas laterais e topos, como é possível observar na Figura 17.



Figura 17 Vista aérea do edifício Vilanova Artigas recém inaugurado, em 1969. Detalhe para a impermeabilização, em branco, que cobria as laterais e topos das vigas invertidas. Foto: João Roberto Leme Simões.

A inauguração oficial do edifício Vilanova Artigas deu-se em fevereiro de 1969 e até o ano de 1980 não foi localizado nenhum relato que indicasse qualquer falha relacionada à estrutura de concreto ou a estanqueidade da cobertura. Apesar de algumas fotografias da década de 1970 evidenciarem indícios pontuais de infiltração de água na cobertura.

¹² Diário Oficial do Estado de São Paulo, 04 de julho de 1968.

3.3 INTERVENÇÕES ENTRE 1980 A 1991 – PRIMEIROS PROBLEMAS

O primeiro relato a algum tipo de problema na cobertura é de junho de 1980, quando o então diretor da FAU, Prof. Ariosto Mila, que solicitou ao FUNDUSP uma vistoria em decorrência de deformações nas paredes divisórias das salas de aula, causadas pelo provável deslocamento vertical da cobertura¹³, que estava impedindo o funcionamento das portas.

Conforme observado na Figura 18, as paredes divisórias da sala de aula, localizadas no último pavimento do edifício, encontravam-se instaladas até a cobertura. A ocorrência de uma suposta deformação dessa vedação sugere que o elemento de transição entre a cobertura e as divisórias não foi capaz de impedir que os deslocamentos das vigas afetassem as divisórias, provocando, portanto, a flambagem da parede.



Figura 18 Pavimento das salas de aula, 1969. Detalhe para o encontro das divisórias leves à cobertura de concreto armado. Há relatos que os painéis divisórios inaugurados junto com o edifício em 1969 foram substituídos pouco tempo depois, portanto, os painéis retratados na imagem não correspondem às divisórias que sofreram deformação. Foto: José Moscardi.

¹³ Ofício Administrativo da FAU GD/390 de 25 de junho de 1980.

Infelizmente, os documentos subsequentes a essa solicitação foram eliminados pelo FUNDUSP, não sendo possível o conhecimento o desdobramento do assunto, também não foi localizado nenhum registro fotográfico que evidenciasse as falhas. O mesmo ocorreu com a maioria dos processos administrativos da década de 1980, que embora constantes na base de dados informatizada da USP (Sistema Proteos¹⁴), não foram fisicamente localizados. Apesar disso, foi possível estabelecer uma cronologia a partir desses registros remanescentes, listados a seguir:

1982 – FAU, por intermédio da Reitoria da USP, *“solicita ao FUNDUSP projeto para reforma da impermeabilização e estimativa de custo para sua execução, entre outros serviços”*.

1985 – FUNDUSP *“abre licitação para aquisição de “Vedalaje”* [nome comercial de um sistema de impermeabilização por membrana acrílica], *para impermeabilização da FAU e outros edifícios do campus”*. Não há evidências se o material foi adquirido ou mesmo se foi utilizado, de qualquer forma, se aplicado apresentaria desempenho inferior à impermeabilização original de Neoprene-Hypalon®.

Em março de 1986, o FUNDUSP abre nova licitação para aquisição de “Vedalaje”; na ocasião o Instituto Brasileiro de Impermeabilização se manifesta alertando que a impermeabilização acrílica ainda não era normatizada, que os parâmetros requeridos para o material eram incompatíveis com os materiais disponíveis no mercado nacional e que a execução deveria ser realizada por empresa especializada. Por fim, a tomada de preço foi anulada em decorrência tanto de erro na cotação das licitantes que ofereceram menor preço, quanto na justificativa de aquisição de material com melhor desempenho.

Esse processo avançou com relativa rapidez, ao passo que em junho do mesmo ano houve abertura de licitação para aquisição de Neoprene-Hypalon®, cujo processo não foi localizado, não sendo possível determinar seu desdobramento. Novamente, para os anos subsequentes, restam apenas alguns registros no sistema *Proteos*, conforme seguem:

1987 – FUNDUSP abre licitação para aquisição de tubulação de PVC vinculadas à obra de impermeabilização da FAU.

¹⁴ Sistema Proteos é um sistema informatizado de registro e busca de protocolos e processos administrativos da Universidade de São Paulo.

1988 – FAU solicita um técnico ao FUNDUSP para vistoriar a estrutura do último piso, que sofreu deformação.

1990 – FAU solicita técnico para vistoriar novamente o edifício.

É interessante notar que, em registros fotográficos dessa época, já era observado o acúmulo de água de chuva em alguns módulos, possibilitado pelo deslocamento vertical da estrutura, Figura 19. Também é possível identificar tubulações em ferro fundido, do sistema de abastecimento de água fria, antes da sua substituição por PVC, Figura 20, provavelmente ocorrida a partir de 1987, conforme registros citados acima.



Figura 19 Vista do módulo 10P com acúmulo de lâmina d'água na laje, 1986 (data estimada). Ao fundo, o mastro do antigo sistema de proteção contra descargas atmosféricas. Autor desconhecido. Acervo da Biblioteca da FAU USP.



Figura 20 Vista de módulos da cobertura com acúmulo de lâmina d'água na laje, 1986 (data estimada). Detalhe para a tubulação em ferro fundido atravessando a viga invertida. Acervo da Biblioteca da FAU USP.

Apesar de muitas lacunas e ausência de informações consolidadas, há fortes indícios de que a equipe do FUNDUSP realizou a reimpermeabilização do edifício Vilanova Artigas entre os anos de 1986 e 1987, incluindo a substituição, ao menos parcial, das tubulações de água fria localizadas na cobertura. Nessa época, a FAU também realizou a substituição das divisórias leves das salas de aula, que já haviam sofrido deformações causadas pelo deslocamento vertical da cobertura.

Em 1988, as preocupações quanto a “deformação” da cobertura são reiteradas pela FAU ao FUNDUSP e, a partir de 1991, a trocas de correspondência referente a esse assunto fica mais frequente, inclusive com tratativas junto o Escritório Técnico Figueiredo Ferraz para um posicionamento a respeito, mas esses documentos não se encontram mais disponível¹⁵.

¹⁵ Pelo sistema *Proteos* foram identificadas diversas citações sobre troca de correspondências entre essas unidades, mas esses documentos não foram localizados.

3.4 ESTUDOS E PROTÓTIPOS 1992-1996 – RECONSTRUÇÃO DA LAJE

As informações existentes a partir de 1992 devem-se primordialmente à preservação do processo “91.1.9000.82.0 - *Estudo para execução de reforma da cobertura do Prédio da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo*” pelo CPC-USP, que é muito rico em informações e desdobramentos acerca das tomadas de decisão entre 1989 a 1994, e à própria FAU que passou a ter, a partir de 1994, uma participação mais ativa na manutenção da cobertura, preservando diversas documentações do período.

Em 1992, como alternativa aos problemas de infiltração, o FUNDUSP propôs uma solução de sobrecobertura com telhas de alumínio combinadas com telhas translúcidas. No entanto, o CONDEPHAAT (Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico de São Paulo) apresentou, em dezembro do mesmo ano, parecer desfavorável a esse estudo preliminar.

É importante notar que, nesse momento, os problemas de sobrecarga, ainda que não quantificados, já eram relatados por engenheiros do FUNDUSP e usados como uma das justificativas para a instalação da sobrecobertura. Possivelmente, o FUNDUSP já considerava que uma nova impermeabilização sobre a camada de impermeabilização anterior, prática que era realizada até então, não era mais viável diante da sobrecarga da cobertura e o custo para remoção dessas camadas e aplicação de nova impermeabilização era muito maior do que o custo de instalação da sobrecobertura. Ainda, é perceptível um descrédito por parte do FUNDUSP quanto a solução de impermeabilização que, caso mantida, necessitaria de manutenção constante, diferentemente da sobrecobertura em telhas, vista como uma “solução definitiva”, conforme parecer técnico do engenheiro do FUNDUSP, Fausto Tarran:

“A solução proposta: cobrir toda a estrutura com algum tipo de telhado, ainda que não aprovado pelo CONDEPHAAT, é a única que pode resolver o problema com segurança e de forma definitiva.”

Em agosto de 1993, em reunião com equipe do FUNDUSP, a FAU acatou parecer do CONDEPHAAT e descartou a solução da sobrecobertura, sugerindo que, diante das dificuldades de avaliar os custos dos serviços de recuperação, fosse contratado um diagnóstico mais

detalhado através de um “teste-piloto” em um dos módulos, com remoção de todas as camadas de impermeabilização e aplicação de nova impermeabilização na laje.

No entanto, a realização desse protótipo foi iniciada apenas em outubro de 1994, com a contratação da empresa Xavier Haddad Projetos e Construções Ltda. Na ocasião, foi definido o módulo 17P, Figura 21, (denominado DP, à época), localizado sobre uma das salas de aula, para a realização dos serviços diante de sua proximidade ao bloco de circulação vertical formado pela escada e elevador do edifício para o trânsito de materiais, além da proximidade da cobertura ao pavimento logo abaixo.

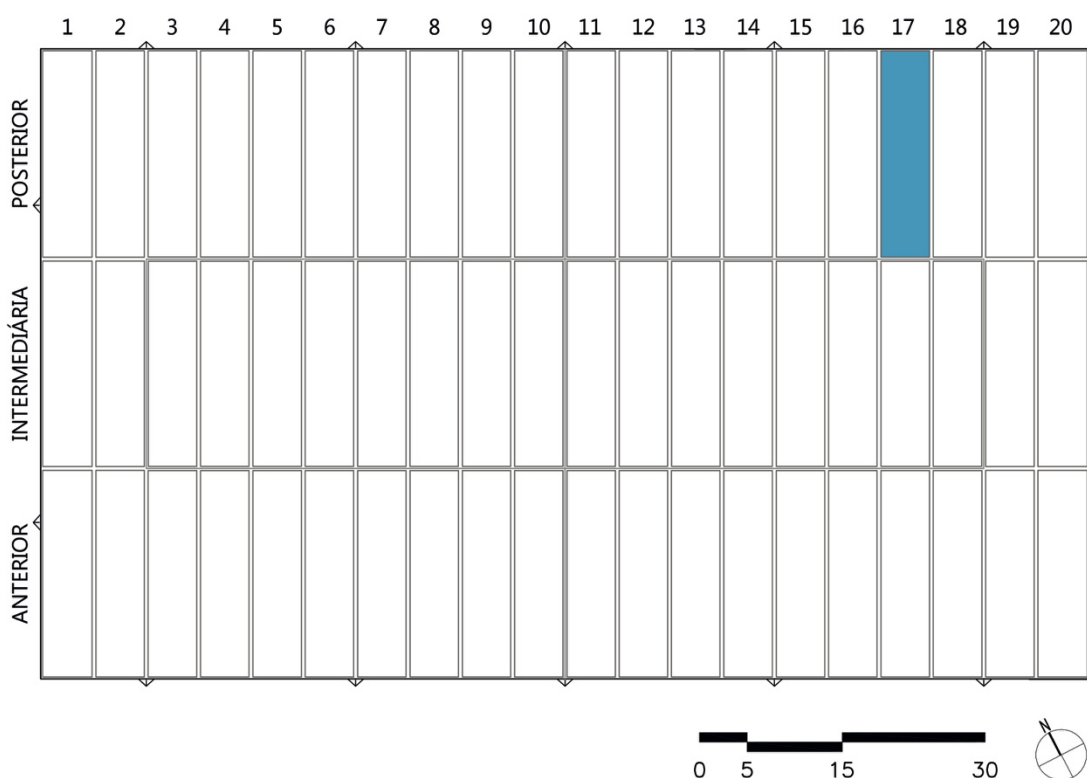


Figura 21 Indicação do Módulo 17P, em planta, onde foi realizado o protótipo de impermeabilização em 1994 (escala gráfica em metros). Elaborado pelo autor.

Ainda que o objetivo dessa contratação fosse avaliar de forma prática a melhor alternativa para a recuperação e impermeabilização de um módulo, pode-se considerar que os trabalhos realizados consistiram na primeira inspeção técnica da cobertura.

Durante os serviços preliminares de escarificação e remoção da impermeabilização, foi identificada a existência de mais de uma camada de regularização e impermeabilização,

confirmando a realização de sucessivos serviços de manutenção corretiva, sobre camadas antigas e deterioradas, causando uma sobrecarga não prevista originalmente.

Ainda, de acordo com relatório de Bruna (1995), houve o rompimento pontual e acidental da laje entre os domos, sendo verificado que o caixão perdido se encontrava cheio de água e as formas de madeira, apodrecidas.

Verificou-se ainda que o *“caixão perdido foi construído por faixas de contraplacado contraventadas por septos rígidos a cada 0,40m”*, que segmentam o vazio da estrutura e dificultaram as tentativas de drenagem da água, já que a água *“retirada formava um vazio que muito lentamente era novamente preenchido pela água que percolava entre os septos.”*

Dando continuidade ao protótipo, foram realizados os reparos na superfície de concreto, o tratamento de fissuras e a regularização superficial, com aplicação de um sistema de impermeabilização por membrana acrílica.

Na avaliação dos serviços realizados, foi considerado que a resolução dos problemas superava a simples substituição da impermeabilização da cobertura, já que além da sobrecarga causada pelas sucessivas camadas de regularização, a água infiltrada anteriormente permaneceu retida nos caixões perdidos e a realização de furos na parte inferior não era vista como uma solução adequada diante da incerteza do esgotamento dessa água.

Ainda, apesar de não mencionado explicitamente no relatório de obra, após a remoção das camadas de regularização e aplicação da impermeabilização diretamente sobre o substrato de concreto, conforme originalmente realizado em 1968, ocorreu o empoçamento da água de chuva na região central do módulo, devido aos deslocamentos verticais sofridos pela estrutura.

Diante dessas condições, em janeiro de 1995, foi proposta a realização de um segundo teste, mais invasivo do que o anterior, consistindo, além da remoção da impermeabilização antiga, na demolição da laje, remoção de todo o madeiramento das fôrmas do caixão-perdido, com subsequente limpeza e drenagem da água acumulada e reconstrução da laje com inclinação para direcionamento das águas de chuva aos ralos.

Para a realização dos serviços, o professor da FAU e engenheiro do Escritório Técnico Figueiredo Ferraz, Aluizio Fontana Margarido, propôs um sistema de escoramento por tirantes, conforme ilustrado na Figura 22. Esse escoramento garantiria a estabilidade estrutural da cobertura para a demolição da laje e realização dos devidos serviços, até o momento de sua reconstrução.

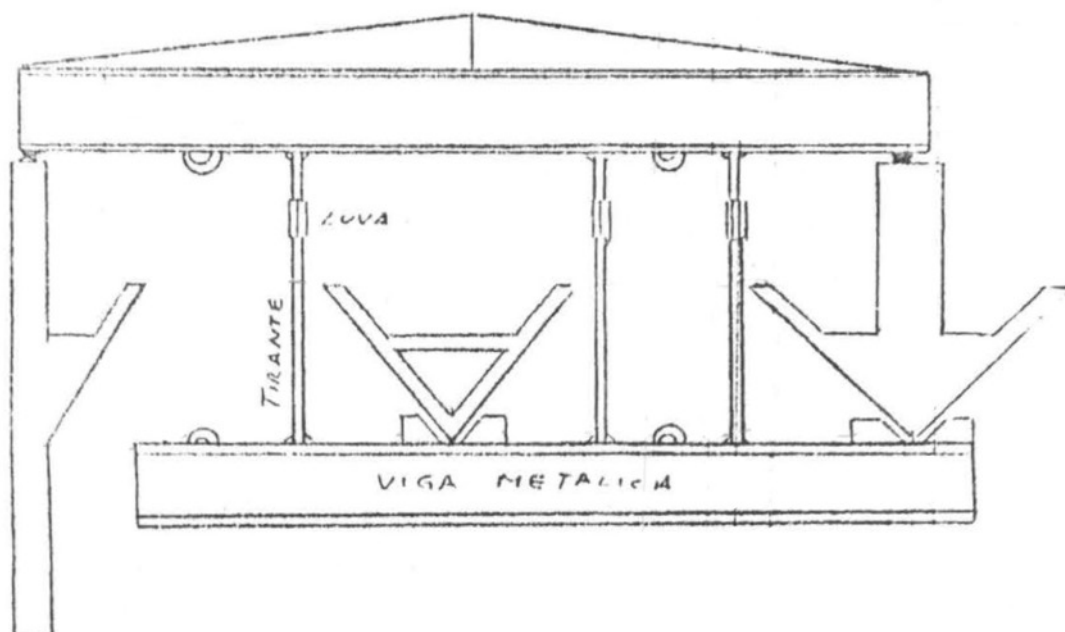


Figura 22 Sistema de escoramento proposto pelo Eng. Prof. Aluizio Fontana Margarido para a cobertura durante a demolição e reconstrução da laje.

Para a reconstrução da laje, seriam utilizadas placas pré-fabricadas de argamassa armada em substituição às fôrmas de madeira, ao mesmo tempo, seria prevista uma declividade de 1% para o escoamento das águas pluviais, eliminando a necessidade de uma espessa camada de regularização e resolvendo os problemas relacionados à sobrecarga e ao empoçamento de água. Para a recuperação das superfícies de concreto e impermeabilização, seriam utilizados os mesmos procedimentos do teste-piloto.

A contratação desse segundo protótipo ocorreu em março de 1996, cuja licitação foi vencida novamente pela empresa Xavier Haddad. Em julho do mesmo ano, os trabalhos estavam concluídos e não há maiores relatos sobre a realização dos serviços; aparentemente, o protótipo atendeu às necessidades técnicas impostas.

Destaca-se, no entanto, que a reconstrução da laje com declividade de 1% resultou em trechos da própria laje em cota próxima à das aberturas zenitais da cobertura, colaborando, indesejadamente, para a entrada da água de chuva por tais aberturas. Diante dessa situação, foram construídas barreiras físicas, ou sóculos, no entorno de cada vão de laje, conforme esquematizado na Figura 23.

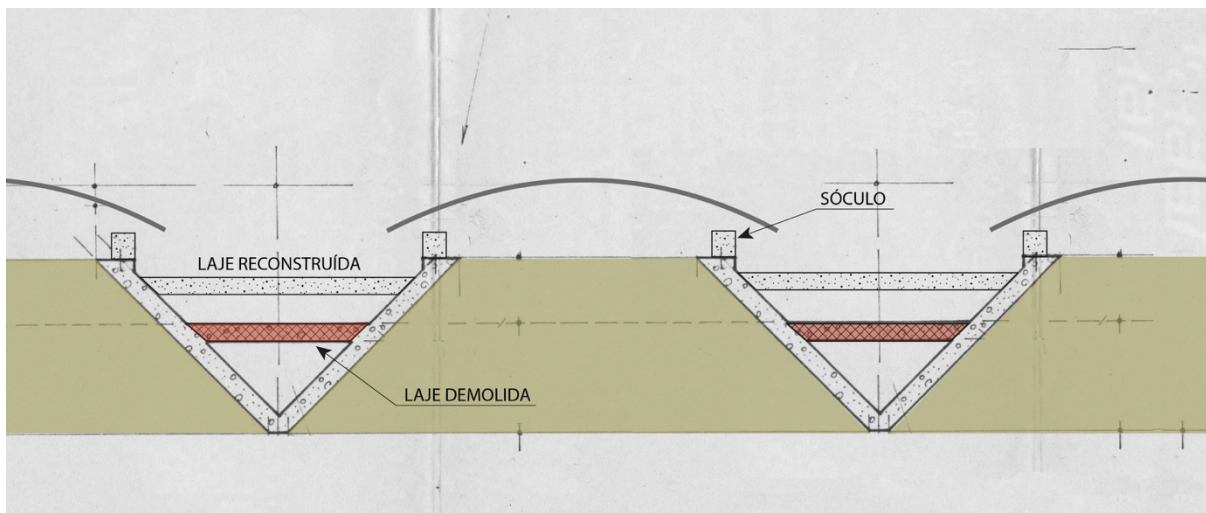


Figura 23 Esquema da demolição e reconstrução da laje, com necessidade de construção de sóculos para impedir a entrada de água pelo vão da cobertura. Ilustração elaborada pelo autor.

Essa solução, apesar de resolver os problemas recém-surgidos com a reconstrução da laje, causou uma interferência visual na cobertura, já que tais sóculos se encontram visíveis pelo interior do edifício, no nível das salas de aula.



Figura 24 Sóculo observado pelo interior da cobertura, no último pavimento do edifício. Foto: Rodrigo Vergili.

3.5 INTERVENÇÕES ENTRE 1997-2000 – RECONSTRUÇÃO DA LAJE

Como o segundo protótipo realizado no módulo 17P, de certa forma, resolveu o problema de sobrecarga causado pelas argamassas de regularização, eliminou a água acumulada no caixão perdido e proveu inclinação na laje para o escoamento das águas pluviais, a FAU optou por replicar a solução no restante da cobertura, mantendo a execução dos sóculos no entorno dos vãos da laje.

Provavelmente, para aumentar a produtividade dos trabalhos, foi prevista a reforma dos módulos de dois em dois, sendo necessária, para tanto, a aquisição de novo conjunto de escoramento metálico, fornecido no início do ano de 1997 pela empresa Espanbras Esquadrias Metálicas Ltda.

A retomada dos trabalhos prosseguiu pela faixa de módulos posterior a partir da fachada sudeste, nos módulos 20P, 19P 18P e 16P (sobre as salas de aula 812 e 811, anteriormente denominados módulos AP, BP, CP e EP). Os serviços foram realizados pela empresa Tecnipol Recuperação e Reforço Estrutural Ltda. que iniciou os trabalhos em abril de 1997, finalizando-os por volta de setembro do mesmo ano.

Em março de 1998, foi dado o prosseguimento dos serviços, com a contratação por licitação da empresa Xavier Haddad para a reformas dos quatro módulos seguintes 15P, 14P, 13P e 12P (denominados à época FP, GP, HP e IP, respectivamente). De acordo com os registros da contratação, os serviços foram aditados para acréscimo dos módulos 11P e 10P no escopo dos trabalhos, com a conclusão ocorrendo por volta de setembro de 1998.

Embora o processo de contratação da etapa subsequente, módulos 09P, 08P, 07P, 06P, 05P e 04P tivesse se iniciado em 1999, a contratação efetiva dos serviços ocorreu apenas no ano de 2000. A empresa Xavier Haddad novamente venceu a licitação, iniciando os serviços em janeiro e finalizando-os em novembro do mesmo ano.

Na Figura 25 ilustra o avanço das frentes de trabalho durante as intervenções ocorridas nesse período.

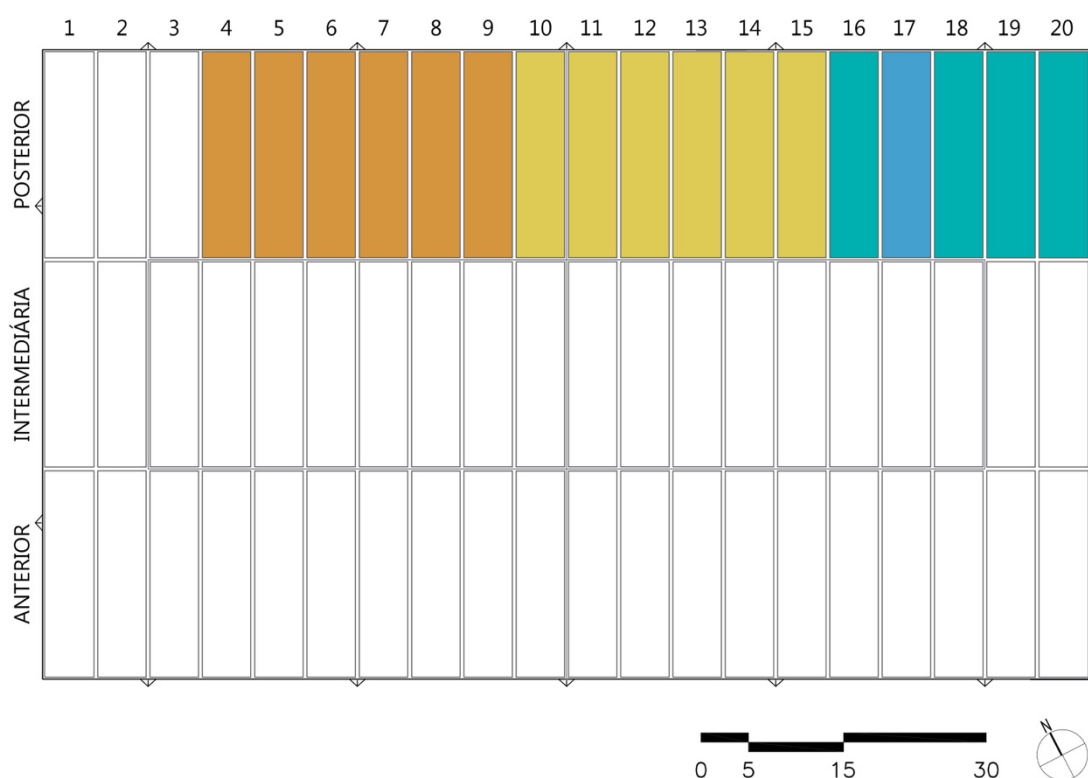


Figura 25 Planta da cobertura com destaque para as intervenções em etapas, ocorridas entre 1997 e 2000. O módulo 17P, em azul, corresponde ao protótipo aprovado em 1996. Ilustração elaborada pelo autor.

3.6 INTERVENÇÕES ENTRE 2001-2003 – RECONSTRUÇÃO DAS LAJES

Diferentemente das intervenções anteriores, em 2001, a FAU conseguiu significativos recursos provenientes do “Programa de Recuperação e Reforma das Coberturas dos Edifícios da USP”, permitindo a continuidade da intervenção numa área maior do que até então vinha sendo realizada, num total de treze módulos, assim como também permitiu a renovação de 580 claraboias.

Dessa forma, os serviços de recuperação da cobertura, a partir da solução de reconstrução da laje, prosseguiu com a contratação, no início de 2002, da empresa Isoterma Construções Técnicas Ltda., mesma empresa que realizara a primeira impermeabilização do edifício, em 1968.

No entanto, contrariando o edital de licitação e os serviços realizados anteriormente, a Isoterma optou, com concordância da FAU, por executar a impermeabilização mantendo o Neoprene-Hypalon® como material impermeabilizantes, sob a justificativa deste apresentar desempenho superior à impermeabilização com membrana acrílica.

Os trabalhos foram concluídos em dezembro do mesmo ano, compreendendo os módulos posteriores: 1P, 2P e 3P, módulos intermediários 1I, 2I, 3I E 4I e módulos anteriores 1A, 2A, 3A, 4A, 5A e 6A, conforme Figura 26.

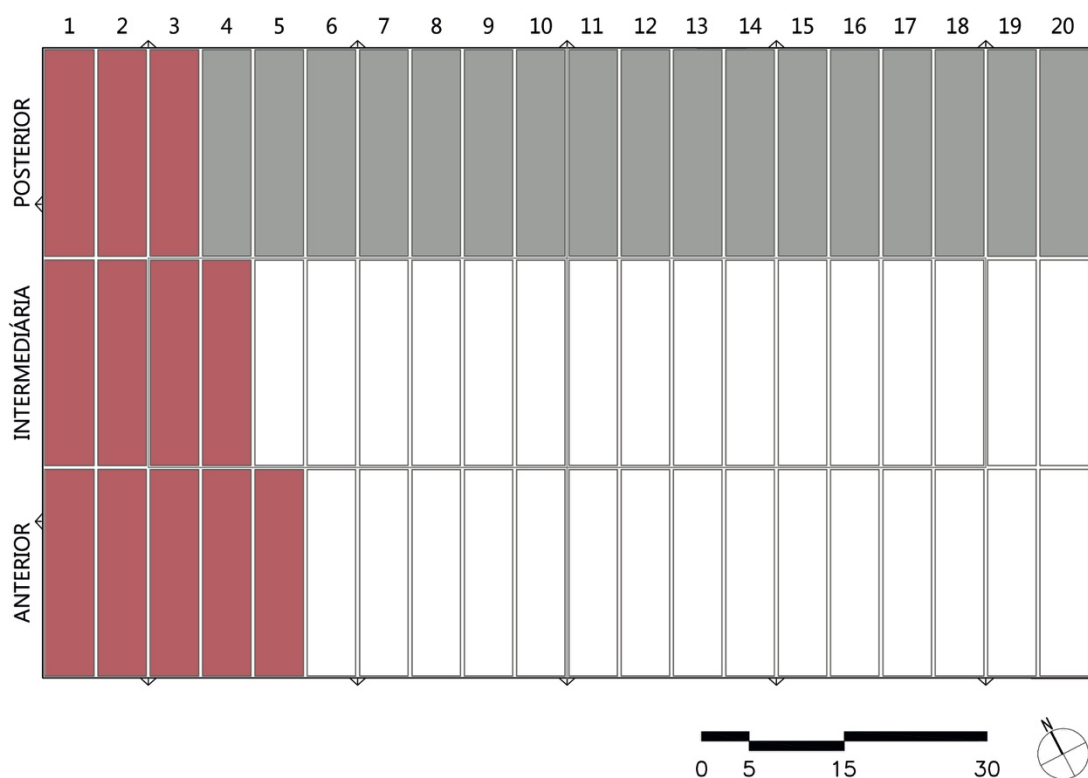


Figura 26 Planta da cobertura com destaque para a campanha de intervenções ocorridas em 2002, em vermelho. Ilustração elaborada pelo autor.

Em 2003, a FAU solicitou novos recursos financeiros à COESF para a continuidade das obras e sob a justificativa de não haver mais disponibilidade financeira para o ano corrente, a solicitação não foi atendida e permaneceu arquivada. Ao fim dessa campanha, iniciada originalmente em 1996, os módulos reformados já totalizavam metade dos módulos da cobertura.

3.7 ESTUDOS EM 2005-2006

As discussões sobre as intervenções na cobertura foram retomadas apenas em 2005, a partir de uma solicitação do GEEF na qual reiterava os problemas de infiltrações existentes nos módulos não reformados e já apontava indícios de infiltração nos módulos que haviam sido objetos de intervenção.

Apesar de não haver indicação de quais módulos reformados apresentavam problemas, é importante ressaltar que os primeiros trabalhos de recuperação, realizados em 1996, estavam prestes a completar 10 anos, que é um tempo de referência na construção civil para a vida-útil de sistemas de impermeabilização. Ao mesmo tempo, não há evidências da realização de serviços de manutenção preventiva nos módulos reformados que poderia evitar, ou mesmo mitigar, a degradação da impermeabilização e a ocorrência de novas infiltrações.

Neste cenário, foi proposta a realização de um diagnóstico construtivo das condições da cobertura, em *“busca de soluções mais eficazes e menos onerosas do que as até agora adotadas para aquela área.”*¹⁶

Nesse mesmo ano, o escritório PhDesign Concreto, Construção e Reabilitação Ltda. é contratado para a realização do diagnóstico e consultoria para proposições de intervenções futuras. Inicialmente, foi procedida uma inspeção visual que identificou a presença de eflorescências na superfície interna da cobertura, produto da lixiviação do hidróxido de cálcio do concreto, causadas pela infiltração de água devido a deterioração do sistema de impermeabilização. Tais sinais já eram observados pelos usuários no interior do edifício (Figura 27) e, com o tempo, foram sendo agravados.

¹⁶ Ofício Administrativo GD/147 da FAU USP, de 23 de setembro de 2005.



Figura 27 Vista interna da cobertura com detalhe para as eflorescências de carbonato de cálcio, formadas pela infiltração da água de chuva (Cláudia Oliveira, 2007).

Na face superior da cobertura, foi verificado o empoçamento da água de chuva em diversos módulos devido à falha no caimento de alguns trechos da laje e a corrosão dos estribos das vigas invertidas, que já se encontravam expostos.

A etapa seguinte da inspeção consistiu na avaliação das condições da laje, de onde foram extraídos testemunhos que identificaram até quatro camadas de regularização e de impermeabilização sucessivas. Nos quatro testemunhos extraídos, conforme reprodução do relatório da PhDesign na Figura 27, a espessura média total das camadas de regularização era da ordem de 9cm.

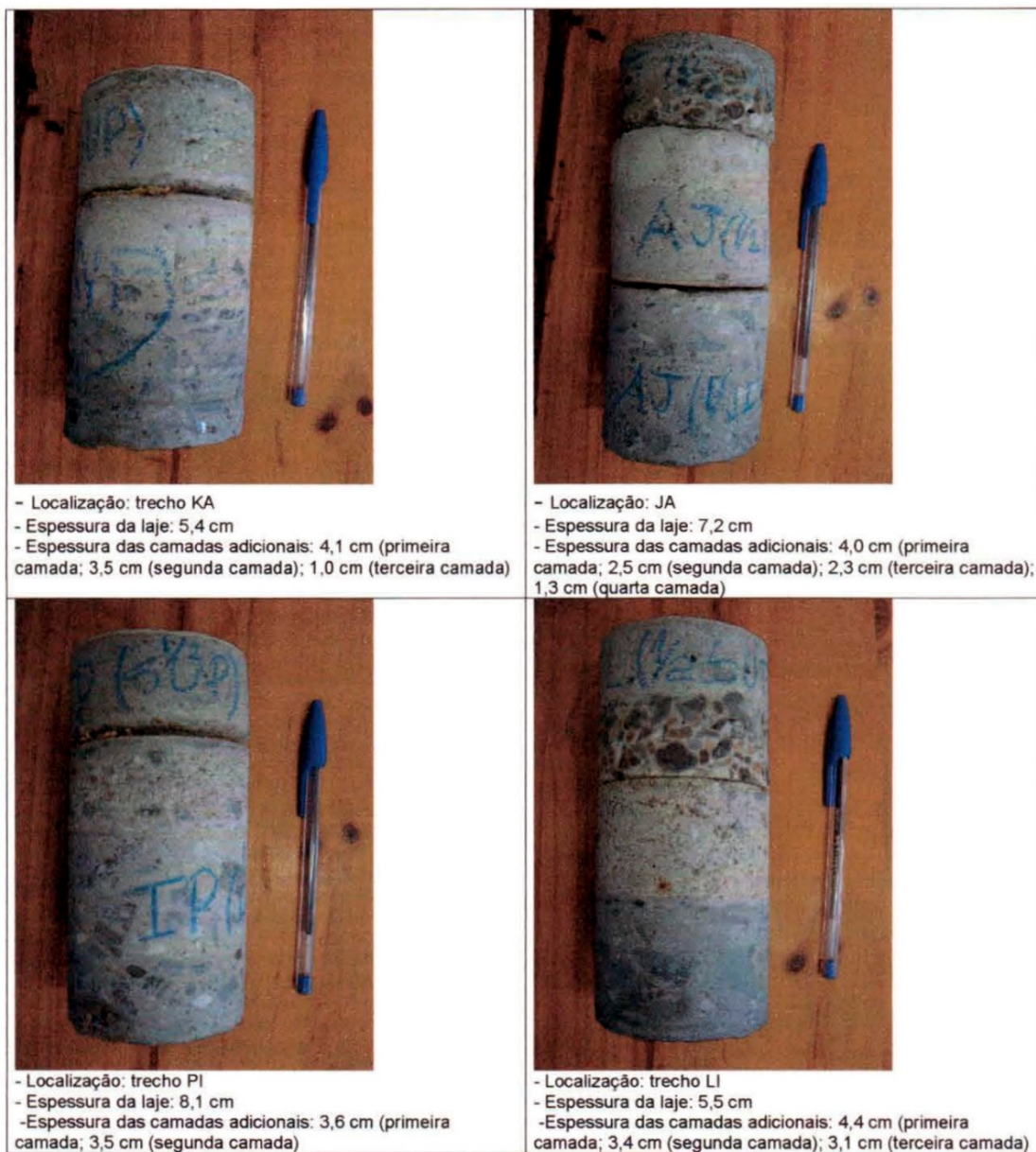


Figura 28 Reprodução do relatório da PhD Design onde é possível observar os testemunhos de concreto extraídos da laje e as camadas de regularização e reimpermeabilização da cobertura. PhD Engenharia.

A inspeção seguinte verificou as condições do concreto armado diante do acúmulo prolongado de água no interior dos caixões perdidos, onde não foram identificadas ocorrências de corrosão de armaduras.

Com base nesses levantamentos, a PhDesign propôs como diretriz para futuras intervenções, a demolição das camadas de regularização e a reimpermeabilização completa da cobertura, diretamente sobre o substrato de concreto, sem necessidade de demolição e reconstrução da laje.

Observa-se que, nessas condições, o escoamento pleno das águas pluviais ficaria impossibilitado pelos deslocamentos verticais já sofridos pela cobertura, no entanto essa

solução foi justificada pelo pressuposto de que durante o tempo de serviço do edifício, o caimento da laje nunca foi suficiente para o escoamento dessa água e as subseqüentes regularizações ocorridas até então só agravaram as deformações da estrutura.

Dessa forma, seria preferível o acúmulo de água à sobrecarga proveniente da argamassa de regularização. Contudo, esta solução estaria condicionada à permanente drenagem de água pluvial por meios mecânicos, bem como à implementação de um programa de manutenção preventiva, com equipe de manutenção exclusiva.

Por fim, foram propostos três sistemas de impermeabilização: manta de PVC, silicato de sódio e poliureia, que deveriam ser aplicados em caráter experimental em módulos distintos na cobertura para avaliação. Junto à especificação técnica, foram expostos, pelos consultores, as vantagens e desvantagens de cada sistema, conforme segue:

- Sistema com manta de PVC (poli(cloreto de vinila)) - membrana de PVC não aderida que suporta movimentações na estrutura, no entanto, em caso de eventuais infiltrações, é muito dificultoso localizar o ponto de vazamento na manta. Para o caso da FAU, depende de mão de obra altamente especializada diante dos inúmeros recortes, dobras e costuras, necessários para revestir o módulo da cobertura. Possui baixa resistência abrasiva.

- Sistema de cristalização com silicato de sódio – num sistema rígido aderente, aplicado diretamente sobre a superfície de concreto e mais barato que outras soluções; não suporta movimentações estruturais de modo que, eventuais fissuras pós-aplicação, estarão sujeitas à entrada de água; a reaplicação do sistema é limitada pois depende de reação química com compostos do concreto.

- Sistema de poliureia – membrana elastomérica aderida, conformada no local por aplicação *airless* à quente; suporta pequenas movimentações estruturais e requer mão-de-obra especializada para a aplicação. Diante do alto custo para mobilização do equipamento, eventuais reparos são realizados à frio com poliuretano. Sistema com alta resistência química e abrasiva.

Os sistemas de impermeabilização com a membrana de PVC e de cristalização com silicato de sódio foram aplicados em módulos da cobertura como testes de viabilidade executiva e de desempenho. No entanto, diante dos altos custos de mobilização para impermeabilização de uma área pequena, o sistema de poliureia não pôde ser testado. Em

julho de 2006, a FAU optou pela alternativa de silicato de sódio sob justificativa de ser mais econômica na implantação e na facilidade de manutenção.

3.8 NOVAS PROPOSTAS E INTERVENÇÕES ENTRE 2007 E 2010

No entanto, a partir de 2007, com o início de uma nova gestão da administração da FAU USP, a continuidade dos estudos e das propostas de impermeabilização foi preterida pela alternativa de execução de uma sobrecobertura, ideia que já havia sido apresentada ao final dos anos de 1980, e novamente justificada como uma alternativa economicamente mais viável.

Nessa condição, a cobertura seria objeto de nova intervenção por completo, dividida em três etapas executivas: recuperação estrutural das vigas invertidas, execução da sobrecobertura e, por último, a recuperação das superfícies internas.

Em 2009 inicia-se a primeira etapa da intervenção na cobertura com a recuperação estrutural das vigas invertidas respeitando os procedimentos definidos para a reparo do concreto definidos pela PhDesign em 2006.

Paralelamente, ao menos duas propostas de sobrecobertura foram apresentadas pela FAU, uma constituída de uma estrutura metálica, cujo projeto foi desenvolvido pelo escritório Kurkdjian Fruchtengarten Engenharia, ilustrado na Figura 29; outra constituída por uma membrana tensionada, com a eliminação das claraboias, projetada pelo arquiteto Pedro Paulo de Melo Saraiva, Figura 30.

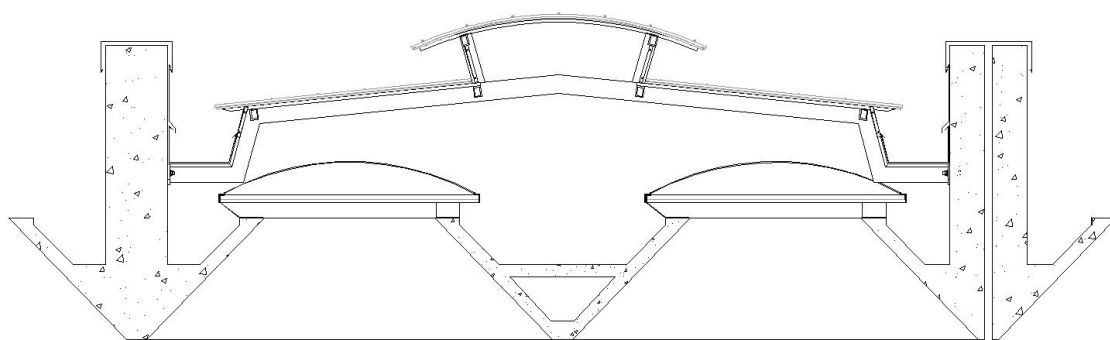


Figura 29 Detalhe do projeto de sobrecobertura elaborado pelo escritório Kurkdjian Fruchtengarten Engenharia. Arquivo Serviço de Infraestrutura da FAU.

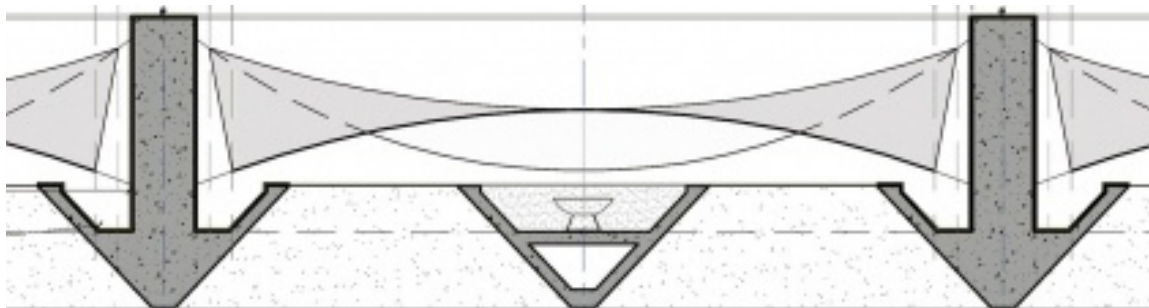


Figura 30 Detalhe do projeto de sobrecobertura elaborado pelo arquiteto Pedro Paulo de Melo Saraiva. Arquivo Serviço de Infraestrutura da FAU.

Em 2010, as obras de recuperação das vigas invertidas são concluídas (Figura 31 e Figura 32), incorporando um rufo metálico para proteção do topo das vigas, ao mesmo tempo, a solução da sobrecobertura é descartada em função tanto de divergências internas da FAU, quanto do parecer contrário do DPH¹⁷, órgão de avaliação técnica do CONPRESP.

Nesse mesmo ano, a FAU retoma a solução em impermeabilização apresentada pela PhDesign em 2006 e solicita a revisão da especificação técnica para a continuidade das obras, cujos resultado são apresentados em novo relatório técnico, dando início as discussões para a intervenção que viria a ocorrer em 2012.

¹⁷ DEPARTAMENTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO. *Análise técnica e parecer, processo 2009-0.051.973-4*. São Paulo, 2009.



Figura 31 Vista geral da cobertura após a campanha de intervenção da cobertura entre 2009 e 2010. Foto: Cláudia Oliveira.



Figura 32 Vista geral da cobertura após a campanha de intervenção da cobertura entre 2009 e 2010. Foto: Cláudia Oliveira.

3.9 INTERVENÇÕES EM 2012-2015 – SISTEMA DE POLIUREIA

Em 2010, o escritório PhDesign, sob novo nome de PhD Engenharia Ltda., foi recontratado para revisar as especificações técnicas para intervenção na cobertura de acordo com as novas diretrizes estabelecidas pela administração da FAU, que definiu a poliureia como sistema de impermeabilização, complementando os estudos e o diagnóstico realizados em 2006.

Apesar da intervenção na cobertura ter como objetivo principal a substituição do sistema de impermeabilização da laje, estendendo-o, inclusive, para as faces laterais das vigas invertidas, foram incluídas pelo GEEF-FAUUSP especificações complementares relativas aos demais sistemas da cobertura que também necessitariam de intervenção.

Foram previstos: a duplicação de ralos e descidas no sistema de drenagem de águas pluviais, a substituição das claraboias e de seu sistema de fixação, a adequação do sistema de proteção contra descargas atmosféricas e a substituição do sistema de exaustão (FAUUSP, 2008). Os trabalhos, que também envolviam reparos nas empenas de concreto armado das fachadas, tiveram início em novembro de 2012 a partir da contratação da empresa Jatobeton Engenharia Ltda.

Quanto ao serviço de impermeabilização propriamente dito, a especificação técnica da PhD Engenharia determinou a remoção de todas as camadas de regularização existentes, a drenagem da água acumulada nos caixões-perdidos, por meio de furos na face inferior da cobertura, e a aplicação da impermeabilização com poliureia diretamente sobre a laje de concreto, conforme observado na Figura 33.



Figura 33 Aplicação da impermeabilização de poliureia diretamente sobre o substrato de concreto da cobertura.
Foto: Rodrigo Vergili

A partir das especificações técnicas dos consultores, a empresa responsável pela obra contratou serviços especializados para a aplicação da membrã à base de poliureia e adquiriu os produtos de empresas especializadas em impermeabilização. Embora a especificação dos consultores tenha sido de uso de poliureia pura, os produtos usados na obra sugerem que foi utilizada poliureia híbrida como ilustram as evidências registradas na obra na Figura 34. A mistura de isocianato e poliálcool poliéster, resulta em um sistema poliureia/poliuretano, de acordo com dados da literatura especializada da Tabela 1, página 17.



Figura 34 Equipamentos, operários e materiais usados na impermeabilização da cobertura do edifício Vilanova Artigas. Acima: ao fundo no Estúdio 1 do edifício tambores de materiais usados no serviço e operários da empresa especializada na aplicação da impermeabilização, destaque do gerador usado para o jateamento (tambores dos materiais usados no serviço e unidade dosadora *airless* tipo hot spray sob a lona plástica). Abaixo: rótulos dos tambores dos produtos utilizados. Foto: Claudia Oliveira, dezembro 2013.

As atividades dessa campanha de recuperação e impermeabilização da cobertura foram concluídas no primeiro semestre de 2015 e o resultado da superfície impermeabilizada pode ser observado na Figura 35.



Figura 35 Vista da cobertura após a campanha de recuperação e impermeabilização da laje, ocorrida entre 2013 a 2015. Foto: Rodrigo Vergili

3.10 CONSIDERAÇÕES

Mais do que expor os problemas e respectivas soluções adotadas, esse levantamento visou elucidar as dificuldades e os desafios para a conservação da cobertura.

Apesar da complexidade de seu desenho estrutural, o funcionamento da cobertura poderia ser considerado bastante simples na época de sua construção, no entanto, diante das exigências cada vez maiores quanto ao desempenho técnico construtivo, não só referente à impermeabilização, mas também aos demais sistemas prediais, ela necessitou do acréscimo, ao longo dos anos, de diversos elementos não previstos originalmente.

A reconstrução cronológica também revela que as intervenções, na sua maioria, tiveram como objetivo resolver problemas relacionados à infiltração de água de chuva causada pela degradação do sistema de impermeabilização, seriamente comprometido por falhas de origens executiva e de manutenção inadequadas, ao mesmo tempo em essas intervenções sempre ocorreram em caráter reativo.

4. ANÁLISE DO SISTEMA DE COBERTURA DO EDIFÍCIO VILANOVA ARTIGAS

As análises descritas neste capítulo buscam compreender o comportamento e a funcionalidade da cobertura e do sistema de impermeabilização a partir das análises de projeto e in loco.

4.1 A FUNCIONALIDADE ENQUANTO PROJETO

O estudo descrito a seguir consistiu na análise dos projetos gráficos: de arquitetura, concebido pelos arquitetos Vilanova Artigas e Carlos Cascaldi; dos projetos técnicos complementares, detalhados pela equipe do Fundo para Construção da Cidade Universitária; do projeto estrutural, de autoria do Escritório Técnico J. C. Figueiredo Ferraz; e do projeto de instalações hidráulicas, de responsabilidade do Escritório de Coordenação Técnica V. M. Lopes.

Essa análise busca avaliar de forma crítica e técnica a funcionalidade da cobertura no que se refere ao escoamento das águas pluviais, embora o sistema de impermeabilização não tenha sido especificado em projeto.

Apesar da cobertura ter sido concebida em laje plana, o projeto estrutural do edifício previa sua forma em sucessivos “planos inclinados”¹⁸, correspondendo no geral, cada um, a um módulo da cobertura. Quando analisado o processo de escoamento de águas pluviais, verifica-se que esse detalhamento atribui a cada módulo trabalhar como uma calha coletora de águas pluviais, direcionando essas águas aos ralos, localizados nas extremidades dos módulos e próximos aos pilares internos.

Nesse aspecto, a solução estrutural e geométrica evidencia uma racionalização da funcionalidade da cobertura e de seus apoios. A laje se comporta como uma calha coletora, que recebe e conduz a água, enquanto os pilares acomodam a prumada de descida de águas pluviais.

¹⁸ O termo “laje plana” ou “plano inclinado” utilizado nesse estudo de caso consiste numa aproximação conceitual, visto que, conforme abordado adiante, foram previstas contra-flechas nas vigas invertidas, comprometendo a definição estrita de “plano”.

Por outro lado, essa configuração “ideal” não abrange todos os módulos da cobertura, pois os módulos adjacentes às empenas sudeste e noroeste (módulos 1A, 1I, 1P, 20A, 20I e 20P) não se encontram apoiados diretamente em nenhum pilar interno e, conseqüentemente, não possuem ralos próprios, conforme ilustrado na Figura 36. Nesses módulos, as águas pluviais necessariamente atravessam as vigas invertidas por meio de passagens instaladas na altura da laje (buzinotes), sendo direcionadas aos ralos dos módulos adjacentes.

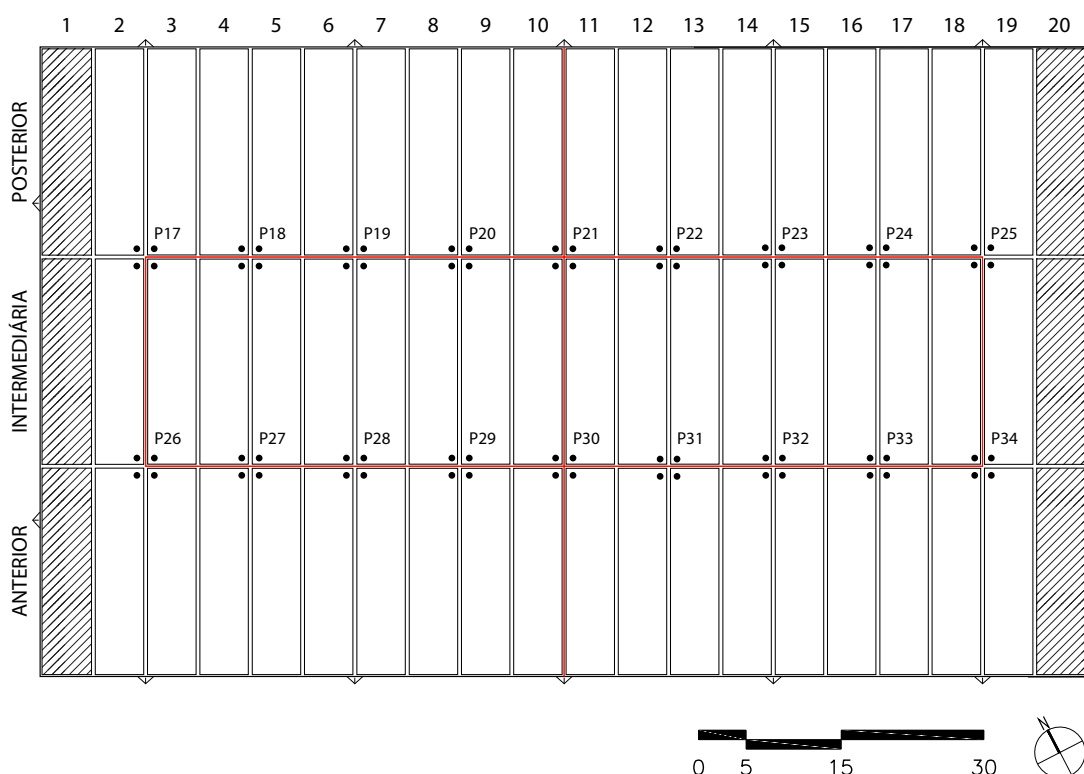


Figura 36 Reprodução das posições dos ralos e prumadas de águas pluviais conforme projeto hidráulico de 1962, do Escritório de Coordenação Técnica H. M. Lopes, com destaque em hachura para os módulos que não possuem ralos, junto às empenas noroeste, à esquerda, e sudeste, à direita. Elaborado pelo autor.

Contudo, apesar da ausência de detalhamento dos buzinotes, tanto no projeto estrutural – já que a estrutura foi conformada com as tubulações – quanto no projeto de instalações, os ralos localizados nas quatro extremidades externas da cobertura já previam uma área de captação maior que os demais, conforme a diferença de diâmetro nominal das tubulações observada na Figura 37, que reproduz o detalhe do pilar P17 no projeto de instalações hidráulicas do Escritório de Coordenação Técnica V. M. Lopes, onde foi especificado ralos e condutores de diâmetro nominal de 6” (150mm) para a o escoamento das águas pluviais

nos módulos das extremidades da cobertura em substituição às 4" (100mm) dos demais módulos.

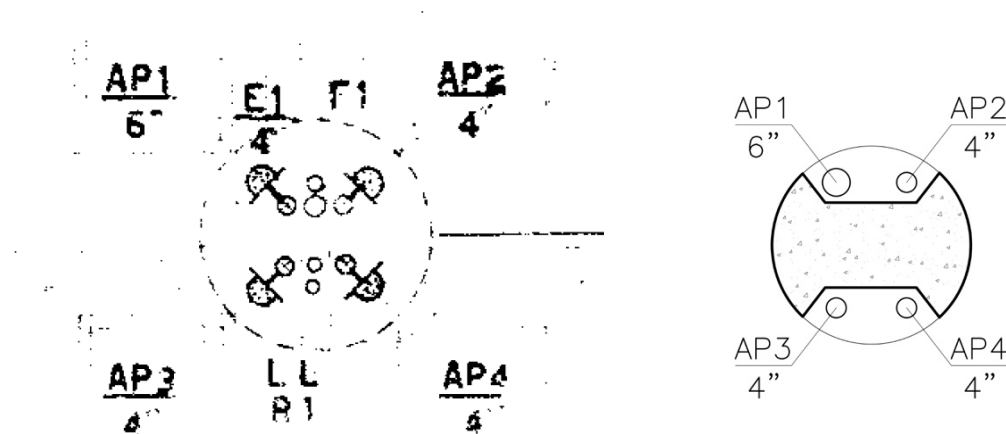


Figura 37 À direita, detalhe das instalações hidráulicas da cobertura, sobre o pilar P17, de autoria do Escritório de Coordenação Técnica V. M. Lopes, de 1962, com previsão de quatro descidas de águas pluviais. À esquerda, corte do pilar P17, com indicação das respectivas prumadas, elaborado pelo autor.

Diante desse detalhe, fica evidente que era de conhecimento dos projetistas a restrição do escoamento das águas pluviais pela laje nos módulos das extremidades da cobertura.

Essa restrição provavelmente buscava atender questões estéticas da composição estrutural do edifício, já que alternativas mais favoráveis à drenagem desses módulos descaracterizariam o projeto de arquitetura – como, por exemplo, o “encurtamento” do edifício, pela supressão desses módulos, ou mesmo a instalação de extravasores voltados para as fachadas.

Outro aspecto importante para a drenagem é a declividade estabelecida na própria concretagem da estrutura. Pirondi (1988) considera esse um detalhe construtivo que contribui para o escoamento das águas pluviais e uma solução ideal quando aplicada em coberturas planas, eliminando a necessidade de uma regularização excessiva para promover a declividade. No caso da cobertura da FAU, essa declividade, ainda que insuficiente, foi incorporada no projeto estrutural.

Na análise da geometria da estrutura, verifica-se que a inclinação das lajes se dá pela diferença de cota entre as extremidades das vigas para os módulos periféricos e contra-flechas para os módulos internos da cobertura. Nessas condições, cada viga invertida possui

característica distinta conforme sua posição e podem ser organizadas em: vigas longitudinais, vigas transversais principais e vigas transversais secundárias, conforme ilustrado na Figura 38.

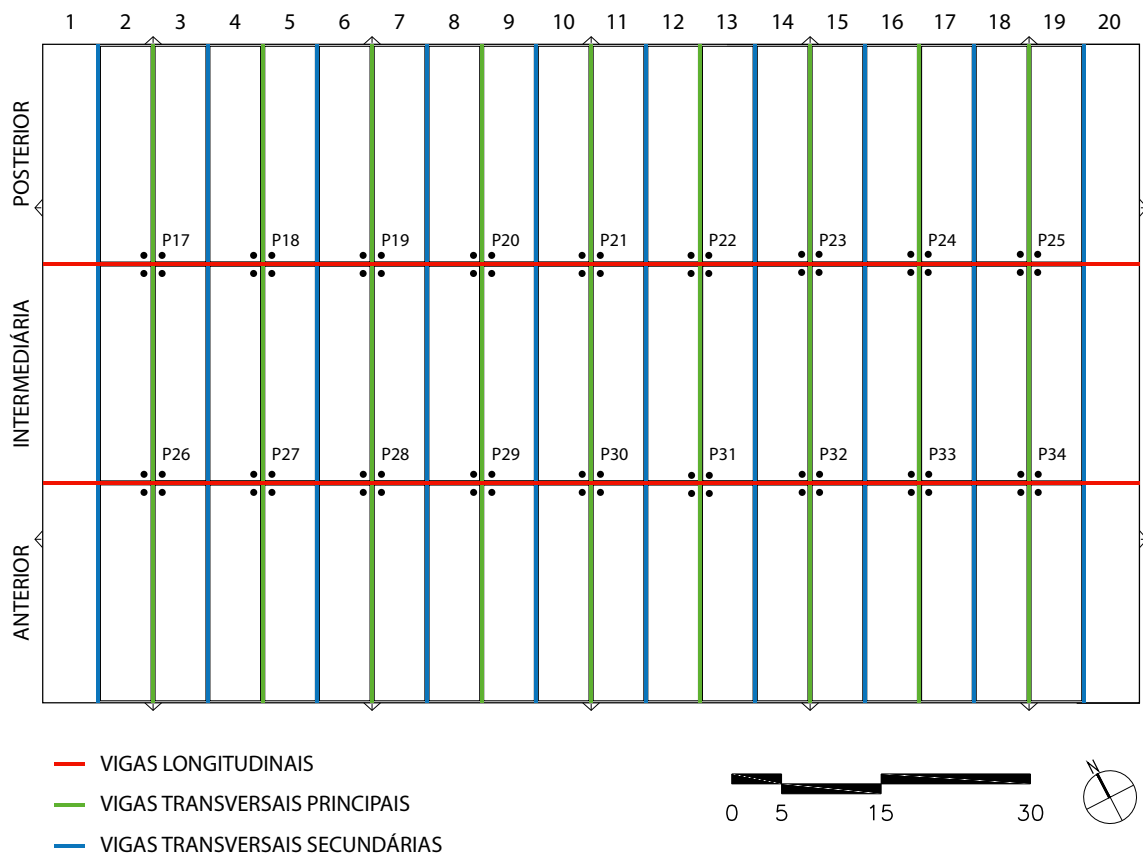


Figura 38 Tipologia das vigas utilizadas para a análise geométrica da estrutura. Elaborado pelo autor.

As vigas longitudinais correspondem às localizadas nos dois eixos de pilares centrais do edifício. As vigas transversais principais são as vigas coincidentes com os eixos transversais do edifício (numerados de 1 a 9 no projeto de estrutura) e encontram-se diretamente apoiadas nos pilares internos. As vigas transversais secundárias, por sua vez, não se encontram apoiadas diretamente em nenhum pilar e distribuem sua carga nas vigas longitudinais ou nas empenas da fachada.

Para viabilizar o escoamento dessas águas, o projeto estrutural da cobertura previu, conforme ilustrado na Figura 39, detalhe A, uma diferença de nível de 2cm do topo das empenas transversais (sudeste e sudoeste), que estariam em cota mais alta, para as vigas transversais principais. Ao mesmo tempo, as vigas longitudinais (observadas em vista no corte da na Figura 39) possuiriam contra-flechas sucessivas de 1,5cm, em cada segmento de 11m, detalhe B, para permitir o escoamento da água transversalmente aos módulos da cobertura.

Essa configuração também resultara em vigas transversais secundárias, não exibidas neste corte, posicionados numa cota 1,5cm superior às vigas principais.

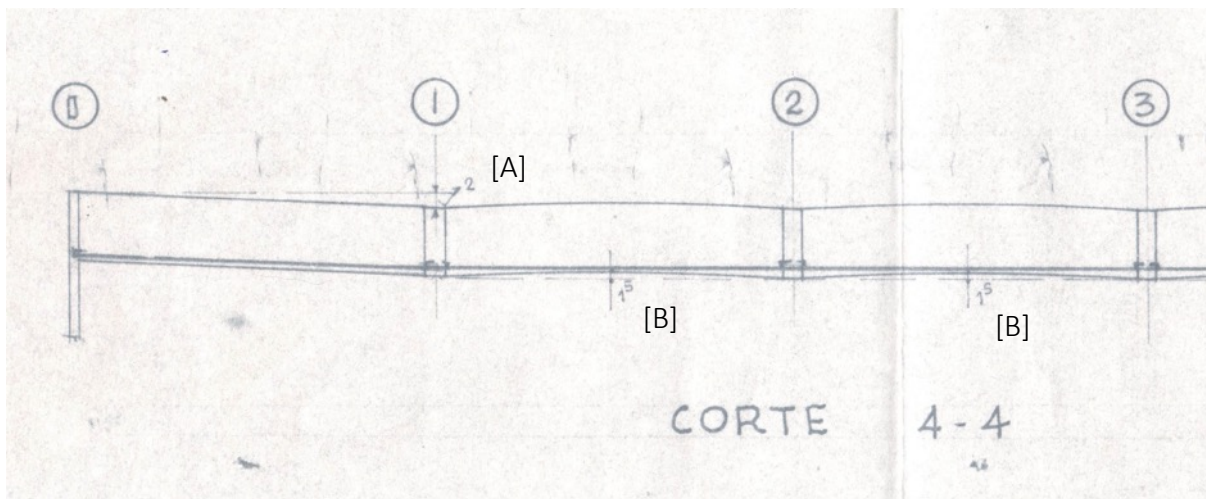


Figura 39 Corte longitudinal da cobertura do edifício, as vigas coincidentes com os eixos principais estão situadas 1,5cm abaixo das vigas entre eixos (não exibidas no detalhe construtivo).

A Figura 40 abaixo, ilustra o formato das vigas invertidas, representadas fora de escala, de acordo com os detalhes do projeto de estrutura, evidenciando a declividade para o escoamento das águas pluviais, tendo como referência um plano horizontal, representado pela linha tracejada.

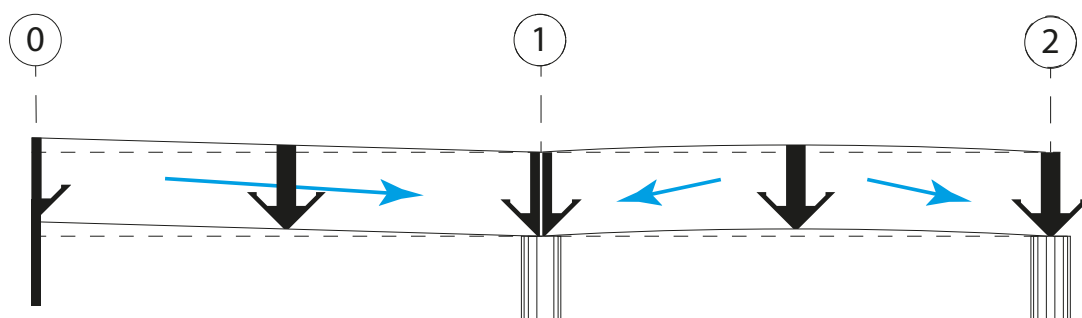


Figura 40 Corte esquemático fora de escala, longitudinal ao edifício, representando a diferença de nível das vigas para prover a inclinação para o escoamento das águas pluviais nas lajes da cobertura. Elaborado pelo autor.

Ao mesmo tempo, conforme ilustrado na Figura 41, que apresenta um corte transversal da cobertura, foi especificado que as vigas longitudinais estariam numa cota 4cm inferior à das empenas principais, detalhe A. Enquanto as vigas transversais dos segmentos anterior e posterior, possuiriam uma contra-flecha de 2cm. No segmento intermediário das vigas transversais, há previsão de uma contra-flecha de 7cm, detalhe C.

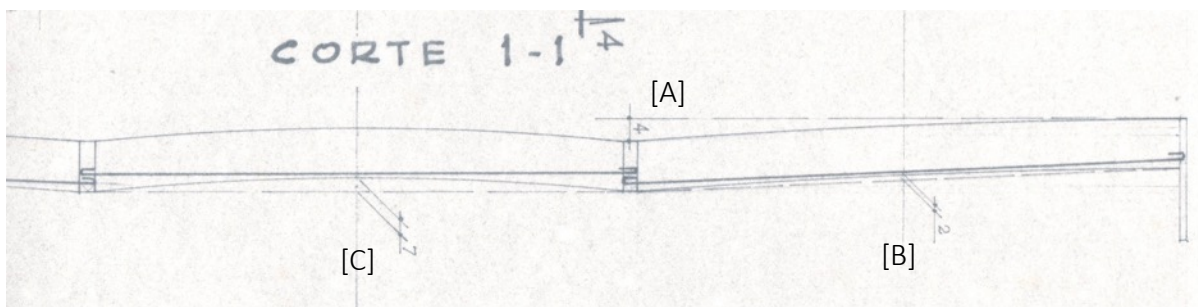


Figura 41 Corte transversal do edifício, com detalhe das vigas do segmento intermediário, à esquerda, e a viga do segmento anterior ou posterior, à direita. Reprodução da folha nº 130 do projeto estrutural.

A Figura 42 esquematiza, fora de escala, um corte transversal da cobertura ilustrando a declividade e as contra-flechas previstas nas vigas, conforme detalhadas em projeto.

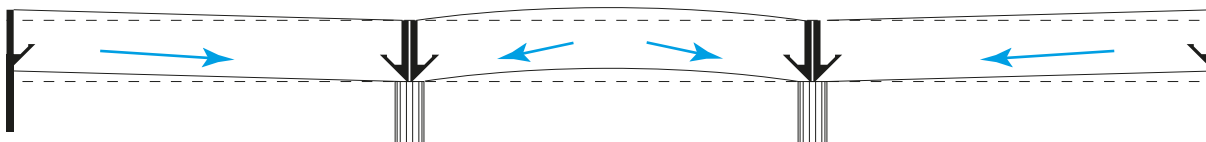


Figura 42 Corte esquemático fora de escala, transversal do edifício, representando a diferença de nível das vigas para prover a inclinação para o escoamento das águas pluviais nas lajes da cobertura. Elaborado pelo autor.

Contudo, a diferença de nível de 4cm entre as extremidades dos segmentos de viga anteriores e posteriores representa uma declividade menor que 0,2% na laje desses módulos, enquanto que a contra-flecha de 2cm nessa região, não interfere de forma prática para o escoamento das águas pluviais, já que o desnível permanece inalterado. Para os módulos intermediários, a contra-flecha de 7cm é o único detalhe construtivo que garante declividade para a laje, equivalente a 0,6% para cada lado.

Observa-se que, mesmo que fosse desconsiderado qualquer deslocamento vertical, seja causado por sobrecarga ou deslocamento lento do concreto, as inclinações previstas, de 0,2% e 0,6%, seriam insuficientes para o escoamento das águas pluviais à luz da normalização vigente. Embora normas mais antigas como a NBR 10.844 (1989)¹⁹, ainda determinem uma declividade mínima de 0,5% para coberturas horizontais de laje, as normas mais atualizadas como a NBR 9.575 (2010)²⁰ estabelecem inclinação mínima de 1% para superfícies

¹⁹ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Instalações prediais de águas pluviais**. NBR 10.844. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

²⁰ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Impermeabilização – Seleção e projeto**. NBR 9575. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

impermeabilizadas. Verifica-se que, mesmo considerando uma declividade mínima de referência de 0,5%, a inclinação das lajes dos módulos anteriores e posteriores, de 0,2%, está muito aquém desse valor.

Diante dessas condições e considerando ainda a ausência de maiores informações sobre o projeto dessa estrutura, como memoriais descritivos e memoriais de cálculo, é possível supor que o projeto não previu contra-flechas para compensar os deslocamentos verticais imediatos (quando a estrutura entra em serviço) e os causados pelo carregamento de longa duração, relacionados à deformação lenta do concreto²¹.

SIMÕES (2003) afirma que um dos grandes problemas do projeto da cobertura foi “não ter previsto contra flecha compatível para absorver a deformação do concreto armado” e garantir a drenagem da laje.

Ao mesmo tempo em que tais contra-flechas podem evidenciar a previsão do projetista de um comportamento distinto entre as vigas, já que possuem deslocamentos diferentes conforme sua posição na cobertura (7cm no módulos centrais e 2cm nos módulos posteriores e anteriores) e, eventualmente, pudessem compensar algum deslocamento vertical, elas não são, por si só, suficientes para prover uma inclinação na laje para escoamento das águas de chuva.

4.2 ANÁLISE DOS DESLOCAMENTOS RELATIVOS DA COBERTURA

Como método investigativo para qualificar e quantificar os deslocamentos verticais da cobertura, foi realizado um levantamento topográfico interno da estrutura de concreto da cobertura, a partir da medição das cotas de fundo das vigas, utilizando-se um taqueômetro²², conhecido também como uma estação total.

O trabalho, realizado por uma empresa de topografia, foi desenvolvido em conjunto com atividades de elaboração do Plano de Gestão da Conservação do Edifício Vilanova Artigas.

²¹ A deformação lenta, também denominada fluência, é um fenômeno natural do concreto caracterizado pelo aumento gradual da deformação quando sujeito a uma tensão constante ao longo do tempo.

²² Taqueômetro ou Estação total é um instrumento eletrônico capaz de medir ângulos e distâncias e armazenar, em meio digital, os dados recolhidos, com possibilidade de exportação das informações para o ambiente CAD.

O levantamento resultou em cotas distribuídas numa malha de 2,75m x 2,75m, compreendendo os cruzamentos tanto das vigas invertidas quanto das vigas “caixão-perdido”. Os valores brutos foram tabulados e, para fins de leitura e análise, foram representados em planta cromática, conforme ilustrado na Figura 43, ignorando-se a geometria tridimensional das lajes e vigas e das aberturas zenitais da estrutura.

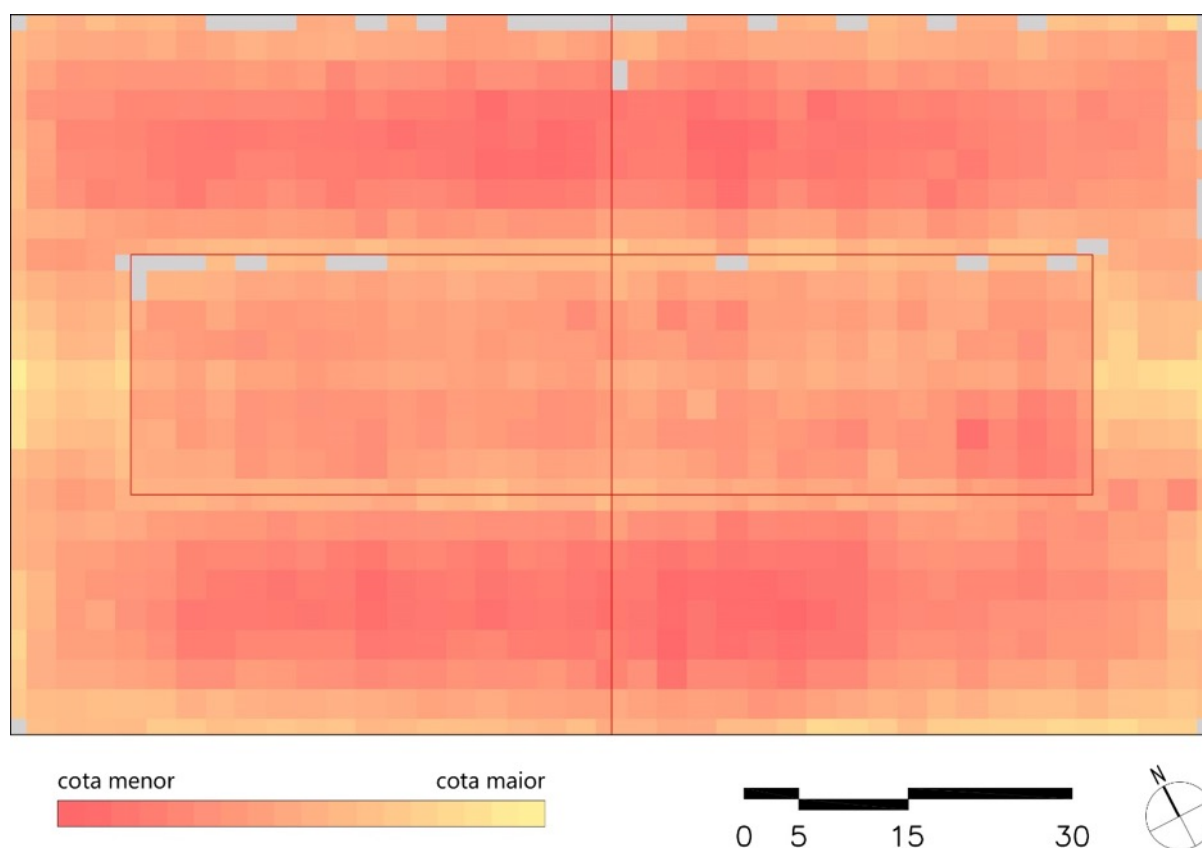


Figura 43 Planta da cobertura, com representação do levantamento bruto das cotas de fundo das vigas, em escala cromática, obtidas por levantamento topográfico. Autor: Rodrigo Vergili.

Nessa representação, a escala de cor equivale a variação das cotas de fundo das vigas, ou seja, cotas mais baixas da cobertura estão representadas em tons vermelhos enquanto as mais altas, em tons amarelos²³. Curiosamente, é possível observar que as cotas mais altas estão localizadas na região central dos módulos intermediários, próximos às fachadas noroeste e sudeste, e que essa situação não se mantém para os módulos intermediários delimitados pelas juntas de dilatação.

²³ Trechos em cinza correspondem a lacunas do levantamento, causadas tanto por obstáculos para medição com o taqueômetro quanto por falhas no próprio processo de levantamento.

Contudo, conforme análise geométrica apresentada anteriormente, as cotas nominais das vigas são variáveis conforme sua posição em planta e mais altas, nominalmente, no trecho em amarelo, indicando que a cobertura foi construída de acordo com o detalhamento do projeto estrutural.

Dessa forma, a partir das cotas e inclinações nominais do projeto estrutural, a cobertura foi “remodelada” em escala cromática, resultando na representação da Figura 44, onde as vigas longitudinais se destacam em tons avermelhados por estarem situadas nas cotas mais baixas da cobertura. Essa releitura do projeto estrutural demonstra que a contra-flecha de 7cm nas vigas intermediárias é significativa frente às outras compensações da estrutura.

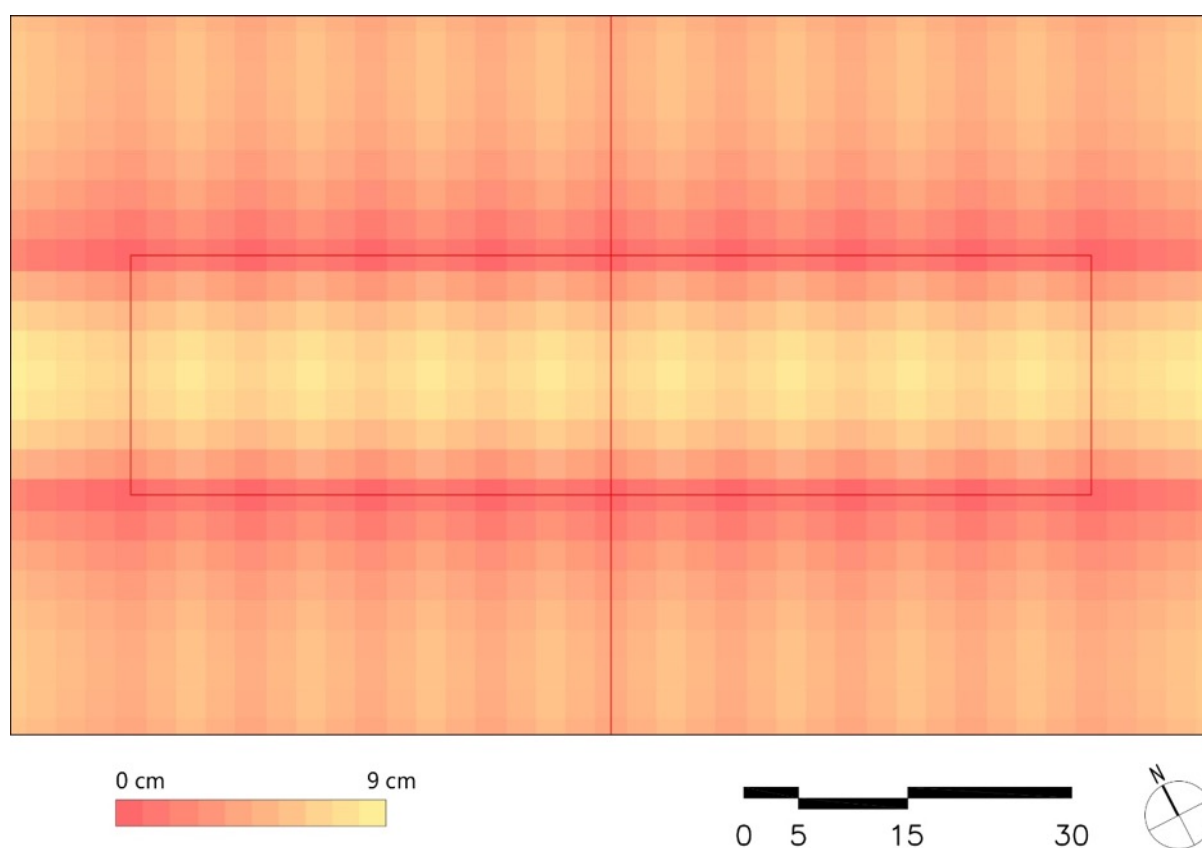


Figura 44 Planta da cobertura, com representação das cotas nominais de fundo das vigas de acordo com detalhes construtivos do projeto estrutural. Autor: Rodrigo Vergili.

A partir dessa modelagem, foi feita a subtração das cotas nominais (Figura 44) dos valores obtidos pelo levantamento com a estação total (cotas reais, Figura 43). Nessa condição, caso a estrutura não tivesse sofrido nenhum deslocamento, o resultado da subtração seria

zero, enquanto que qualquer outro valor representaria um deslocamento vertical *aparente*²⁴. O resultado dessa operação pode ser observado na representação cromática da Figura 45, a seguir.

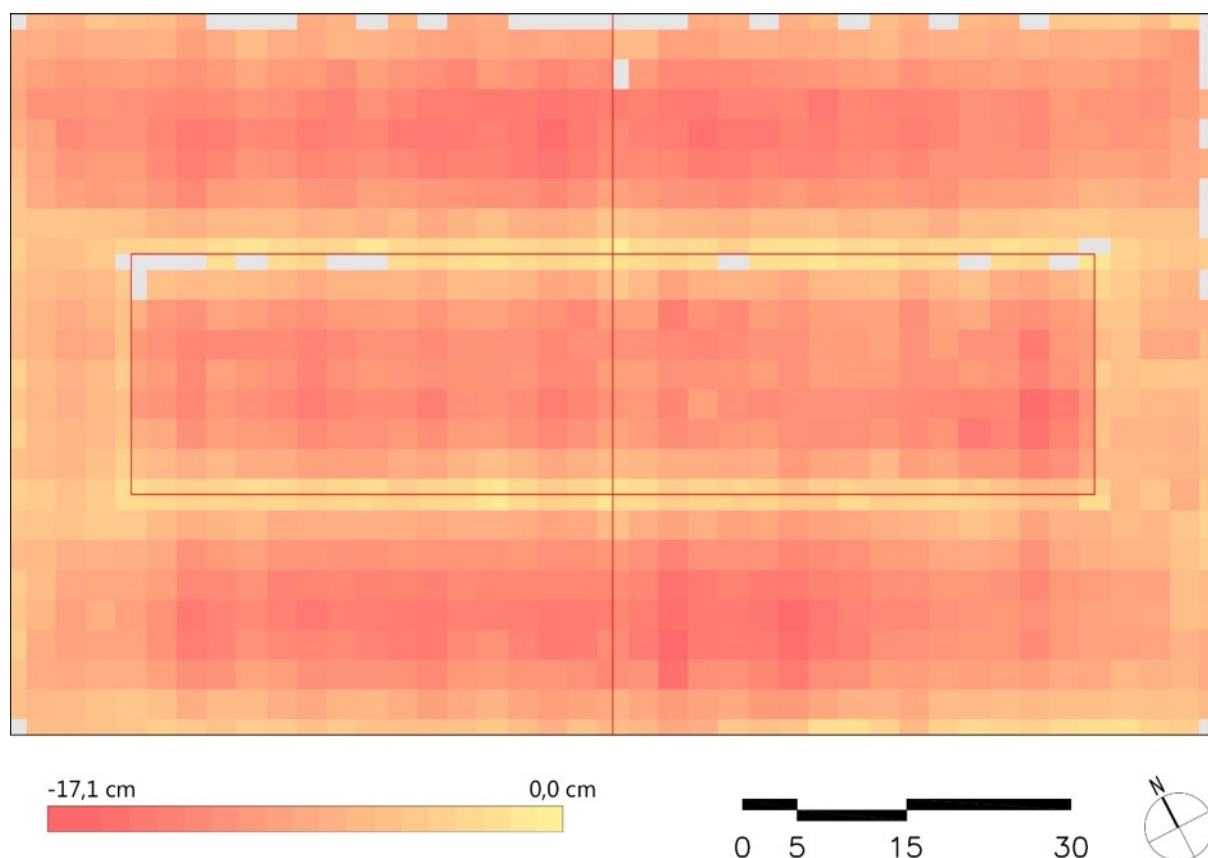


Figura 45 Deslocamentos verticais *aparentes* da cobertura, a partir da comparação dos valores obtidos pelo levantamento topográfico com os valores nominais do projeto estrutural. Autor: Rodrigo Vergili.

Comparado ao levantamento bruto (cotas reais) exibido na Figura 43, a Figura 45 apresenta uma variação de cor mais uniforme entre as faixas de módulos anterior, intermediária e posterior da cobertura, com predomínio de tons alaranjados. Observa-se que, comparada à cota de referência “0,0”, situada ao longo das vigas longitudinais – onde há o apoio dos pilares –, toda as vigas da estrutura sofreram um deslocamento vertical e relativamente uniforme, diferentemente do observado na Figura 43, refletindo, dessa forma, um comportamento mais previsível e esperado da cobertura.

²⁴ O deslocamento vertical *aparente* corresponde a diferença dos valores obtidos pelo levantamento topográfico com os valores nominais de projeto (considerando a inclinação da laje e contra flechas projetadas), de forma que não foram consideradas imprecisões decorrentes da própria etapa de construção da cobertura.

Esses dados fortalecem indícios de que a cobertura foi construída conforme os projetos existentes e que as contra flechas previstas foram insuficientes para compensar os deslocamentos verticais totais.

Enquanto as informações da Figura 45 são válidas para identificar os deslocamentos verticais *aparentes*, a Figura 43 representa fielmente as cotas atuais da estrutura (fundo das vigas).

A partir dessas análises, também é possível estabelecer uma correspondência entre as cotas de fundo das vigas com a cota osso da laje, tomando como referência a altura nominal da laje nervurada (composta pela seção em A invertido, ilustrada na Figura 6, página 29).

Nessa condição, é possível avaliar as condições globais da cobertura quanto à drenagem das águas pluviais. Para tanto, a escala de cor da Figura 43 (valores brutos do levantamento) foi ajustada para representar a cota média dos pontos de captação de água, ou seja, os ralos, em amarelo; as cotas mais altas que os pontos de captação estão em verde; e as cotas mais baixas que os pontos de captação, em vermelho, conforme apresentado na Figura 46.

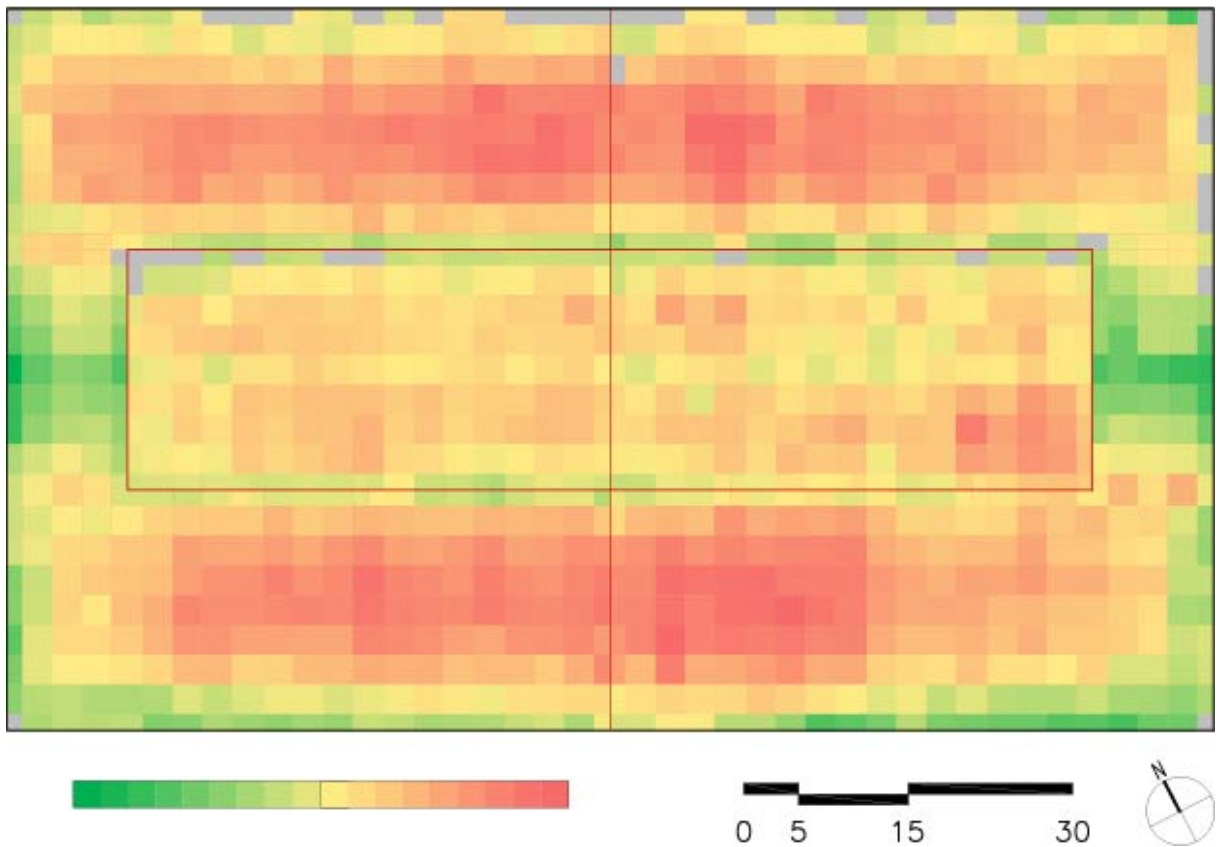


Figura 46 Planta da cobertura, com representação das cotas de fundo das vigas, em escala cromática, obtidas por levantamento topográfico, supondo sua correspondência com as cotas osso da laje. Em verde estão representadas as regiões com cota superior aos pontos de captação e em vermelho as regiões com cota inferior.
 Autor: Rodrigo Vergili

No entanto, para metade da cobertura, a correspondência entre a cota de fundo da viga com a cota da laje não é admissível diante de intervenções que resultaram na reconstrução da laje. Dessa forma, suprimindo a área sob intervenção, conforme apresentado na Figura 47, é possível identificar quatro áreas com características distintas relacionadas ao empoçamento de água, que também refletem as condições observadas em levantamentos de campo, conforme representado.

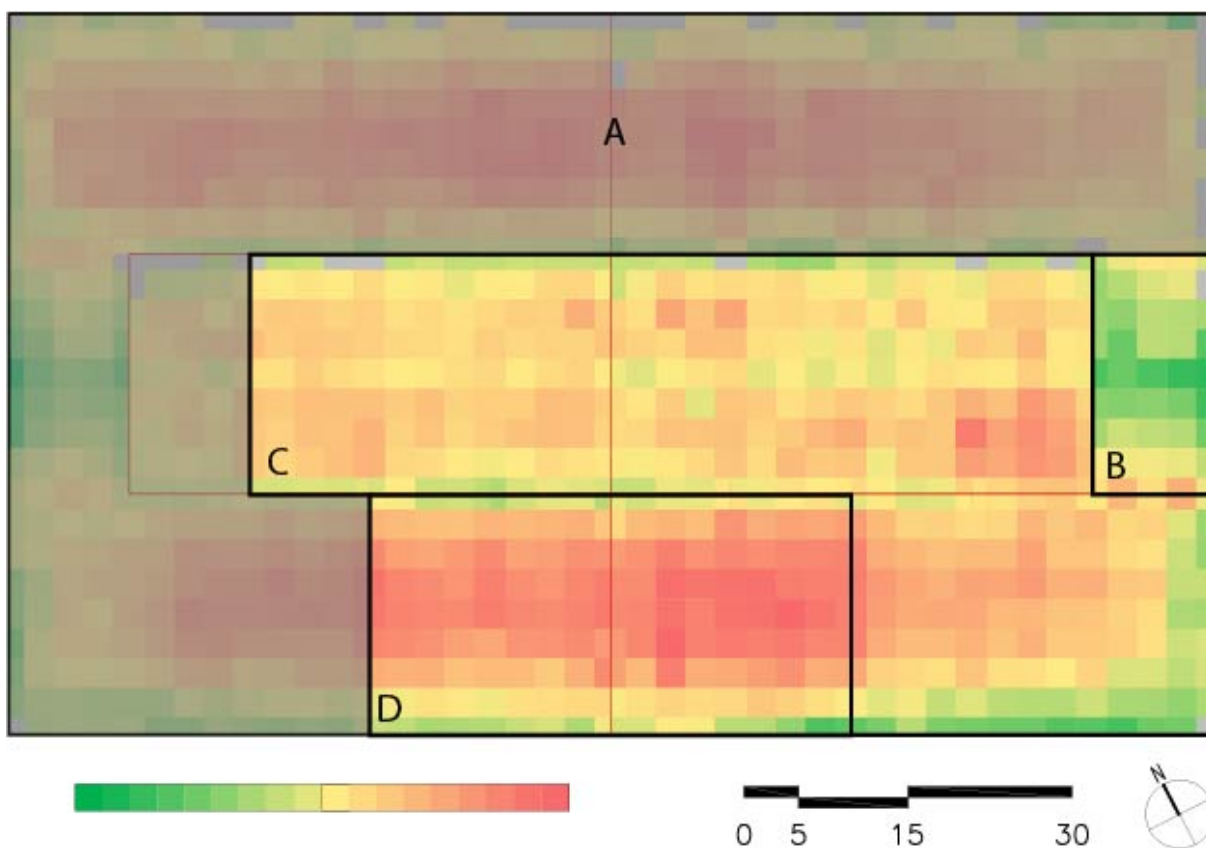


Figura 47 Planta da cobertura com delimitação das áreas que apresentam comportamento similar quanto ao empoçamento de água de chuva. Autor: Rodrigo Vergili.

A área A representa os módulos que sofreram intervenção com a reconstrução da laje e não apresentam empoçamento de água.

A área B, compreendida pelos módulos 19I e 20I, é a única cujo trecho central das lajes encontra-se numa cota superior às suas extremidades, mesmo não tendo sido objeto de intervenção anterior. Apesar da dificuldade do escoamento superficial das águas, tanto pelo caimento existente de 0,6% ser inferior ao exigido pela norma NBR 9575 (2010) (mínimo de 1%), quanto pela conexão aos pontos de drenagem não ocorrer de forma direta, não foi identificada a formação de lâminas d'águas, apenas o empoçamento superficial e residual das águas pluviais. Ainda que longe do ideal, a evaporação natural se mostrou para esse caso, suficiente para o esgotamento da água.

A área C, compreendida pelos demais módulos intermediários e pelos módulos anteriores 15A, 16A, 17A, 18A, 19A e 20A, localizados sobre o Estúdio 4, apresentam empoçamento de água, com formação de lâmina d'água contínua, de espessura máxima da ordem de 5cm, que eventualmente consegue se evaporar.

Já a área D, compreendida pelos módulos anteriores 7A, 8A, 9A, 10A, 11A, 12A, 13A e 14A, situados principalmente sobre o Estúdio 3, apresentam empoçamento de água, com formação de lâmina d'água contínua, de espessura máxima da ordem de 10cm.

Tanto a área C como a D se caracterizam pela permanência de água acumulada nas lajes durante após os períodos de chuva. A área D é considerada ainda mais crítica justamente pela altura da lâmina d'água, que afeta diretamente o tempo para sua evaporação natural.



Figura 48 Vista de módulo intermediário da cobertura, área C, com acúmulo de água de chuva. Foto: Rodrigo Vergili

Conforme comentado anteriormente, o resultado do levantamento topográfico, quando analisado comparativamente aos dados de projeto, é convergente com o observado em inspeções *in loco* e foi fundamental para a compreensão das atuais condições da laje.

4.3 INSPEÇÃO VISUAL NA SUPERFÍCIE

A inspeção visual consistiu numa vistoria da superfície impermeabilizada da cobertura, correspondente a aproximadamente 10.000 m².

Foram realizadas inspeções visuais na membrana de poliureia com o objetivo de identificar falhas e anomalias na superfície impermeabilizada e outras ocorrências que pudessem comprometer a estanqueidade do sistema de impermeabilização.

Foram identificadas as seguintes ocorrências, já observadas anteriormente, durante e logo após as obras de impermeabilização da cobertura, de acordo com os relatórios da PhD Engenharia (2013-2015):

- Delaminação entre camadas - É a perda de adesão entre camadas de poliureia, Figura 49. De acordo com os relatórios de obra da PhD Engenharia, essa ocorrência foi devido à falha na aplicação do produto e ocorre quando a camada inferior de poliureia excede o tempo máximo de recobrimento no momento da aplicação da camada superior. As delaminações observadas na cobertura da FAU são típicas da pulverização final, que tem como finalidade promover maior rugosidade à superfície, devido a baixa espessura verificada, não evidenciando comprometimento da camada principal do sistema de impermeabilização.

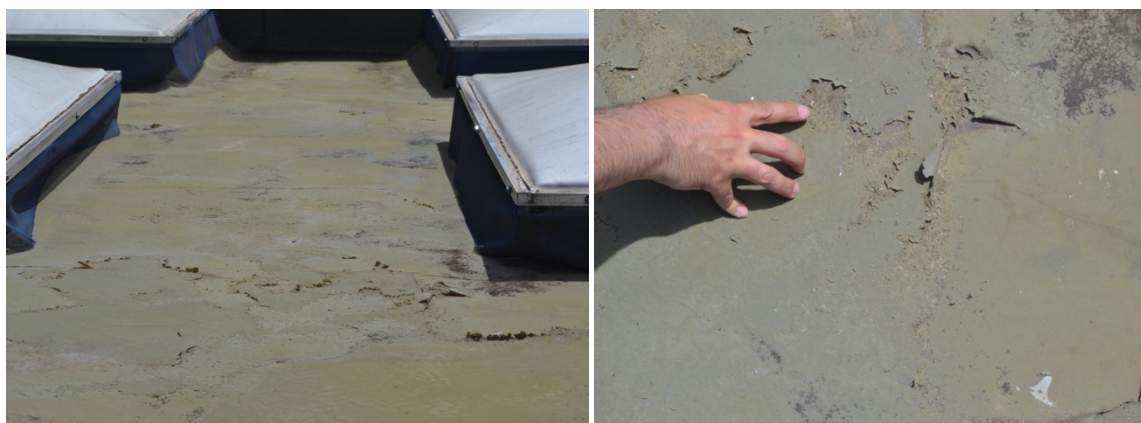


Figura 49 Delaminação do revestimento de poliureia em módulo da cobertura. Autor: Rodrigo Vergili.

- Fissuras na membrana de poliureia - É o rompimento da membrana causado por movimentações do substrato, conforme observado nas Figura 50, sendo identificadas duas causas distintas:
 - Fissuras causadas pela desagregação e deslocamento do substrato de concreto, possivelmente decorrente de falha executiva na regularização da superfície da laje, já que não foram identificados deslocamentos por corrosão de armaduras. Essa tipologia é caracterizada pelo formato irregular das fissuras e pela identificação de som cavo.
 - Fissuras causadas pela movimentação da laje, manifestações patológicas mais evidentes nas lajes reconstruídas (campanha de recuperação entre 1996 a 2002), onde são, aproximadamente, coincidentes com a posição das placas de argamassa armada utilizadas como fôrma para a concretagem (tipologia caracterizada por fissura unidirecional e ortogonal à orientação da laje).



Figura 50 Fissura identificada na membrana de impermeabilização aplicada na laje. Autor: Rodrigo Vergili

- Protuberâncias e marcas de escoamento - São imperfeições no acabamento da poliureia, conforme observado na Figura 51, devido à falha no momento da aplicação do produto, decorrentes de: problemas na regularização do substrato; excesso de produto; dificuldade de aplicação uniforme em áreas com outras interferências físicas, devido principalmente à secagem rápida do produto.



Figura 51 Detalhe de protuberâncias no entorno de tubulações aparentes na cobertura.

- Alteração de cor – Anomalia devido à falha na mistura dos componentes da poliureia, no momento da aplicação do produto, causando alteração de cor devido à exposição a radiação solar, como observado na Figura 52.



Figura 52 Alteração de cor não uniforme, coincidentes com marcas de fluxo de aplicação

Paralelamente, foram verificadas as condições internas da cobertura para identificação de eventuais gotejamentos provenientes da água de chuva, nessa inspeção interna, não foram identificadas goteiras sob os módulos com empoçamento de água, corroborando com o resultado da inspeção visual da superfície impermeabilizada.

Nos demais módulos, há ocorrência pontual de goteiras, predominantemente nos períodos de chuva, indicando infiltração de água pelas fissuras da membrana, ainda que não haja acúmulo de água nas lajes, Figura 53.

Dessa forma, com exceção das fissuras, que nitidamente romperam a membrana de poliureia, as demais falhas e anomalias, até o momento, não indicaram comprometimento da estanqueidade do sistema de impermeabilização.

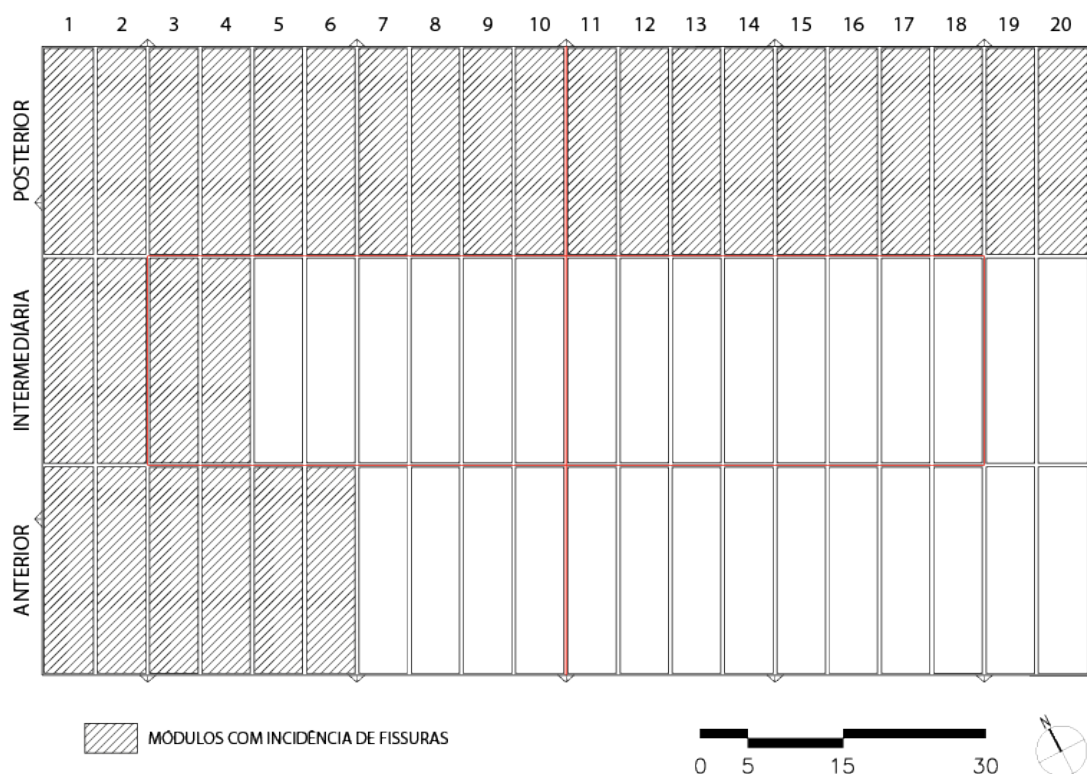


Figura 53 Destaque para os módulos onde há ocorrência de fissuras na laje e consequentemente na membrana de poliureia. Nos demais módulos, não foram identificadas

4.4 INSPEÇÃO COM “HOLIDAY DETECTOR”

A inspeção com *Holiday Detector*, ou Detector de Descontinuidades, é considerada uma técnica não-destrutiva utilizada, no Brasil, principalmente pela indústria petroquímica para verificação de descontinuidades (falhas) em revestimentos de tubulações metálicas, conforme procedimentos detalhados na NBR 16.172²⁵ (2014).

Nos últimos anos, apesar da ausência de normalização nacional específica, esses mesmos procedimentos estão sendo utilizados na construção civil para detecção de falhas em revestimentos isolantes elétricos, como é o caso de muitos sistemas de impermeabilização que

²⁵ ABNT NBR 16.172:2014 - Revestimentos anticorrosivos – Determinação de descontinuidades em revestimentos anticorrosivos aplicados sobre substratos metálicos.

se constituem de membranas elastoméricas. A norma ASTM D 4787²⁶ (2013) utiliza procedimentos similares para verificação de falhas (descontinuidades) em membranas aplicadas sobre substrato de concreto.

O princípio de funcionamento consiste na geração de alta tensão (até 70.000V) em baixa corrente (0,1mA) aplicada sobre o revestimento. As armaduras de aço presentes no concreto, garantem o aterramento do substrato, dessa forma, quando o eletrodo de alta tensão se aproxima de uma descontinuidade do revestimento isolante – como uma fissura, por exemplo –, ocorre o centelhamento (faísca causada pelo arco voltaico) e o equipamento emite um sinal sonoro, identificando a falha.

Dessa forma, foi proposta a verificação de algumas regiões da laje com o uso do detector de descontinuidade ETC-AC Digital, da marca ETCLASS, com variação de corrente de 5 a 70kV AC, conforme ilustrado na Figura 54.



Figura 54 Detector de descontinuidade ETC-AC Digital, da marca ETCLASS. Autor: Rodrigo Vergili.

Nas verificações *in loco*, identificaram as fissuras já observáveis a olho nu e micro furos, da ordem de 160µm, Figura 55, praticamente imperceptíveis numa inspeção visual, mas por

²⁶ ASTM D4787-13 – *Continuity Verification of Liquid or Sheet Linings Applied to Concrete Substrates* [Verificação de continuidade de revestimentos líquidos ou de camadas aplicados em substratos de concreto].

outro lado, provavelmente insuficientes para causarem danos que possam comprometer a estrutura de concreto.

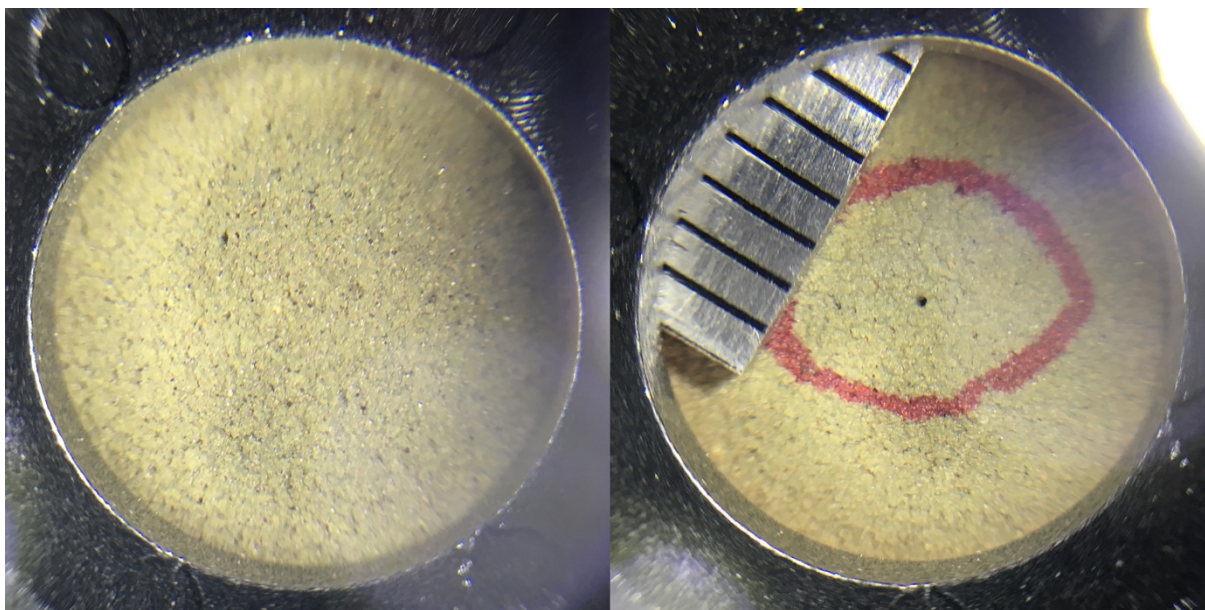


Figura 55 A esquerda detalhe ampliado da superfície íntegra do revestimento de base poliureia. A direita, destaque para micro furo, identificado por meio do Detector de Descontinuidade, na membrana do sistema de impermeabilização, com referência de régua escalonada em milímetros. Foto: Rodrigo Vergili.

Como resultado da inspeção, considerou-se que a verificação da descontinuidade por meio do equipamento de Holiday Detector é um procedimento válido quando pretende-se verificar a continuidade – no caso, a estanqueidade – de um sistema de impermeabilização de membrana elastomérica.

Contudo, esse procedimento é tão eficiente quando aplicado em superfícies que já apresentam sinais visíveis de degradação, como é o caso de fissuras, por exemplo. Nessa condição, o alerta de descontinuidade é acionado a todo o momento dificultando a identificação de outras falhas não visíveis a olho nu.

5. ANÁLISES LABORATORIAIS DA MEMBRANA À BASE DE POLIUREIA

Conforme pesquisa documental realizada acerca da construção do edifício Vilanova Artigas, não foram localizadas especificações quanto ao tipo de impermeabilização que seria adotado em sua cobertura ainda na etapa de projeto. Contudo, é amplamente conhecido, tanto por relatos de professores da FAU USP, quanto por relatórios de obras, que a impermeabilização originalmente aplicada consistia num sistema de elastômeros em solução, utilizando-se os polímeros policloropreno e polietileno clorossulfonado, conhecidos pelas marcas comerciais Neoprene e Hypalon, respectivamente, ambos fabricados pela DuPont. Para cotejamento de algumas propriedades dos produtos de impermeabilização, na Tabela 5 constam propriedades do sistema policloropreno-polietileno clorossulfonado e de poliureia.

Tabela 5 – Propriedades físico mecânicas da poliureia x policloropreno – polietileno clorossulfonado

Propriedade	Policloropreno (a)	Polietileno clorossulfonado (a)	Poliureia (b)
Resistência à tração espessura amostra (MPa)	11 MPa ASTM D412-51 T	3 MPa ASTM D412-51 T	10 MPa ASTM D638 Tipo IV ou D412 Die C
Alongamento (%) espessura amostra	400 % ASTM D412-51 T	400 % ASTM D412-51 T	Mínimo de 200% para as aplicações em substrato de concreto onde pode ocorrer fissuração D638 Tipo IV ou D412 Die C
Resistência ao rasgo espessura amostra (N/mm)	N/D	N/D	35 kN/m ASTM D624 Die C
Adesão	0,36 MPa ASTM D 903	(c)	Média de três trações iguais ou superior a 2,0 MPa (com igual ou maior do que 50 % de falha coesiva do substrato em cada uma das três repetições D7234

Notas:

(a) Critérios da norma ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 9396: membrana elastomérica de policloropreno e polietileno clorossulfonado em solução para impermeabilização. 2007. Atualmente esta norma não é mais válida, foi cancelada, não tendo sido substituída por outra norma até o momento.

(b) ABNT NBR 16545:2016 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016)

(c) Não há critério para adesão ao substrato pelo fato do produto (polietileno clorossulfonado) ser indicado para as últimas camadas do sistema de impermeabilização, em combinação com o policloropreno que é indicado para as primeiras camadas cujo critério de adesão ao substrato é considerado.

De acordo com o item 3.6, a recuperação do sistema de impermeabilização de 12 módulos da cobertura, realizado em 2002 pela empresa Isoterma Construções Técnicas Ltda., foi feita com o sistema policloropreno-poliétileno clorossulfonado sob a alegação de ser uma solução mais eficiente do que a impermeabilização com membrana acrílica. A aplicação do policloropreno e poliétileno clorossulfonado é feita por meio de escovão, trinchá ou rolo, em camadas entremeadas com tela de reforço (tela de poliéster). O policloropreno é aplicado nas primeiras camadas e o poliétileno clorossulfonado é aplicado nas últimas camadas. A película seca com reforços tem, em média, 0,7mm (descontando a espessura dos reforços).

De fato, à época da demolição da impermeabilização existente, do início da intervenção de 2012-2015, o sistema policloropreno-poliétileno clorossulfonado, então com 10 anos de uso, ainda apresentava razoável nível de desempenho; havia poucos relatos de gotejamento de água da chuva na projeção dos módulos impermeabilizados com o sistema policloropreno-poliétileno clorossulfonado.

Apesar das evidências do seu bom desempenho, o sistema policloropreno-poliétileno clorossulfonado não foi considerado pelos consultores como soluções técnicas a ser cotejada para a nova intervenção na cobertura do edifício Vilanova Artigas em 2012.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA POLIUREIA APLICADA NA COBERTURA DO EDIFÍCIO VILANOVA ARTIGAS

As especificações do produto disponibilizadas pelo fornecedor de poliureia para a obra constam na Tabela 6.

Tabela 6 – Propriedades da poliureia pura e da poliureia híbrida, de acordo com catálogo técnico do fornecedor.

Propriedade	Poliureia pura (a)	Poliureia híbrida (b)
Resistência à tração (MPa)	18 MPa ASTM D638-14	16,5 MPa ASTM D638-14
Alongamento (%)	600 % ASTM D638-14	200 % ASTM D638-14
Resistência ao rasgo (N/mm)	75,3 N/mm ASTM D624-12	75,3 N/mm ASTM D624-12

Notas:

(a) VIAPOLIURÉIA 600 PH Revestimento Elastomérico de Poliureia Pura - Ficha Técnica de Produto - Versão 06-07-2015. Viapol Euclid Group;

(b) VIAPOLIURÉIA 200 PH Revestimento Elastomérico de Poliureia Híbrida - Ficha Técnica de Produto - Versão 06-07-2015. Viapol Euclid Group;

Como já destacado no item 3.9, havia indícios de que a poliureia fornecida para a obra fosse híbrida, como sugere a descrição dos componentes nos rótulos das embalagens dos produtos. No entanto, o fornecedor indica nos seus catálogos técnicos, versão 2015, que a poliureia fornecida é a poliureia pura (ViaPoliureia 600 PP), como ilustrado na Figura 56.



Rótulo da embalagem do produto, Parte 1: mistura de polioli polieter formulado



Rótulo da embalagem do produto, Parte 2: mistura de isocianato

Figura 56 Rótulos dos produtos fornecidos para a obra (2012 -2015). Fotos: Claudia Oliveira, 2013

Como método de trabalho para caracterização da poliureia utilizada na obra foram realizadas análises laboratoriais de amostras coletadas em julho de 2014, durante as obras de recuperação e de impermeabilização da cobertura do edifício, através da aplicação de poliureia em chapas de acrílico no momento da execução do serviço de impermeabilização. As amostras objeto desta análise, além de possuírem características representativas da poliureia utilizada no sistema de impermeabilização, constituem-se de material de mesmo lote de fabricação e mesma idade da poliureia aplicada na cobertura.

Dado que as características de resistência mecânica são alguns diferenciais da poliureia, quando comparada a outros produtos de impermeabilização, foram definidas as propriedades de resistência ao rasgo, resistência à tração e alongamento como parâmetros para caracterização desse material.

Como referência, foram adotados os valores constantes na ficha técnica do produto, conforme reproduzidos, integralmente, na Tabela 7.

Tabela 7 - Características técnicas da poliureia informada pelo fornecedor, à época da realização da obra no edifício Vilanova Artigas.

Característica	Especificação	Unidade
Densidade	1,110	g/cm ³
Tempo em gel	40	Segundos
Cura final	15	Minutos
Dureza	50	Shore D
Resistência ao rasgo ²⁷	75,3	kN/m
Alongamento ²⁸	600/500	%
Resistência à tração ²⁹	18	MPa
Resistência à aderência	> 3 (falha no concreto)	MPa

Importante ressaltar que todas as amostras coletadas em 2014 permaneceram armazenadas em ambiente protegido, em laboratório, sem exposição à luz, até o início dos ensaios. Os ensaios de caracterização das membranas tiveram início em novembro de 2016, portanto, dois anos e quatro meses após a moldagem da amostra. A partir desse período, parte das amostras foi exposta na cobertura do edifício Vilanova Artigas³⁰, simulando condições reais de uso da impermeabilização, a fim de verificar eventuais variações das características físicas e, eventualmente, relaciona-las ao desempenho da impermeabilização.

Para controle de eventuais dispersões nos resultados, foi realizado ensaio das amostras de controle, mantidas em laboratório.

Dessa forma as amostras foram divididas em três grupos:

A - Amostras mantidas em ambiente de laboratório, protegidas da luz e de intempéries para efeito de controle dos resultados a serem obtidos;

²⁷ A ficha técnica informa a resistência ao rasgo na unidade pli (pound per linear inch, libra por polegada linear), contudo os equipamentos de ensaios estão calibrados para uso do Sistema Internacional de Unidades, cuja unidade equivalente é N/mm. O valor de referência foi convertido de 430 pli para 75,3 N/mm.

²⁸ Valores reduzido de 600% para 500% na ficha técnica do produto em 2015.

²⁹ Valores alterados na ficha técnica do produto em 2015.

³⁰ As amostras já estão expostas na cobertura desde novembro de 2016 em razão das atividades do projeto de pesquisa do Plano de Conservação Preventiva para o edifício Vilanova Artigas ao qual esta dissertação está vinculada e do qual este pesquisador tomou parte.

B - Amostras submetidas ao envelhecimento natural, mantidas sobre a laje, na própria cobertura do edifício Vilanova Artigas, submersas em lâminas d'água resultante do empoçamento das águas pluviais, simulando condições reais da impermeabilização nos módulos onde a água de chuva acumula em razão da dificuldade de drenagem.

C - Amostras submetidas ao envelhecimento natural, mantidas sobre a laje, amostras mantidas na própria cobertura em região onde não há acúmulo de água, ou seja, simulando as condições da membrana exposta à radiação solar, bem como aos ciclos de molhagem e secagem, de acordo com a periodicidade das chuvas.

Os ensaios foram realizados de acordo com o período de exposição das amostras na cobertura, a saber: 3 meses, 6 meses, 12 meses, 18 meses e 24 meses. Para cada condição foram ensaiados 6 corpos-de-prova (CPs).

Os seguintes ensaios foram realizados:

- Ensaio de resistência à tração e alongamento, conforme norma ASTM D638³¹;
- Ensaio de rasgamento, conforme norma ASTM D624³².

Os ensaios foram conduzidos pelo laboratório SGS do Brasil, na unidade localizada em Piracicaba. As amostras foram cortadas em corpos de prova (CP) tipo IV para o para o ensaio de resistência a tração e alongamento e no formato C para o ensaio de resistência ao rasgo (Figura 57). A espessura dos corpos-de-prova ensaiados variou entre 1,5 a 3,5 mm.

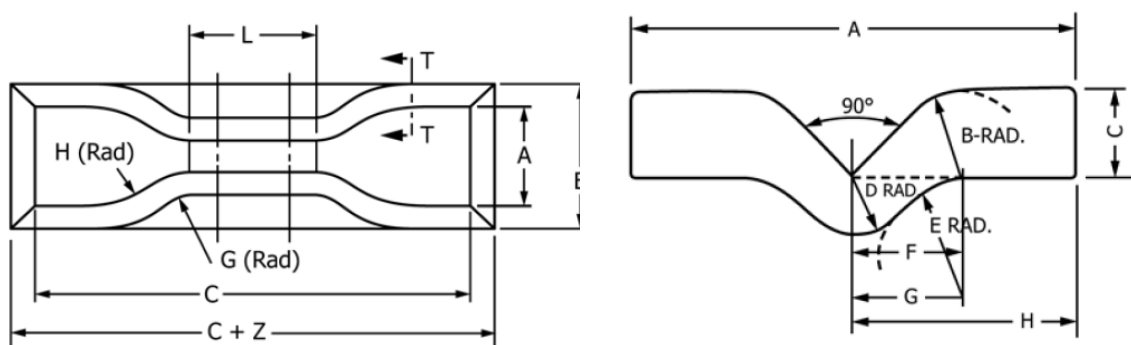


Figura 57 Formato de corte do corpo-de-prova tipo IV (ASTM D638) para ensaio de resistência à tração (esquerda) e formato do corpo-de-prova tipo C (ASTM D624) para o ensaio de resistência ao rasgo.

³¹ D638-14 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.

³² D624-12 Standard Test Method for Tear Strength of Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers.

Na Tabela 8 constam os resultados dos ensaios de caracterização (resistência ao escoamento, resistência à tração e alongamento e resistência ao rasgo) da membrana de poliureia.

Tabela 8 – Valores individuais dos corpos-de-prova no ensaio de caracterização da resistência à tração e alongamento da amostra de poliureia. Valores de referência do fornecedor.

CP	Resistência ao escoamento (MPa)	Resistência à tração (MPa)	Alongamento na ruptura (%)	Resistência ao rasgo (N/mm)
1	8,0	14,2	218,3	74
2	8,3	16,5	268,2	73
3	8,0	14,5	243,8	75
4	8,2	16,4	246,2	69
5	9,0	18,3	265,8	69
6	8,8	17,3	248,5	74
DESVIO PADRÃO	0,4	1,6	18,1	3
MÉDIA	8,4	16,2	248,5	72
VALOR DE REFERÊNCIA	9,5	18	600/500	75,3

Observa-se que, dentre as propriedades analisadas, nenhuma atingiu resultado mínimo esperado pela fabricante, contudo era de se esperar certa perda dessas propriedades diante do envelhecimento natural da amostra (tempo decorrido de sua produção até o momento de ensaio), ainda que ela tenha permanecido protegida das intempéries.

Diante dessas considerações, para a resistência à tração, o valor de 16,2 MPa obtido no ensaio, encontra-se, ainda que inferior, relativamente próximo ao valor mínimo exigido pela fabricante, que seria de 18 MPa (aproximadamente 10% inferior). O mesmo é válido para a resistência ao rasgo, 411 pli (72 kN/m) obtido na amostra enquanto a ficha técnica especifica 430pli (aproximadamente 5% inferior).

Por fim, o alongamento apresentou um resultado abaixo do esperado. De acordo com a ficha técnica do produto, o alongamento deveria ter atingido resultados da ordem de 600%, enquanto que o obtido foi de 248,5% (quase 60% inferior ao esperado).

A Tabela 9 apresenta os valores dos ensaios realizados nas amostras na condição A, ou seja, mantidas em laboratório em ambiente controlado.

Com base nos valores médios (Tabela 9) não foram verificadas tendências de variação das propriedades físicas com o passar do tempo que pudessem evidenciar perdas significativas

das propriedades do material, apesar das discrepâncias identificadas principalmente nos resultados para resistência ao rasgo.

Tabela 9 – Valores médios dos ensaios realizados nas amostras de controle

	IDADE 00	IDADE 03	IDADE 06	IDADE 12	IDADE 18	IDADE 24
Resistência ao escoamento (MPa)	8,4	9,45	10,18	9,37	9,35	9,35
Resistência à tração (MPa)	16,2	20,08	21,02	21,86	21,82	21,84
Alongamento (%)	248,5	288,63	274,92	279,98	269,7	275,87
Resistência ao rasgo (kN/m)	72	68,3	72,8	70,97	76,08	79,99

Na sequência são apresentados os valores médios dos ensaios realizados com as amostras mantidas na cobertura do edifício Vilanova Artigas, nas condições similares às do atual sistema de impermeabilização.

A Tabela 10, a seguir, apresenta os valores obtidos nos ensaios nas amostras mantidas na condição B, ou seja, condição submersa.

Tabela 10 – Resultados dos ensaios das amostras mantidas na condição “submersa”

	IDADE 00	IDADE 03	IDADE 06	IDADE 12	IDADE 18	IDADE 24
Resistência ao escoamento (MPa)	-	9,05	9,2	9,03	9,1	8,5
Resistência à tração (MPa)	-	17,39	17,68	16,67	17,27	16,77
Alongamento (%)	-	269,8	258,6	254,81	245,48	247,97
Resistência ao rasgo (kN/m)	-	73,1	68	93,94	68,94	70,44

Os resultados para as amostras mantidas em condição submersa não evidenciam variações significativas de propriedades no espaço de tempo definido. Contudo, observa-se uma tendência de redução da capacidade de alongamento e de resistência a tração da membrana.

A Tabela 11 apresenta os resultados dos ensaios nas amostras mantidas na condição C, ou seja, expostas aos efeitos cíclicos de molhagem e secagem.

Tabela 11 – Resultados dos ensaios das amostras mantidas na condição “seca”.

	IDADE 00	IDADE 03	IDADE 06	IDADE 12	IDADE 18	IDADE 24
Resistência ao escoamento (MPa)	-	9,66	8,7	8,37	8,17	8,57
Resistência à tração (MPa)	-	17,73	16,94	16,3	15,52	16,74
Alongamento (%)	-	264,9	262,16	256,11	257,3	251,48
Resistência ao rasgo (kN/m)	-	68,1	64,73	76,53	70,19	85,31

As amostras mantidas na condição “seca” apresentam uma variação mais consistente em suas propriedades evidenciando uma tendência de perda da resistência ao escoamento, resistência à tração e alongamento.

Em todas as condições de exposição, a variação dos resultados de resistência ao rasgo não evidencia nenhuma tendência de redução ou acréscimo dessa característica do material.

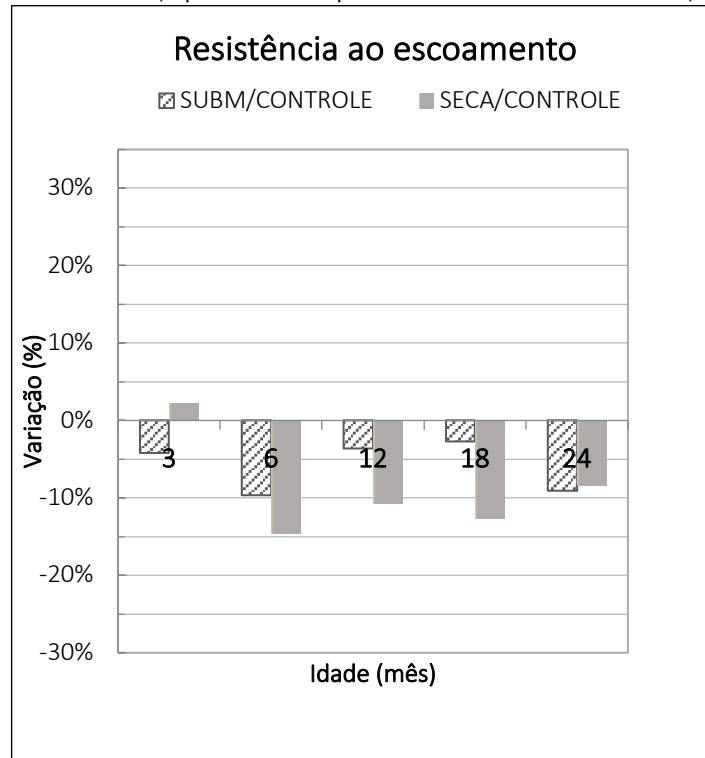
5.1.1 Análise dos resultados por propriedade do material

A Tabela 12 apresenta os resultados de resistência ao escoamento para as amostras ensaiadas, enquanto o Gráfico 1 ilustra a variação, em porcentagem, dos valores obtidos entre as amostras de mesma idade, com base na amostra controle.

Tabela 12 – Resultados dos ensaios de resistência ao escoamento (MPa).

	IDADE 00	IDADE 03	IDADE 06	IDADE 12	IDADE 18	IDADE 24
Amostras controle	8,4	9,45	10,18	9,37	9,35	9,35
Condição submersa	-	9,05	9,2	9,03	9,1	8,5
Condição seca	-	9,66	8,7	8,37	8,17	8,57

Gráfico 1 – Variação da resistência ao escoamento das amostras mantidas em condição submersa e seca, quando comparadas à amostra controle, em %.



Verifica-se que, a partir dos seis meses, houve perda média aproximada de 10% da resistência ao escoamento nas amostras mantidas em todas as condições de uso, apesar da variação dessa característica não ocorrer de forma linear. A perda foi maior para as amostras mantidas na condição seca, ou seja, sujeitas aos ciclos de molhagem e secagem e variações de temperatura, de acordo com as variações climáticas sazonais.

A Tabela 13 apresenta os resultados de resistência à tração para as amostras ensaiadas e o Gráfico 2 ilustra a variação, em porcentagem, dos valores obtidos entre as amostras de mesma idade, com base na amostra controle.

Tabela 13 – Resultados dos ensaios de resistência à tração na ruptura (MPa).

	IDADE 00	IDADE 03	IDADE 06	IDADE 12	IDADE 18	IDADE 24
Amostras controle	16,2	20,08	21,02	21,86	21,82	21,84
Condição submersa	-	17,39	17,68	16,67	17,27	16,77
Condição seca	-	17,73	16,94	16,3	15,52	16,74

Gráfico 2 – Variação da resistência à tração das amostras mantidas em condição submersa e seca, quando comparadas à amostra controle, em %.



De acordo com o Gráfico 2, já é verificada, aos três meses de exposição, uma perda superior a 10% na resistência à tração, tanto na condição submersa quanto na condição seca. Além disso, decorridos 12 meses de exposição tanto na condição submersa como na condição seca, já apresentavam perda de quase 25% com relação à amostra de controle. A mesma tendência é observada para as amostras com 18 meses de exposição, com agravamento para as amostras na condição seca. A variação 25% pode ser considerada um limite máximo tolerável se cotejada com o critério de perda de propriedades indicado na norma brasileira ABNT NBR 16545:2016 (ver Tabela 2).

Tabela 2). Segundo essa norma, corpos-de-prova de elastômeros de poliureia ou de poliuretano após exposição ao envelhecimento acelerado de acordo com a norma ASTM G154 ciclo tipo 3 ³³, não devem apresentar mais do que 25% de perda de suas propriedades com relação ao critério mínimo especificado para o desempenho da membrana.

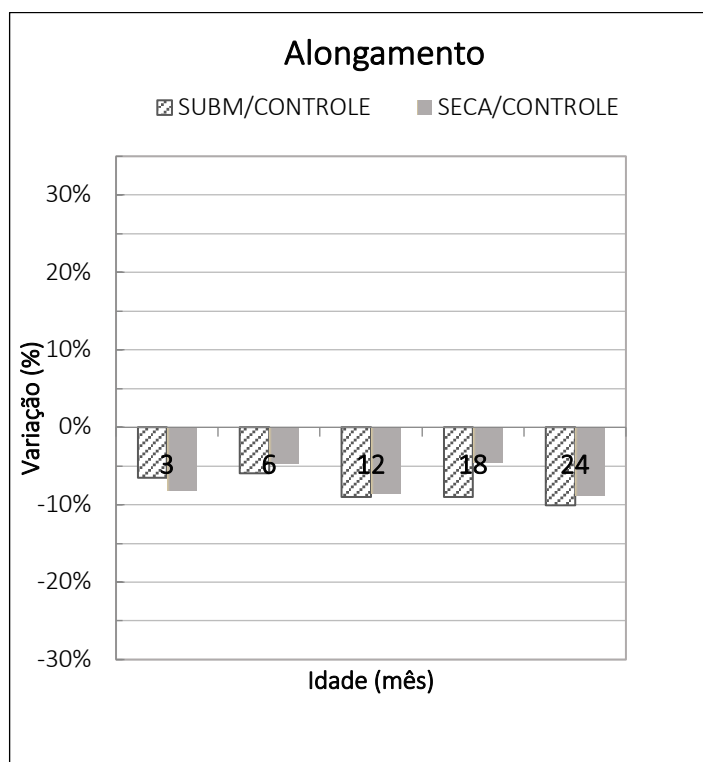
A Tabela 14 apresenta os resultados de resistência ao alongamento para as amostras ensaiadas e o Gráfico 3 ilustra a variação, em porcentagem, dos valores obtidos entre as amostras de mesma idade, com base na amostra controle.

Tabela 14 – Resultados dos ensaios de alongamento (%).

	IDADE 00	IDADE 03	IDADE 06	IDADE 12	IDADE 18	IDADE 24
Amostras controle	248,5	288,63	274,92	279,98	269,7	275,87
Condição submersa	-	269,8	258,6	254,81	245,48	247,97
Condição seca	-	264,9	262,16	256,11	257,3	251,48

Gráfico 3 – Variação da resistência à tração das amostras mantidas em condição submersa e seca, quando comparadas à amostra controle, em %.

³³ Ciclo de envelhecimento acelerado da ASTM G154 tipo 3: período de 8 horas a 70°C com exposição à radiação UVB seguido de período de 4 horas em condensação a 50°C.



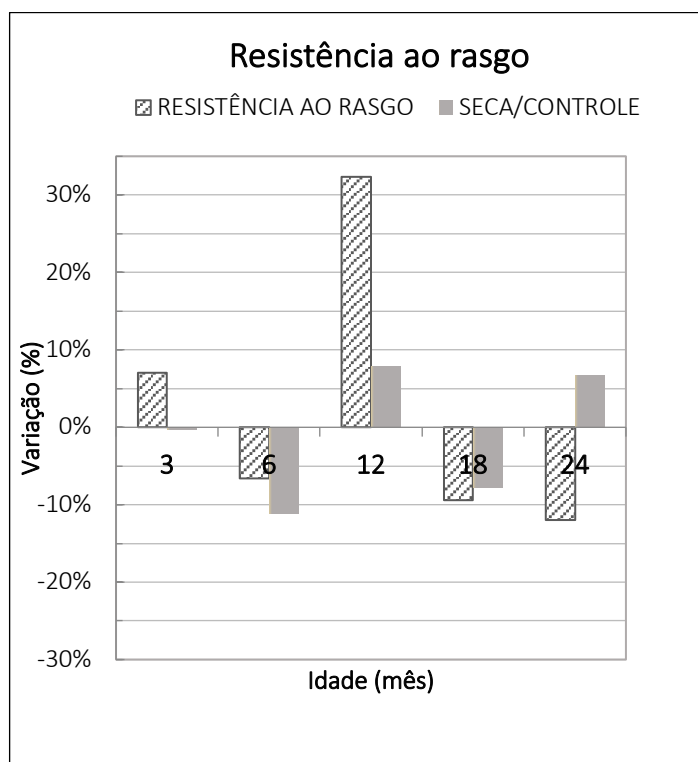
Entre as propriedades vinculadas ao comportamento da membrana sujeita à tração, o alongamento parece ser a propriedade menos afetada pela exposição aos ciclos de envelhecimento natural. As variações para a condição submersa são ligeiramente maiores do que as variações para a condição seca.

A Tabela 15 apresenta os resultados de resistência ao rasgo para as amostras ensaiadas e o Gráfico 4 ilustra a variação, em porcentagem, dos valores obtidos entre as amostras de mesma idade, com base na amostra controle.

Tabela 15 – Resultados dos ensaios de resistência ao rasgo (kN/m)

	IDADE 00	IDADE 03	IDADE 06	IDADE 12	IDADE 18	IDADE 24
Amostras controle	72	68,3	72,8	70,97	76,08	79,99
Condição submersa	-	73,1	68	93,94	68,94	70,44
Condição seca	-	68,1	64,73	76,53	70,19	85,31

Gráfico 4 – Variação da resistência ao rasgo das amostras mantidas em condição submersa e seca, quando comparadas à amostra controle, em %.



A resistência ao rasgo apresentou a maior dispersão de resultados, entre as propriedades medidas. Para a idade de 12 meses houve, inclusive, ganho na resistência ao rasgo de até 30% para os corpos-de-prova mantidos na condição seca.

5.2 CONSIDERAÇÕES

Os resultados de referência (membrana armazenada em ambiente interno, protegida da luz) indicam que os valores de resistência à tração, alongamento e resistência ao rasgo ultrapassam os dados da norma ABNT NBR 16545:2016, no entanto estão aquém dos valores informados pelo fornecedor, considerando dados da poliureia pura (Tabela 6 e Tabela 7). Isso, mais uma vez, pode sugerir que as propriedades dos produtos fornecidos para a obra não correspondem, exatamente, às propriedades da membrana de poliureia pura, de acordo com a especificação dos consultores e conforme as especificações do catálogo técnico do fornecedor.

Quanto aos resultados dos ensaios dos corpos-de-prova mantidos em condições de envelhecimento natural, na cobertura do edifício Vilanova Artigas, devem ser destacadas as variações observadas para a resistência à tração. Após 12 meses de exposição, houve perda de mais de 25% da resistência de referência, atingindo um limite considerado crítico de acordo

com a norma brasileira ABNT NBR 16545:2016. Para as demais propriedades as perdas não ultrapassaram os 15%, após 24 meses de exposição na cobertura do edifício.

Quanto à influência das condições de exposição, durante o período de 24 meses, a condição predominantemente seca, ou seja, a condição que expõe os corpos-de-prova a ciclos de molhagem e secagem parece exercer mais influência na perda do alongamento na ruptura à tração e na perda da resistência ao escoamento, enquanto a condição submersa parece exercer mais influência na perda da resistência à tração.

Quanto aos valores absolutos obtidos nos ensaios após envelhecimento natural, vale o cotejamento com resultados de Vasconcelos (2015), Tabela 16.

Tabela 16 – Cotejamento com resultados apresentados por Vasconcelos (2015) após envelhecimento acelerado das membras de poliureia híbrida e poliureia pura.

	Após 1000 horas de envelhecimento acelerado (ASTM G154 ciclo tipo 3) (VASCONCELOS, 2015, p. 83-94)		Poliureia/Edifício Vilanova Artigas Após 24 meses de envelhecimento natural	
	Poliureia híbrida	Poliureia pura	Condição submersa	Condição seca
Resistência à tração (MPa)	6,41	4,68	16,77	16,74
Alongamento (%)	426	242	247,97	251,48
Resistência ao rasgo (kN/m)	45,1	52,6	70,44	85,31

A Tabela 16 mostra que os resultados de ensaios de corpos-de-prova submetidos às condições de exposição na cobertura do edifício são compatíveis ou superiores aos os resultados obtidos por Vasconcelos (2015) em corpos-de-prova de poliureia híbrida e pura expostos às condições de envelhecimento acelerado segundo a ASTM G154 ciclo tipo 3 (ver nota de rodapé número 33, página 91). O destaque é feito para o alongamento da poliureia híbrida, ensaiada por Vasconcelos (2015) que parece não ter sido afetado pelo ciclo de envelhecimento acelerado, apresentando valor residual de 426%, permanecendo, aparentemente, no mesmo patamar da membrana recém-moldada.

6. CONCLUSÃO

O objetivo desse trabalho é investigar o comportamento do sistema de impermeabilização à base de poliureia, aplicada à cobertura do edifício Vilanova Artigas, nas diversas condições impostas pela peculiaridade da cobertura do edifício.

O aprofundamento da análise documental, os levantamentos de campo e ensaios de laboratório permitiram a consecução do objetivo proposto e as seguintes conclusões.

6.1 QUANTO A COBERTURA DO EDIFÍCIO

- Sistemas especificados para coberturas convencionalmente denominadas “coberturas planas” não consideram certas complexidades observadas em projetos como o do edifício Vilanova Artigas, o que compromete o uso de soluções padronizadas sem as devidas adequações para o atendimento dos requisitos de desempenho, especialmente quanto à manutenção;

- A complexidade geométrica da cobertura do edifício Vilanova Artigas, a interferência de outros elementos de sistemas prediais, além das diferentes situações de substrato existentes, são peculiaridades que ensejam a execução de protótipos para o cotejamento de diversas soluções, bem como para os ajustes e aperfeiçoamento de detalhes executivos;

- O aprofundamento dos estudos da cronologia construtiva, bem como das intervenções feitas na cobertura ao longo das cinco décadas de uso do edifício, viabilizou a formação de um referencial de interesse à proposição de soluções para corrigir as atuais falhas e também para a proposição de novas soluções de impermeabilização caso a manutenção da atual solução não se viabilize técnica e economicamente;

- As diversas condições identificadas na cobertura ensejam distintas formas de enfrentar a questão da impermeabilização ao ponto, eventualmente, aventar soluções distintas para determinadas condições, especialmente onde houver a reincidência de falhas. Tais condições específicas são: módulos com fissuras ativas na laje, módulos onde não ocorre empoçamento de água, módulos onde ocorre empoçamento de água, módulos nos quais a laje foi reconstruída; módulos sem tubo de queda para drenagem da água pluvial.

6.2 QUANTO AO SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO À BASE DE POLIUREIA

- Em relação aos ensaios de caracterização da poliureia, considerando ainda a dispersão observada nos resultados das amostras de controle – corpos-de-prova não expostos ao intemperismo - verifica-se que as propriedades físico-mecânicas da poliureia estão aquém às das informadas pelo fabricante, embora superiores aos critérios mínimos da norma ABNT NBR 16545:2016;

- Há necessidade de se aprofundar o conhecimento das propriedades dos produtos do mercado e técnicas de aplicação, a partir de um estreito contato com fornecedores, fabricantes e aplicadores dos produtos à base de poliureia, a fim de evitar interpretações equivocadas sobre o desempenho previsto e o desempenho esperado para tais sistemas de impermeabilização;

- Os ensaios realizados com corpos-de-prova expostos às mesmas condições de envelhecimento da impermeabilização da cobertura mostraram que a propriedade mais afetada nesse envelhecimento natural é a resistência à tração, seguida da resistência ao escoamento e da perda da capacidade de alongamento. Os resultados de resistência ao rasgo não são conclusivos, dada a sua dispersão, e devem ser mais bem estudados;

- A condição submersa, no ensaio de envelhecimento natural, parece ter afetado mais o alongamento do que as outras propriedades das membranas;

- Os resultados desta pesquisa não permitem afirmar que o alongamento da membrana determina a sua capacidade de acomodação de abertura de fissuras formadas após a impermeabilização;

- Há evidências de que a condição prévia e a preparação do substrato são, de fato, determinantes na qualidade e durabilidade da impermeabilização aderida aplicada à cobertura em estudo;

- Há evidências de que as principais fissuras surgem e são reincidentes em alguns dos módulos nos quais a laje foi reconstruída, que são mais propensos à movimentação do substrato em razão da solução adotada para a concretagem da laje.

6.3 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Com base nos estudos realizados, é indicada a complementação dos estudos do comportamento da membrana de poliureia quanto ao efeito da espessura da membrana, em combinação com a magnitude das deformações do substrato na capacidade de acomodação das fissuras formadas após a aplicação da membrana.

Outra vertente de estudos necessários é a investigação da variação das propriedades da membrana ao longo do tempo, correlacionando envelhecimento natural e acelerado.

7. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15575-1**: edifícios habitacionais – Desempenho - parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013. 71p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 16545**: revestimentos de alta espessura com sistemas de poliureia e híbridos de poliureia/poliuretano – Requisitos de desempenho. Rio de Janeiro, 2016, 22 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9452**: inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2016, 48p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9574**: execução de impermeabilização. Rio de Janeiro. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9575**: impermeabilização – Seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2010.
- ARDEX TECHNICAL SERVICES DEPARTMENT. **Misconceptions about membrane elongation**. Technical Bulletin – TB073. 21 June 2013. ARDEX, Australia. Disponível em <<http://www.ardex.com>>. Acessado em 30 maio 2018.
- BARBOSA, Paulo Eduardo; PEREIRA, Maria Fernanda. **Edifício Vilanova Artigas, Prédio da FAU USP – Diagnóstico da laje de cobertura**. Relatório Técnico 219/P2/2006. São Paulo: PhDesign, 2005.
- _____. **Edifício Vilanova Artigas, Prédio da FAU USP – Projeto, especificação de materiais/sistemas e procedimentos para reabilitação do edifício, com previsão orçamentária**. Relatório Técnico 219/2006. São Paulo: PhDesign, 2006.
- BAROSS, Antônio Carlos (org.). **O edifício da FAU-USP de Vilanova Artigas**. São Paulo: Editora da Cidade, 2016.
- BAUER, Elton; VASCONCELOS, P. H. C. de O. Comparação de propriedades mecânicas de alguns impermeabilizantes à base de elastômeros de poliureia disponíveis no Brasil. **Poliuretano Tecnologias e Aplicações**. Editora do Administrador Ltda. n. 59, ano XII, 2014, p. 42-48.
- BRAUN, Lara; PENTEADO, Sílvia. **Arquitetura e construção de grandes obras**. São Paulo: R9, 2004.
- BRITEZ, Carlos Amado; ANTUNES, Juliana da Silva. **Faculdade de Arquitetura e Urbanismo FAUUSP – Edifício Vilanova Artigas. Projeto e especificação técnica dos serviços de reabilitação da estrutura de concreto armado do edifício Vilanova Artigas da Faculdade de**

- Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Relatório Técnico 136/2010.** São Paulo: PhD Engenharia. 2010.
- BRITEZ, Carlos; VERGILI, Rodrigo. **Consultoria especializada para acompanhamento técnico dos serviços de reabilitação da estrutura de concreto armado do edifício Vilanova Artigas da FAU USP.** Relatórios Técnicos 236.00 a 236.18. São Paulo: PhD Engenharia. 2013.
- BRUNA, Paulo Valentina. **Estanqueidade e recuperação do concreto da cobertura. Relatório dos serviços executados.** São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. 1995.
- CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO – CBIC. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013.** Câmara Brasileira da Indústria da Construção. 2a Edição. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013, 308p. Acesso em 01 ago 2018. Disponível em <<https://cbic.org.br/publicacoes/>>.
- CLEMENTE, Marcelo; ROCHA, Roberta J.; IHA, Koshun; ROCCO, José A. F. F. Desenvolvimento de tecnologia de pré-polímeros na síntese de poliuretanos empregados em combustíveis sólidos. **Química Nova**, v. 37, n. 6, p. 982-988, 2014.
- CONSELHO CURADOR DA FAU USP. **Plano Diretor Participativo FAUUSP 2011-2018.** São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. 2012.
- CONTIER, Felipe de Araújo. **O Edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo na Universidade de São Paulo: projeto e construção da escola de Vilanova Artigas.** São Carlos: Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. 2015. (Tese de doutorado).
- DEPARTAMENTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO. **Análise técnica e parecer, processo 2009-0.051.973-4.** São Paulo, 2009.
- FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Memorial descritivo de materiais e serviços: execução de rufo nas vigas invertidas e recuperação do concreto da cobertura do edifício Vilanova Artigas da FAUUSP.** São Paulo, 2008
- _____. **Restauro e recuperação no edifício Vilanova Artigas, no Anexo e no edifício Vila Penteado.** São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2009.
- _____. **Edifício Vilanova Artigas: reformas programadas e em andamento.** São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2009.

- _____. **Restauração e recuperação no edifício Vilanova Artigas: cobertura.** São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2009.
- GIANNECCHINI, Ana Clara. **Técnica e estética do concreto armado: um estudo sobre os edifícios do MASP e da FAUUSP.** São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2009. (Dissertação de mestrado)
- GIBSON, E. J. (Coordinator). **Working with the performance approach in building.** International Council for Research and Innovation in Building and Construction – CIB. Editor: Eric Keeble. Rotterdam, Netherlands, 1982. (CIB State of Art Report n°64, Working Commission W60).
- GRUPO EXECUTIVO DE GESTÃO DOS ESPAÇOS FÍSICOS DA FAU USP. **Memorial descritivo de especificação técnica dos serviços de recuperação da cobertura do edifício Vilanova Artigas da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.** São Paulo, 2012.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO. **Guia de aplicação da norma de desempenho para impermeabilização:** Especificação, aplicação, e contratação com foco no atendimento à ABNT NBR 15575:2013. São Paulo: IBI, 2018. Disponível em: <<https://ibibrasil.org.br/wp-content/uploads/2018/06/Guia-de-Aplica%C3%A7%C3%A3o-da-Norma-de-Desempenho-para-Impermeabiliza%C3%A7%C3%A3o-IBI.pdf>>. Acessado em 01 dez 2018.
- KUNIEDA, Minoru; ROKUGO, Keitetsu. Recent Progress on HPFRCC in Japan. Required performance and applications. **Journal of Advanced Concrete Technology.** Japan Concrete Institute. V.4, n. 1, 2006, p. 19-33.
- PICCHI, Flávio Augusto. **Impermeabilização de coberturas.** São Paulo: PINI, 1986.
- PINHEIRO, M.L.B. et al. **Subsídios para um plano de gestão de conservação. Edifício Vilanova Artigas** (Faculdade de Arquitetura e Urbanismo de São Paulo- FAUUSP). Programa Keeping it Modern - Fundação Getty. Relatório. São Paulo, 2017.
- PINHEIRO, M. L. B.; KÜHL, B. M.; OLIVEIRA, C. T. A; BAROSS, A. C.; GONCALVES, A. P. A.; CASTRO, C. S. S. M.; GALLO JUNIOR, F.; CAMPIOTTO, R. C.; VERGILI, R. A. C.; OKSMAN, S. **Subsidies for a conservation management plan: Vilanova Artigas Building** (School of Architecture and Urbanism of the University of São Paulo - FAUUSP). Technical Report. Keeping It Modern. The Getty Foundation. 2017. Documento disponível em <http://www.getty.edu/foundation/initiatives/current/keeping_it_modern/report_library/vilanova_artigas.html>. Informação acessada em 22 nov 2018.

- PIRONDI, Zeno. **Manual prático da impermeabilização e de isolamento térmica**. São Paulo: PINI, 1988.
- POLIURETANO TECNOLOGIAS E APLICAÇÕES**. Poliuréia: resistências química e mecânica com maior presença no mercado. Editora do Administrador Ltda. n. 56, ano XII, 2014, p. 18-21.
- PRIMEAUX II, Dudley J. Polyurea Coatings: That Was Then, This is Now. In: PDA Annual Conference, 2004. **Proceedings...** March 2–4, 2004, Tampa, Florida. 2004. Disponível em <<http://www.primeauxassociates.com/wp-content/uploads/2011/11/PP15.pdf>>. Acessado em 01 nov 2018.
- REMONDINI, Viviane. **Poliureia: o quanto você sabe**. Matéria veiculada em 19/10/2012 na seção “Artigos/Revestimento” do site OBRA24HORAS. Disponível em: <<https://www.obra24horas.com.br/artigos/revestimentos/poliureia--o-quanto-voce-sabe->>. Acessado em 01/12/2018.
- SHARMA, Manish et al. **Conservation Management Plan for Gandhi Bhawan, Panjab University**. Technical Report. Keeping It Modern. The Getty Foundation. 2017. Documento disponível em: <http://www.getty.edu/foundation/pdfs/kim/gandhi_bhawan_panjab_university_cmp.pdf>. Acessado em 22/11/2018.
- SIKA. Sikalastic® MTC Roofing at Gandhi Bhawan, Chandigarh: A Case Study. 2011. Disponível em <http://ind.sika.com/dms/getdocument.get/7240bcaa-12ab-326e-af5adb7ee6eed7f5/SAW%200129%20RF%20Gandhi%20Bhawan.pdf>>. Acessado em 21 abr 2018.
- SIMÕES, João Roberto Leme. **Patologias – Origens e reflexos no desempenho técnico construtivo de edifícios universitários da CUASO USP**. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2004. (Tese de livre docência).
- SIMÕES, João Roberto Leme. **Relatório dos serviços executados na cobertura do edifício Vilanova Artigas. FAUUSP – CUASO**. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2003.
- SONG, J.; OH, K.; KIM, B.; OH, S. Performance evaluation of waterproofing membrane systems subject to the concrete joint load behavior of below-grade concrete structures. **Appl. Sci.** 7(11), 1147, 2017, p. 1-19. DOI:10.3390/app7111147. Disponível em <www.mdpi.com/journal/applsci>. Acessado em 01/12/2018.

- SUETA, Hélio Eiji. **Relatório de inspeção técnica do sistema de proteção contra descargas atmosféricas da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP – Edifício Vilanova Artigas**. São Paulo: Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, 2014.
- _____. **Projeto de proteção de edificação contra descargas atmosféricas**. São Paulo, 2008.
- SUETA, Hélio Eiji; CAIRES, Luis Eduardo. **Relatório de análises das instalações elétricas do edifício Vilanova Artigas da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP**. São Paulo: Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, 2011.
- SUETA, Hélio Eiji; CAIRES, Luis Eduardo; TSUTSUMI, Sérgio. **Relatório de análises das instalações elétricas do edifício Vilanova Artigas da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP**. São Paulo: Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, 2005.
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Processo 1986.1.23631.51.9 – Aquisição de material impermeabilizante para execução de impermeabilização dos edifícios FAU e EP**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1986.
- _____. **Processo 1991.1.9000.82.0 – Estudo para execução da reforma da cobertura do prédio da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1991.
- _____. **Processo 1994.1.377.16.9 – Aquisição de serviço de impermeabilização da laje e cobertura**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1994.
- _____. **Processo 1996.1.50.16.1 – Recuperação de um módulo da cobertura do edifício da FAU USP**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1996.
- _____. **Processo 1996.1.378.51.0 – Solicita providências para reserva orçamentária para as obras de recuperação e impermeabilização de 04 módulos da cobertura**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1996.
- _____. **Processo 1996.1.435.16.0 – Aquisição de montagem da estrutura metálica de apoio da cobertura do edifício FAU CUASO**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1996.
- _____. **Processo 1997.1.29.16.3 – Aquisição de despesas com serviços de recuperação e impermeabilização**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1997.
- _____. **Processo 1997.1.382.16.5 – Contratação de empresa prestadora de serviços da cobertura do edifício da FAU USP**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1997.
- _____. **Processo 1999.1.61.16.6 – Serviço para impermeabilização de parte da grelha estrutural da FAUUSP**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1999.

_____. **Processo 2001.1.93.16.8 – Auxílio financeiro para continuidade as obras de recuperação da cobertura do edifício FAUUSP/CUASO.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2001.

VASCONCELLOS, Paulo Henrique. **Correlação entre as propriedades mecânicas de materiais impermeabilizantes a base de elastômeros de poliureia e poliuretano com desempenho do sistema aplicado em lajes estruturais.** Brasília: Universidade de Brasília, 2015.

VIAPOL. **Ficha técnica ViaPoliureia 600PP.** 2013.

XAVIER, Ivan Silvio de Lima; FALQUEIRO, Mariana. **Acompanhamento técnico e fotográfico da obra de recuperação da laje plana de cobertura da FAU-USP.** São Paulo: Isoterma Construções Técnicas, 2003.