



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
CAMPUS UFRJ-MACAÉ  
Professor Aloísio Teixeira



---

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO CONCRETO LEVE NÃO  
ESTRUTURAL COM SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO MIÚDO POR  
RESÍDUO DE PRANCHA DE SURFE

GABRIELA PIVETTA SU Aid



Análise do comportamento do concreto leve não estrutural com substituição de agregado miúdo por resíduo de prancha de surfe

Gabriela Pivetta Suaid

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé, como requisito parcial para aquisição do título de engenheiro civil.

Orientador: Gustavo Vaz de Mello Guimarães

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO CONCRETO LEVE NÃO  
ESTRUTURAL COM SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO MIÚDO POR  
RESÍDUO DE PRANCHA DE SURFE

GABRIELA PIVETTA SUAID

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APRESENTADO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO –  
CAMPUS MACAÉ, COMO REQUISITO PARCIAL PARA AQUISIÇÃO DO GRAU  
DE ENGENHEIRO CIVIL.

Macaé, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ 2019

Examinado por:

---

Prof. Gustavo Vaz de Mello Guimarães  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

---

Prof. André Borges Randolpho Paiva  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

---

Prof<sup>a</sup>. Juliana Corrêa Trindade  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

---

Eng.º Marlos Romero Alves

Suaid, Gabriela Pivetta

Análise do comportamento do concreto leve não estrutural com substituição de agregado miúdo por resíduo de prancha de surfe/ Gabriela Pivetta Suaid – Macaé: UFRJ/Campus UFRJ – Macaé 2019.

XII, 91 p.: il. Color.; 29,7 cm.

Orientador: Gustavo Vaz de Mello Guimarães

Projeto de Graduação – UFRJ/Macaé/Curso de Engenharia Civil, 2018.

Referências Bibliográficas p. 81-82.

1. Introdução. 2. Alguns conceitos. 3. Campanha de ensaios. 4. Apresentação e análise dos resultados. 5. Conclusões e sugestões para futuras pesquisas.

I. Guimarães, Gustavo Vaz de Mello, II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, Curso de Engenharia Civil. III. Análise do comportamento do concreto leve não estrutural com substituição de agregado miúdo por resíduo de prancha de surfe

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por que só Ele na minha causa mesmo, que me deu forças para necessárias para concluir essa pesquisa em dois meses.

Agradeço aos meus pais, Rosinéia e Jamil, por terem me tornado a pessoa que sou, pelos valores que me ensinaram, pelas alegrias com minhas conquistas, pelas cobranças diárias para que terminasse esse trabalho e, principalmente, pelo amor e apoio incondicional que me dão.

Agradeço a minha irmã, Amanda, que mesmo com algumas implicâncias e brigas, não deixo de me mostrar como sou capaz, mesmo que sendo do jeito mais difícil. E ao meu cunhado, Daniel, por me apoiar e acreditar que um dia pudesse me tornar engenheira.

À Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé-RJ, por ter possibilitado realizar esta árdua graduação, especialmente aos meus colegas Lucas Marques Pires da Silva, por ter cedido, sem custo algum, os materiais para a pesquisa, além de fornecer informações valiosas sobre os mesmos.

Ao meu orientador, professor Gustavo Guimarães, por ter me recebido como orientanda, entendo minhas limitações com horários, sempre me auxiliando e apoiando na condução dos estudos.

Ao Laboratório de Engenharia Civil da UFRJ – Macaé e o técnico Carlos Antônio Macambira Tôrres pela colaboração na pesquisa quando não estava presente. Aproveito para agradecer também ao eng.º mecânico Newton Amorim, do Laboratório da Engenharia Mecânica pela ajuda no corte dos corpos de prova.

Aos amigos que fiz em Macaé e colegas de faculdade, que mesmo tirando meu foco com algumas reuniões recreativas, sempre no meu potencial acreditaram em mim.

E por fim, mas não menos importante, ao meu namorado, Guilherme, que mesmo não contribuindo muito para a pesquisa em si, me coagia a escrever, ainda que eu não quisesse.

A todos os meus mais sinceros agradecimentos.

Muito obrigada!

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à UFRJ – Macaé como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO CONCRETO LEVE NÃO  
ESTRUTURAL COM SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO MIÚDO POR  
RESÍDUO DE PRANCHA DE SURFE

Gabriela Pivetta Suaid

Fevereiro/2019

Orientador: Gustavo Vaz de Mello Guimarães

Curso: Engenharia Civil

Este trabalho teve como objetivo avaliar a resistência à compressão do concreto leve com a substituição do agregado miúdo por resíduo de pranchas de surfe. Também foram analisados a absorção de água dos corpos de prova e suas massas específicas. Foram incorporados resíduo de prancha de surfe como componente para proporcionar, principalmente, redução de peso do concreto. As dosagens de concreto leve com resíduo de prancha de surfe (RPS) estudadas foram compostas basicamente por: cimentos CII-E-32, agregado graúdo (brita), agregado miúdo (areia), resíduo de prancha de surfe e água. Ao final da pesquisa experimental, após a análise de 5 traços distintos, foi possível observar a redução da resistência a compressão e da massa específica, além de um aumento na absorção, conforme o acréscimo de RPS, ambos resultados, naturalmente, em comparação ao concreto convencional.

**Palavras-chave:** Concreto leve não estrutural, Sustentabilidade, Resíduo de Prancha de Surfe

Abstract of the Undergraduate Project presented to UFRJ - Macaé as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

BEHAVIOR OF NON-ESTRUCTURAL LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH REPLACEMENT OF FINE AGGREGATE BY SURFEBOARD RESIDUE

Gabriela Pivetta Suaid

February/2019

Advisor: Gustavo Vaz de Mello Guimarães.

Course: Civil Engineering

This study has as objective to evaluate the compressive strength of the lightweight concrete with replacement of fine aggregate by surfboard residue. Were also analyzed the water absorption and your specific masses. Were incorporated the surfboard residue as component to provide, mainly, weight reduction of concrete. The dosages of lightweight concrete with surfboard residue (SR) studied were composed basically for: cement CII-E-32, coarse aggregate (rock), fine aggregate (sand), surfboard residue and water. At the end of the research, after the analysis of 5 distinct dosages, it was possible to observe the reduction of the compressive strength and the specific mass, besides an increase in the absorption, as the increase of SR, both results, of course, compared to conventional concrete.

Keywords: Non Estructural Lightweight Concrete, Envirolment, Surfboards Residue

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	13
1.1.	SURFE NO BRASIL .....	14
1.2.	BREVE HISTÓRICO DA FÁBRICA DE PRANCHA DE SURFE LS SURFEBOARDS .....	15
1.3.	OBJETIVOS .....	19
1.4.	METODOLOGIA.....	19
1.5.	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	20
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	21
2.1.	CONCRETO .....	21
2.2.	CONCRETO LEVE .....	26
2.2.1.	CONCRETO LEVE COM ESPUMA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS).....	28
3.	MATERIAS E MÉTODOS.....	32
3.1.1.	CIMENTO .....	33
3.1.2.	AGREGADOS GRAÚDO E MIÚDO .....	35
3.1.3.	RESÍDUO DE PRANCHA DE SURFE (RPS) .....	38
3.1.3.2.	SEPARAÇÃO DA AMOSTRA .....	39
3.1.3.3.	MASSA ESPECÍFICA DO RPS .....	40
3.2.1.	DOSAGEM DE REFERÊNCIA .....	42
3.2.3.	DOSAGEM COM ADIÇÃO DE RPS .....	45
4.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	59
4.1.	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	59
4.2.	ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA .....	67
5.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	72
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	75
	APÊNDICE A - Cálculo do número de pontos representando os RPS. ....	80
	APÊNDICE B - Tabela de Dosagem do Concreto (Traços utilizados) .....	80
	APÊNDICE C - Dados dos ensaios de compressão simples .....	81
	APÊNDICE D – Dados de Ensaios de Absorção .....	82



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Fluxograma do processo de fabricação do EPS. Fonte: EPS Brasil (acesso em 08 de fevereiro de 2019).....	13
Figura 2: Tonzinho, na vila, centro de Saquarema, com uma L.S.Surfeboards. Fonte: Arquivo pessoal de Leandro Santos .....	16
Figura 3: Leandro (centro), o internacional Gary Linden (esquerda), Arelo (direita) em um evento em São Paulo. Arquivo pessoal de Leandro Santos.....	16
Figura 4 (a):Tais de Almeida, com sua prancha shapeada por Leandro Santos que, a patrocinava na ocasião, no pódio de um campeonato da Associação de Surfe de Saquarema (A.S.S.) Fonte: Arquivo pessoal de Leandro Santos e (b) Logotipo atual das L.S.Surfboards .....	17
Figura 5: Principais equipamentos e matéria prima para execução de uma prancha de surfe, e sequencia com Leandro praticando a arte de fazer uma prancha de surfe. ....	18
Figura 6: Pantheon, Roma, Itália. Fonte: INDEPENDENT (acesso em 25 de janeiro de 2019) .....	22
Figura 7: Corte transversal do Patheon. Fonte: HISTÓRIA DA ARTE (acesso em 26 de janeiro de 2019) .....	23
Figura 8: Edifício A Noite, Rio de Janeiro, 1929, Fonte: DIÁRIO DO RIO (acesso em 20 de janeiro de 2019) .....	23
Figura 9: Edifício Martinelli, São Paulo, 1929. Fonte: ESTILOS ARQUITETONICOS (acesso em 20 de janeiro de 2019).....	24
Figura 10: Cimento Portland. Fonte: MAPA DA OBRA (acesso em 26 de janeiro de 2019).....	25
Figura 11: 1) pedregulho; 2) brita; 3) areia de brita; 4) areia natural. Fonte: Google image (acesso em 01 de janeiro de 2019) .....	25
Figura 12: Intervalos típicos de valores de massa específica de concretos leves. ....	27
Figura 13: Bloco de Poliestireno Expandido. Fonte: ECIVILNET (acesso em 5 de fevereiro de 2019) .....	28
Figura 14: Matérias primas do concreto leve com EPS e alguns exemplos de aplicação. Fonte: JUNOEPSR (acesso em 05 de fevereiro de 2019) .....	29

Figura 15: Gráfico Deformação x Resistência à compressão. Fonte: ABRAPEX (acesso em 15 de janeiro de 2019) .....	30
Figura 16: Composição do concreto leve estrutural com pérolas de EPS. Fonte: Thiago Catoia (2012).....	31
Figura 17: Curva granulométrica da brita 0 e da areia fina. Fonte: Silva (2019)	35
Figura 18: (a) Ensaio da massa específica unitária da brita 0; (b) Execução do ensaio do frasco de Chapman da areia. Fonte: Silva (2019).....	37
Figura 19: Sequência de coleta inicial do RPS na fábrica de pranchas .....	38
Figura 20: Saco de RPS coletado e transportado para o laboratório .....	39
Figura 21: Separação dos rejeitos maiores .....	39
Figura 22: (a) RPS sendo colocado na peneira de abertura 6,35mm; (b) Material retido após a peneiração .....	40
Figura 23: Detalhe do RPS no frasco Chapman .....	41
Figura 24: Curva de Abrams. Fonte: Clube do concreto (acesso em 28 de janeiro de 2019) .....	42
Figura 25: Betoneira de 150 L e Materiais do traço pesado .....	47
Figura 26: Área externa do laboratório de engenharia civil UFRJ – Macaé .....	48
Figura 27: (a) Colocação do RPS na betoneira; (b) Betoneira com proteção de plástico .....	49
Figura 28: Concreto no estado de “farofa” e oncreto com aspecto mais pastoso .....	50
Figura 29: Sequência de moldagem dos corpos de prova .....	51
Figura 30: Corpo de prova do SURFE 3 desmoldados após 24 horas e identificados .....	52
Figura 31: Corpo de prova dentro do tanque de cura.....	52
Figura 32: Retificadora com disco rotativo diamantado.....	54
Figura 33: Corpo de prova na prensa hidráulica .....	54
Figura 34: Corpo de prova após a ruptura .....	55
Figura 35: Sequencia que mostra o transporte dos corpos de prova do tanque para a balança hidrostática com ajuda de um balde .....	56
Figura 36: Gráfico Resistência à Compressão versus Corpos de prova do grupo 1 .....	61

Figura 37: Gráfico Resistência à Compressão versus Corpos de prova do grupo 2 .....	61
Figura 38: Gráfico Resistência à Compressão média x Teor de RPS (%) em relação ao volume dos materiais.....	62
Figura 39: Gráfico Resistência à Compressão média x Fator a/c nos concretos com 5% de RPS .....	63
Figura 40: Aberturas realizadas pela haste de adensamento .....	63
Figura 41: Concreto leve com RPS após o ensaio de compressão .....	64
Figura 42: Corpos de prova rompidos acima do centro de gravidade .....	65
Figura 43: Processo de corte do corpo de prova com a serra mármore .....	65
Figura 44: Segregação do RPS no corpo de prova.....	66
Figura 45: Gráfico do percentual de absorção de água e índice de vazios por dosagem.....	69
Figura 46: Gráfico da massa específica seca, saturada e real.....	71
Figura 47: Gráfico da relação entre a massa específica, índice de vazios e absorção de água.....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Limites de composição do cimento.....	33
Tabela 2: Requisitos físicas e mecânicos do cimento .....	34
Tabela 3: Requisitos químicos do cimento Portland.....	34
Tabela 4: Propriedades dos agregados .....	37
Tabela 5: Traço de referência .....	43
Tabela 6: Traço-base de acordo com a ABCP .....	44
Tabela 7: Traço com correção do fator a/c.....	45
Tabela 8: Traços elaborados.....	45
Tabela 9: Dosagem do concreto com RPS .....	46
Tabela 10: Resistência a compressão do grupo 1 com variação no teor de RPS .....	59
Tabela 11: Resistência a compressão do grupo 2 com variação no fator a/c ..	60
Tabela 12: Tabela das massas dos corpos de prova .....	67
Tabela 13: Tabelas dos resultados dos ensaios de absorção de água e índice de vazios .....	68
Tabela 14: Tabela de massa específica da amostra seca, saturada e real.....	70

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (1).....	36
Equação (2).....	36
Equação (3).....	54
Equação (4).....	57
Equação (5).....	57
Equação (6).....	57
Equação (7).....	58
Equação (8).....	58

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos principais problemas, do mundo moderno, que afetam diretamente qualidade de vida é o imenso volume de resíduo produzido diariamente. Segundo a Abrelpe (2017), os números referentes à geração de resíduo sólido urbano (RSU) revelam um total de anual de 78,4 milhões de toneladas no país. Desse montante, acerca de 6,9 milhões de toneladas de resíduos não foram coletados e, conseqüentemente, tiveram destino impróprio. Quanto à disposição final de RSU, foi registrado que apenas 59,1% da geração anual tem destino adequado, encaminhado para os aterros sanitários.

Grande parte desse material descartado poderia ser reciclado, entretanto o desprezo do homem e as dificuldades decorrentes das coletas seletivas acabam impedindo esse processo. No Brasil, segundo o Ministério do Meio Ambiente, cerca de 30% de todo o lixo é composto de materiais recicláveis, porém apenas 3% deste total é efetivamente reciclado.

E é partindo dessa problemática que a presente pesquisa, busca iniciativas de reaproveitamento dos resíduos tóxicos e inflamáveis – sendo alguns produzidos a partir de subprodutos do petróleo, como é o caso da resina epóxi, da parafina<sup>21</sup> e do poliestireno expandido (EPS), ver Figura 1 – decorrentes da produção de pranchas de surfe, bem como de sua precária e/ou inexistente destinação final.

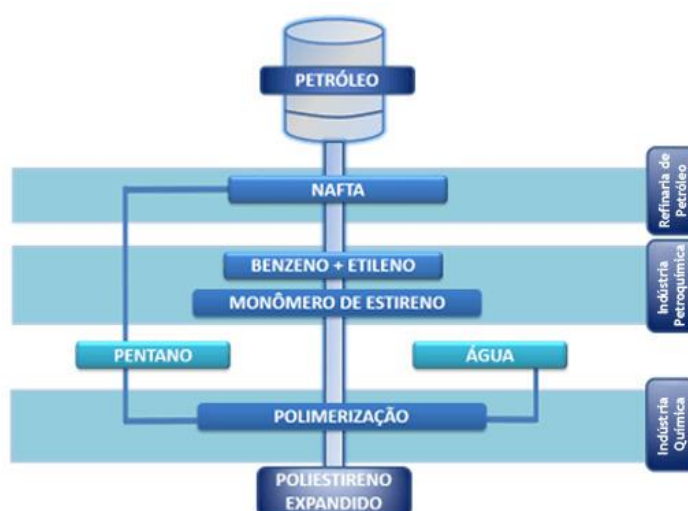


Figura 1: Fluxograma do processo de fabricação do EPS. Fonte: EPS Brasil (acesso em 08 de fevereiro de 2019)

## 1.1. SURFE NO BRASIL

Os primeiros indícios da chegada do surfe no Rio de Janeiro datam da década 50. A princípio, o esporte foi inserido no litoral brasileiro por intermédio de profissionais de companhias aéreas, que tinham em contato com o surfe fora do país. Apenas 15 anos depois, foi criada a primeira organização voltada ao surfe, a Associação de Surfe do Rio de Janeiro, fundada em 1965.

A partir de então, a popularidade desse esporte só aumentou, que se deve principalmente pela a entrada de brasileiros na elite dos campeonatos mundiais. Segundo ISA (International Surfing Association) apud Vasconcellos (2013) atualmente são cerca de 35 milhões de surfistas no mundo. Sendo que destes, estima que 3 milhões estão no Brasil (Segundo MARTINS).

A indústria do surfe no Brasil movimenta aproximadamente R\$ 7 bilhões ao ano, com crescimento de, em média, 10% ao ano. A imagem do surfe dita tendências de consumo, pois aproximadamente 90% dos consumidores nunca pisaram em uma prancha (Ibrasurfe apud Lewgoy, 2015).

Como o surfe é praticado em contato com o meio ambiente, o estilo de vida adotado pelo praticante é associado à natureza, baseado em um ideal de liberdade e “desapego” a bens materiais. O que cria um certo paradoxo, pois o processo de fabricação de pranchas de surfe caracteriza-se por gerar um elevado volume de resíduos que são de difícil reaproveitamento. Segundo a Equipe Ecycle (201-), uma única prancha desperdiça de 50% a 70% de matéria-prima, ou seja, para fabricar uma prancha de 3,1 kg, em média foram usados 10,8 kg de materiais. A maior parte dos resíduos possui características como: elevada toxicidade, altamente inflamável, ou, o pior, possui prazo indeterminado de decomposição.

Além disso, como a maioria das pranchas são produzidas em pequenas fábricas artesanais, não há, ainda, uma destinação final adequada dos rejeitos. Segundo Grijó (2004), no Brasil cerca de 380 toneladas de resíduos sólidos oriundos dessa indústria foram despejadas em aterros e/ou lixões.

Neste contexto, o presente trabalho procurou contribuir para o início de uma possível pesquisa acerca do reaproveitamento dos resíduos de prancha de surfe

aplicados diretamente na engenharia civil. A investigação inicialmente partiu de um programa de pesquisa nas cidades com alto número praticantes de surfe, nas proximidades de Macaé, com intuito de beneficiar as comunidades locais frente a geração de resíduos de prancha de surfe.

A primeira cidade atendida foi Saquarema, Rio de Janeiro, a 114 km de Macaé, também conhecida como a MECA do surfe nacional, sede, nos últimos anos, da etapa brasileira válida pela liga de surfe mundial (World Surfe League – W.S.L.). Lá, reside e trabalha o fabricante de pranchas de surfe Leandro Santos e Silva.

## **1.2. BREVE HISTÓRICO DA FÁBRICA DE PRANCHA DE SURFE LS SURFEBOARDS**

Leandro Santos, como é conhecido na região, possui uma grande intimidade com o surfe, pois além de fabricante é surfista. Ele começou a surfar a mais de 30 anos, no final da década de 1980, porém devido à falta de equipamentos na região e consequentemente o elevado custo resolveu obter conhecimento para que pudesse fabricar suas próprias pranchas.

Na ocasião eram apenas alguns fabricantes de pranchas locais, tais como: Hilton Seixas Pereira da Saquarema Surfing (Tonzinho), Otavio e Fabio Pacheco da Latin Soul, Paulo Costa da Stand up Surfboards (Pateta), Jean Carlos Pereira da Kakaloha Surfboards (Kakalo), Zé Mauricio da Z.M. laminações e Nerci José da Rocket Beach (Panga).

No início, Leandro descascava pranchas antigas, tidas como inutilizáveis, muitas vezes emendando duas metades de pranchas distintas, e praticava a arte de fabricar - “shapear” - manualmente suas próprias pranchas. Contou na época com o auxílio do Tonzinho que já possuía uma boa experiência na atividade. A Figura 2: Tonzinho, na vila, centro de Saquarema, com uma L.S.Surfeboards. Fonte: Arquivo pessoal de Leandro Santos resgata uma imagem “das antigas” de Tonzinho como uma das pranchas fabricadas por Leandro.





*Figura 2: Tonzinho, na vila, centro de Saquarema, com uma L.S. Surfeboards. Fonte: Arquivo pessoal de Leandro Santos*

Logo depois começou a ir ao Rio de Janeiro em busca das melhores matérias primas e acabou conhecendo o Shaper Marcos Villaça, que lhe ajudou a abrir às portas.

Os anos se passaram, Leandro começou a viajar em busca de aprimoramento das suas técnicas e sua arte de “shapear”. Em meados de 1998, em São Paulo, participou de um evento voltado para o mundo do surfe, o São Paulo Surfe Beach. A Figura 3: Leandro (centro), o internacional Gary Linden (esquerda), Arelo (direita) em um evento em São Paulo. Arquivo pessoal de Leandro Santos apresenta Leandro no meio de renomados “shapers”.



*Figura 3: Leandro (centro), o internacional Gary Linden (esquerda), Arelo (direita) em um evento em São Paulo. Arquivo pessoal de Leandro Santos*

O “Shaper” sempre apoiou o surfe local. Pode-se considerar que a surfista local de saquarema – Tais de Almeida – foi sua principal atleta de destaque. A Figura 4 (a):Tais de Almeida, com sua prancha shapeada por Leandro Santos que, a patrocinava na ocasião, no pódio de um campeonato da Associação de Surfe de Saquarema (A.S.S.) Fonte: Arquivo pessoal de Leandro Santos mostra Tais em 1999 em um campeonato local, ainda no início de sua carreira.

Hoje em dia, Leandro é um dos principais Shapers de Saquarema, tendo shapeado incontáveis pranchas. Seu logotipo, ilustrado na Figura 4 (b), é facilmente detectado na zona de arrebentação das ondas – “outside” – das praias de Itaúna, Vila, Barrinha, Gravatá e Boqueirão em Saquarema. Sua fábrica está localizada em Rio Seco, um local calmo e tranquilo, quase as margens da rodovia RJ-106. Um local estratégico, pois está próximo ao acesso de seus principais destinos.



(a)



(b)

Figura 4 (a): Tais de Almeida, com sua prancha shapeada por Leandro Santos que, a patrocinava na ocasião, no pódio de um campeonato da Associação de Surfe de Saquarema (A.S.S.) Fonte: Arquivo pessoal de Leandro Santos e (b) Logotipo atual das L.S.Surfboards

Possui em sua nova fábrica os equipamentos e tecnologias de ponta, e um ambiente necessário a uma boa execução de prancha de surfe. A Figura 5: Principais equipamentos e matéria prima para execução de uma prancha de surfe, e sequencia com Leandro praticando a arte de fazer uma prancha de surfe., mostra Leandro “shapeando” uma prancha em sua fábrica, além dos principais itens à realização de seu trabalho, tais como:

- 1) sandscrew;
- 2) plaina elétrica;
- 3) surfeorms;
- 4) pincel;
- 5) régua – gabarito de simetria;
- 6) plaina tipo “ratinho”;
- 7) matéria prima - bloco (e.g: poliuretano, isopor, etc.).



*Figura 5: Principais equipamentos e matéria prima para execução de uma prancha de surfe, e sequencia com Leandro praticando a arte de fazer uma prancha de surfe.*

### 1.3. OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo principal avaliar da resistência à compressão de concreto leve não estrutural com a substituição do agregado miúdo por resíduo de pranchas de surfe (RPS).

Como objetivo secundário, a presente pesquisa analisa a absorção de água dos corpos de prova e suas massas específicas, visando contribuir para a sustentabilidade na construção civil.

Sem dúvida um dos objetivos seria propor soluções práticas de engenharia para a aplicação de um aproveitamento de um resíduo tão problemático como o RPS. Por ora, poderia se pensar em aplicações, voltadas para a construção civil, nas áreas de vedação, revestimento, preenchimento, entre outros.

## **1.4. METODOLOGIA**

Uma árdua procura sobre referências bibliográficas do tema foi realizada inicialmente. É importante mencionar que, só depois do decorrer da pesquisa, as referências bibliográficas foram se tornando mais claras para serem encontradas e o trabalho experimental teve prosseguimento com os devidos materiais.

Uma fábrica de pranchas de surfe na meca do surfe brasileiro – Saquarema – foi escolhida para fornecer matéria prima para a pesquisa.

Os resíduos de prancha de surfe foram coletados e transportados para o laboratório e uma primeira seleção foi realizada. O material restante foi passado na peneira #6,35 mm para ser utilizado na pesquisa.

Uma dosagem inicial de referência foi calculada. A partir daí, foram estimados os teores de resíduo de prancha de surfe para elaboração dos corpos de prova.

Executou-se o traço de referência e mais quatro traços de concreto leve variando os fatores de água cimento e os teores de resíduo de prancha de surfe.

Em laboratório, foram executados os ensaios de resistência à compressão, absorção de água, índice de vazios e massa específica, para fim de caracterização dos concretos leves.

## **1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO**

O corpo do estudo foi organizado em cinco capítulos. Neste primeiro capítulo, encontra-se o contexto e motivação, além do objetivo e a metodologia da pesquisa.

No segundo capítulo são apresentados uma breve revisão bibliográfica sobre o concreto e o concreto leve, com ênfase em concreto leve com adição de poliestireno expandido.

O terceiro capítulo aborda os materiais utilizados para a fabricação do concreto leve com resíduo de prancha de surfe, bem como a metodologia dos ensaios para a determinação de suas propriedades físicas e mecânicas.

O quarto capítulo apresenta e analisa os resultados obtidos para as diferentes dosagens de concreto leve com resíduo de prancha de surfe.

Finalmente, o quinto capítulo traz as considerações finais do trabalho, conforme a análise dos resultados, e sugestões para futuras pesquisas no assunto.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O concreto é o material artificial mais utilizado para a construção civil no Brasil, chega a ser cerca de 90% de toda a construção do país (Falcetta, 2017?). Esse fato se dá por conta da sua versatilidade, durabilidade, além das suas resistências à compressão e à tração elevada, além do seu baixo custo (85% de seu volume é composto de materiais de construção barato, como a água, areia e brita).

Seu comportamento mecânico associado a variações de dosagens já é estudado há muito tempo e, recentemente, vem se pesquisando a incorporação de materiais alternativos, visando justificar seu comportamento frente a parâmetros de sustentabilidade otimizando, assim, o consumo de suas matérias-primas.

O desenvolvimento sustentável oferece grandes desafios para a indústria e os profissionais, como resultado está uma maior economia, assim como a racionalização de matéria-prima. A proposta desse estudo é substituir um percentual do agregado miúdo do concreto por resíduo de prancha de surfe, aqui chamando também pela sigla RPS, que surge com o intuito de contribuir para a sustentabilidade, além de, possivelmente, conferir-lhe mais leveza e, ainda, associado a questões como isolamento térmico e/ou acústico.

Para essa análise foi necessário se aprofundar nas propriedades de um componente em particular o EPS (sigla internacional do Poliestireno Expandido, de acordo com a Norma DIN ISSO-1043/78) que compõem cerca de 95% do resíduo de prancha de surfe usado no estudo.

### **2.1. CONCRETO**

Isaia (2010) afirma que o concreto de cimento Portland é o mais importante material de construção civil e estrutural da atualidade. Ainda que tenha sido o material de construção mais recente, é considerado uma das descobertas mais importante da história do desenvolvimento da humanidade e sua qualidade de vida.

Até o final do século XIX os sistemas construtivos usuais eram as estruturas em madeira e em alvenaria. Como a madeira, embora abundante na época, apresentasse os problemas de durabilidade e combustão (muitas cidades sofreram sinistros de grandes proporções) a alvenaria de pedras [...] foi o sistema estrutural empregado nas obras mais importantes. [...] É nesse contexto que se inicia a história [...] do concreto: como aglomerantes para argamassas de alvenarias. (CARVALHO, 2008)

O material considerado ideal para as construções é aquele que manifesta associadamente resistência e durabilidade. A pedra, da alvenaria, tem resistência à compressão e durabilidade elevadas, mas sua resistência à tração é baixa. Já o ferro e o aço têm resistência elevado, mas a durabilidade também é limitada, devido as corrosões que podem sofrer. A partir desse impasse, o concreto armado surgiu para aliar a durabilidade da pedra com a resistência à tração do aço, com facilidade e rapidez para assumir a forma desejada, além de proteger e envolver o aço para evitar sua corrosão.

Acompanhando o desenvolvimento da humanidade pode-se observar que o poder e progresso das nações está intrinsecamente ligado as grandes mudanças na maneira de construir com novos materiais estruturais e no domínio do conhecimento sobre esses materiais. É o caso dos romanos que se destacaram na aplicação de concretos e argamassas, permitindo-lhes criar espaços amplos em forma de arco, abóbadas e cúpulas. Essas obras esplendorosas e inéditas trouxeram-lhe grande desenvolvimento e revolucionaram a arquitetura da época, como exemplo do Pantheon, em Roma, na Itália, (Figura 6: Pantheon, Roma, Itália. Fonte), que tem sua cúpula a uma altura igual ao diâmetro de sua base cilíndrica, 43 m, (ver Figura 7: Corte transversal do Patheon. Fonte: HISTÓRIA DA ARTE (acesso em 26 de janeiro de 2019)), tornando o espaço interior virtualmente uma esfera. (Carvalho, 2008)





Figura 6: Pantheon, Roma, Itália. Fonte: INDEPENDENT (acesso em 25 de janeiro de 2019)

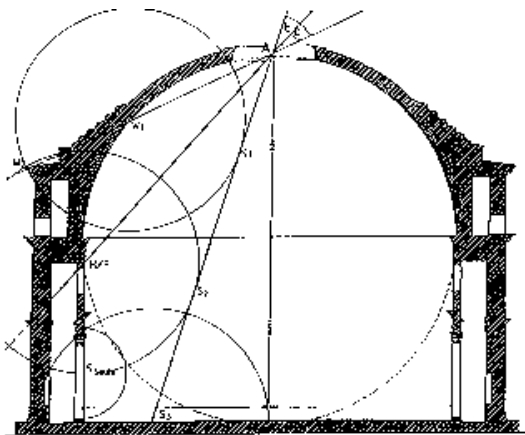


Figura 7: Corte transversal do Patheon. Fonte: HISTÓRIA DA ARTE (acesso em 26 de janeiro de 2019)

No Brasil, na primeira metade do século XX onde não existia indústrias siderúrgicas capazes de produzir perfiz estruturais, o concreto armado teve um papel fundamental, com isso foi o considerado o material estrutural de construção civil mais consumido, e que continua sendo até hoje.

Ainda no contexto nacional, somente em 1931 ocorreu a publicação da primeira norma, depois de haver projetado e construído dois recordes mundiais em altura, os edifícios *A Noite* (Figura 8: Edifício A Noite, Rio de Janeiro, 1929, Fonte: DIÁRIO DO RIO (acesso em 20 de janeiro de 2019)), no Rio de Janeiro, foi projetado por Joseph Gire e Elisário da Cunha Bahiana, e *Martielli* (Figura 9: Edifício Martinelli, São Paulo, 1929. Fonte: ESTILOS ARQUITETONICOS (acesso em 20 de janeiro de 2019)) em São Paulo, ambos com mais de 100m de altura.



Figura 8: Edifício A Noite, Rio de Janeiro, 1929, Fonte: DIÁRIO DO RIO (acesso em 20 de janeiro de 2019)



Figura 9: Edifício Martinelli, São Paulo, 1929. Fonte: ESTILOS ARQUITETONICOS (acesso em 20 de janeiro de 2019)

Na mistura do concreto, o cimento ao se hidratar forma uma pasta onde a fluidez varia de acordo com a quantidade de água adicionada. Os agregados, de vários tamanhos, são envolvidos por esta pasta para produzir o concreto. No estado ainda fresco, o concreto deve ter plasticidade suficiente para as operações de: manuseio, transporte e lançamento nas formas. Com o tempo, o concreto começa a endurecer, por causa da reação irreversível da água com o cimento, e assim passa a adquirir resistência mecânica tornando-o um material de excelente desempenho estrutural. Em alguns concretos são acrescentados aditivos para modificar suas características físicas e químicas.

A composição básica do concreto é:

**Água:** Influência diretamente na qualidade e segurança da obra, por isso deve atender certas qualidades químicas, ser isenta de impurezas e atender os parâmetros recomendados.

**Aglomerante:** É um material ligante que promove a união dos grãos de agregados, o aglomerante mais usado nas construções é o cimento, como mostrado na Figura 10: Cimento Portland. Fonte: MAPA DA OBRA (acesso em 26 de janeiro de 2019). Por ser um material cerâmico, o cimento quando em contato com a água, hidrata-se formando uma massa pastosa, finamente cristalina que ao endurecer ganha resistência mecânica.



Figura 10: Cimento Portland. Fonte: MAPA DA OBRA (acesso em 26 de janeiro de 2019)

**Agregados:** Segundo Bauer (apud Júnior, 2015), os agregados contribuem com cerca de 80% do peso e 20% do custo de concreto estrutural sem aditivos. Eles podem ser separados em agregados graúdos, que podem ser o pedregulho natural, a pedra britada (proveniente do britamento de rochas estáveis) ou a mistura de ambos; e os agregados miúdos, que podem ser a areia de origem natural, a areia resultante do britamento de rochas estáveis ou a mistura de ambas. Os tipos de agregados são mostrados na Figura 11: 1) pedregulho; 2) brita; 3) areia de brita; 4) areia natural. Fonte: Google image (acesso em 01 de janeiro de 2019) Eles são “o principal responsável pela massa unitária, módulo de elasticidade e estabilidade dimensional do concreto” (Mehta e Monteiro apud Júnior, 2015).



Figura 11: 1) pedregulho; 2) brita; 3) areia de brita; 4) areia natural. Fonte: Google image (acesso em 01 de janeiro de 2019)

**Aditivos:** São produtos que tem a capacidade de alterar as propriedades do concreto em estado fresco ou endurecido, melhorando sua qualidade ou de minimizando seus pontos fracos. Os principais tipos de aditivos são: plastificantes (P), retardadores de pega (R), aceleradores de pega (A), plastificantes retardadores (PR), plastificantes aceleradores (PA), incorporadores de ar (IAR), super plastificantes (SP), super plastificantes retardadores (SPR) e super plastificantes aceleradores (SPA).

**Adições:** São matérias que podem ser integrados ao concreto ou no cimento em fábrica, para aprimorar certas características dos mesmos. No concreto é comum as adições de fibras de nylon para evitar fissuras, os pigmentas para colorir, o isopor para enchimentos entre outros. Já no cimento, as adições mais conhecidas são o Filler, a Escoria e a Pozolana, que são responsáveis pelos cimentos tipo CII-F, CII-E e CII-Z, no qual são responsáveis pela diminuição da permeabilidade e a porosidade capilar, aumentam da resistência a sulfatos e reduzem o calor de hidratação.

## 2.2. CONCRETO LEVE

A principal característica do concreto leve está em seu nome: a leveza. Essa leveza é devido à baixa massa específica dos aditivos que quando incorporados no

concreto confere a ele uma redução no seu peso próprio, variando segundo Neville (2013) de 300 kg/m<sup>3</sup> a 1850 kg/m<sup>3</sup>, enquanto o convencional está na faixa de 2000 kg/m<sup>3</sup> a 2800 kg/m<sup>3</sup>. A substituição dos agregados tradicionais pode ser parcial ou total, os agregados leves mais usados são a argila expandida, a vermiculita, o isopor ou a EVA.

Conforme a norma americana ACI 213R-87 (apud Schwantes, 2012), existem 3 categorias classificadas pela massa específica do concreto leve e sua aplicação. A Figura 12: Intervalos típicos de valores de massa específica de concretos leves. mostra essa classificação.

- a. Concreto de baixa massa específica (abaixo de 800 kg/m<sup>3</sup>): sua resistência à compressão varia de 0,7 a 7,0 MPa, aos 28 dias. Não tem finalidade estrutural, porém por conta da baixa condutividade térmica são usados como de isolamento térmico por;
- b. Concreto de moderada resistência (800 a 1350 kg/m<sup>3</sup>): com resistência variando de 7 a 17 MPa, nos 28 dias, tem utilidade para enchimentos, com características de isolamento térmico intermediárias.
- c. Concreto leve estrutural (1350 a 2000 kg/m<sup>3</sup>): resistência, aos 28 dias, acima de 17,2 MPa. Possuem menor isolamento térmicos e contém, geralmente, xistos expandidos, argilas, ardósias, escórias e pedra-pome como agregados graúdos.

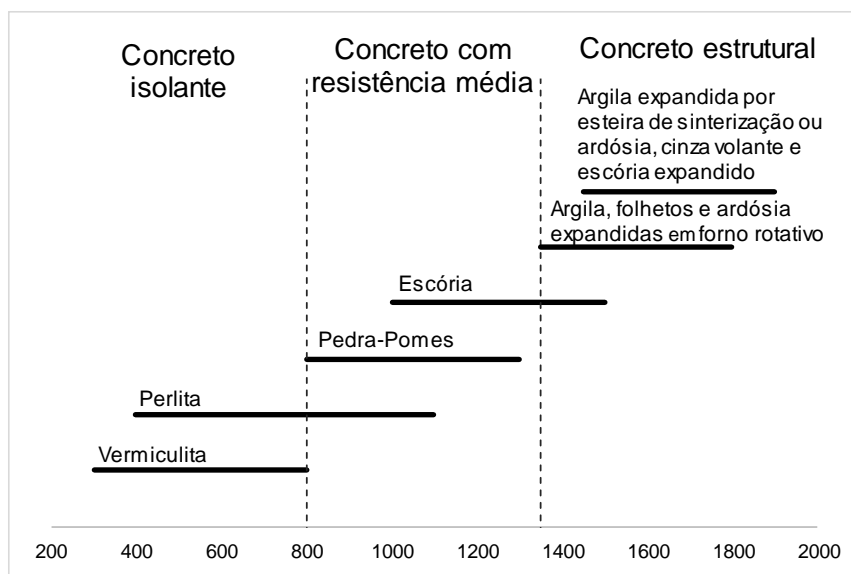


Figura 12: Intervalos típicos de valores de massa específica de concretos leves.

Segundo Neville (apud Silva 2003), o concreto leve tem teores de cimento maiores do que os concretos normais, o que pode condicionar no aumento no custo do concreto. Porém essa desvantagem é compensada pela redução no peso próprio e menor carga nas fundações.

Os concretos leves ainda podem ser classificados em:

- Concretos com agregados leves, abordado anteriormente, que detêm de uma maior aplicação estrutural;
- Concretos celulares, que constitui na incorporação de grandes vazios no interior da massa do concreto;
- Concretos sem finos, que são formados por grandes quantidades de vazios intersticiais, por causa da ausência do agregado miúdo.

### **2.2.1. CONCRETO LEVE COM ESPUMA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)**

Atualmente, as pranchas são compostas, basicamente, por três materiais: a espuma de poliestireno expandido (que compreende da maior porção de material), fibra de vidro e resina epóxi. Podem ser encontradas também com a espuma de poliuretano (PU), substituindo o EPS, além da fibra de vidro e a resina tradicional.

Também conhecido pelos nomes comerciais de *Isopor*® e *Styropor*®, o poliestireno expandido (EPS), Figura 13: Bloco de Poliestireno Expandido. Fonte: ECIVILNET (acesso em 5 de fevereiro de 2019), foi descoberto em 1949 por Fritz Stastny e Karl Buchholz, dois químicos que trabalhavam nos laboratórios da BASF, na Alemanha.



Figura 13: Bloco de Poliestireno Expandido. Fonte: ECIVILNET (acesso em 5 de fevereiro de 2019)

De acordo com Serfaty e Montenegro (2002), o poliestireno expandido é uma espuma rígida obtida por meio da expansão da resina de poliestireno (PS) durante a sua polimerização.

No processo de expansão, as pérolas são submetidas à expansão em até 50 vezes o seu tamanho original, através de vapor, fundindo-se e moldando-se em formas diversas. Expandidas, as pérolas consistem em até 98% de ar e apenas 2% de poliestireno (ABRAPEX). Como é composto basicamente por vazios contendo ar e fisicamente estável pode suportar variações térmicas de  $-70^{\circ}$  a  $80^{\circ}$  Centígrados.

A ABNT NBR 11752:07 classifica o poliestireno em duas versões: Classe P, não retardante à chama e Classe F, retardante à chama, com as identificações dos produtos, respectivamente, nas cores azul e vermelha. E também pode ser encontrado em três grupos de massa específica aparente: I - de 13 a 16 kg/m<sup>3</sup>, II - de 16 a 20 kg/m<sup>3</sup>, III - de 20 a 25 kg/m<sup>3</sup>.

Coincidentemente, o concreto leve com EPS (ver Figura 14: Matérias primas do concreto leve com EPS e alguns exemplos de aplicação. Fonte: JUNOEPSR (acesso em 05 de fevereiro de 2019)) também começou a ser desenvolvido em 1957 na BASF. A princípio, o processo foi muito lento devido ao alto preço das pérolas de EPS, que na época era considerada material de luxo. Somente em 1968, houve uma avaliação de que o concreto leve teria uma grande importância na construção civil, por apresentar inúmeras vantagens sobre o convencional.



Figura 14: Matérias primas do concreto leve com EPS e alguns exemplos de aplicação. Fonte: JUNOEPSR (acesso em 05 de fevereiro de 2019)

O isopor tem sido um material largamente utilizado em muitas aplicações cotidianas graças ao seu desempenho, versatilidade e custo-eficácia. Nas três últimas décadas, esse material ganhou uma posição estável na construção civil, por suas características de:

- Baixa condutividade térmica: a estrutura de células fechadas dificulta a passagem do calor;
- Leveza: densidade variável de 10 a 30 kg/m<sup>3</sup>, moderando o peso das construções. Cabe lembrar que a diminuição da densidade afeta diretamente a resistência do concreto;
- Resistência mecânica: apesar de muito leve, tem resistência à compressão elevada de 1 a 2 kg/cm<sup>2</sup> (Figura 15: Gráfico Deformação x Resistência à compressão. Fonte: ABRAPEX (acesso em 15 de janeiro de 2019));



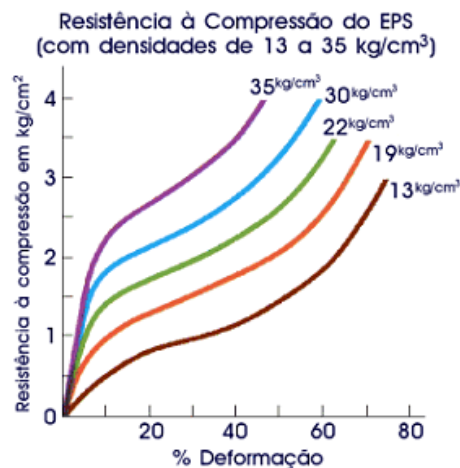


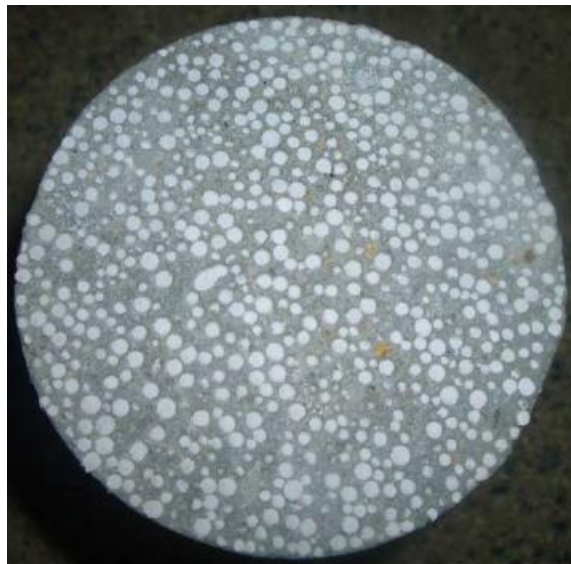
Figura 15: Gráfico Deformação x Resistência à compressão. Fonte: ABRAPEX (acesso em 15 de janeiro de 2019)

- Facilidade de manuseio: além do seu baixo peso que facilita no manuseio, também é possível trabalhar com ferramentas habituais.
- Baixo custo: mesmo as eventuais quebras ele ainda é a opção de melhor custo-benefício;
- Baixa absorção de água: Mesmo quando imerso em água o isopor absorve apenas pequenas quantidades de água, por isso é designado como um material hidrofóbico.

Sempre que não haja exigência de resistência a grandes esforços, esse tipo de concreto pode ser usado com grande redução de peso em elementos das edificações. Além do baixo peso, suas qualidades isolantes ampliam sua utilização dando um grande passo a caminho da industrialização de componentes da construção civil. (ABRAPEX, 2006).

Tanto para o concreto leve de EPS como para o concreto normal, as propriedades não diferem tanto, porém, devem-se tomar alguns cuidados com a trabalhabilidade, evitando desta forma a segregação dos materiais. Devido à textura áspera e a baixa densidade dos agregados, os trabalhos de lançamento, compactação e acabamento necessitam de menor esforço e, por conseguinte, necessitam de menor abatimento. (Mehta e Monteiro apud Soares, 2014)

O concreto leve, além de versátil e economicamente vantajoso, pode ser uma excelente opção sustentável, pois como o material pode ser 100% reaproveitável. Alguns lugares que contam com coleta seletiva de lixo podem utilizar o EPS moído na produção de concreto leve para calçadas, quadras esportivas, bancos de jardim, vasos, balaústres, casas pré-fabricadas, e outros. Pode-se usá-lo em quase tudo à exceção de estruturas. Na Figura 16: Composição do concreto leve estrutural com pérolas de EPS. Fonte: Thiago Catoia (2012) abaixo, mostra um corpo de prova experimental com pérolas de isopor.



*Figura 16: Composição do concreto leve estrutural com pérolas de EPS. Fonte: Thiago Catoia (2012)*

### **3. MATERIAS E MÉTODOS**

Neste capítulo apresenta-se a metodologia e os procedimentos adotados para realizar a investigação do resíduo de prancha de surfe (RPS) como um dos constituintes do concreto leve não estrutural.

O estudo experimental desta pesquisa foi dividido em três etapas: dosagem de referência, ajuste de dosagem e dosagem com adição de RPS. Os traços do concreto com RPS estudados continham cimento, agregado graúdo, agregado miúdo, água e RPS. O RPS foi empregado, inicialmente, como uma proposta para sustentabilidade, e, conseqüentemente, proporcionou redução do peso do concreto.

No âmbito das propriedades mecânicas, será analisado a resistência à compressão, absorção de água por imersão, massa específica e índice de vazios, para os concretos de diferentes dosagens. Para essas análises, foi preciso produzir corpos de prova padronizados segunda a norma vigente.

Vale salientar que poucas foram as referências sobre o assunto tratado neste trabalho, assim foram necessários utilizar estudos referentes ao concreto leve com EPS, pois o poliestireno é o material de maior percentual nos rejeitos de prancha de surfe.

#### **3.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS**

Visando um melhor entendimento e organização deste trabalho, nesta primeira etapa, foi descrita os ensaios de caracterizados de todos os constituintes do concreto com RPS, antes de apresentar as dosagens.

Verificou-se que uma das principais preocupações para com o resíduo de prancha (RPS) foi caracterização das suas propriedades mecânicas. Verificou-se também, que existe um cuidado com a quantidade de impureza encontrada e a granulometria do resíduo a ser inserido no concreto.

Primeiramente foi realizada uma caracterização dos elementos constituintes do concreto: cimento, agregados graúdo e miúdos e o RPS, a ser acrescentado. Cabe destacar que a água potável usada em todas as misturas é proveniente da rede de distribuição da cidade de Macaé, Rio de Janeiro.

### 3.1.1. CIMENTO

O cimento usado nesta pesquisa foi o CII-E-32. Não foram encontradas especificações técnicas quanto a composição, características físicas e químicas do fabricante do produto usado, porém como é um cimento comercializado no mercado, deve atender os requisitos estabelecidos na norma ABNT NBR 16697:18. Assim, as Tabela 1: Limites de composição do cimento, Tabela 2: Requisitos físicas e mecânicos do cimento e Tabela 3: expõem, respectivamente, a composição, as características físicas e as características químicas do cimento normatizado.

*Tabela 1: Limites de composição do cimento*

COMPOSIÇÃO	PORCENTAGEM DE MASSA (%)
Clinker + sulfatos de cálcio	51 - 94
Escória granulada de alto-forno	06 - 34
Material pozolânico	0
Material carbonático	0 - 10

*Fonte: ABNT NBR 16697:2018*

Tabela 2: Requisitos físicos e mecânicos do cimento

ESPECIFICAÇÕES	PARÂMETROS
Finura - peneira abertura 75 µm	≤ 12,0
Tempo de início de pega	≥ 60 min
Tempo de fim de pega	≤ 600 min
Expansibilidade à frio	≤ 5 mm
Expansibilidade à quente	≤ 5 mm
Resistência à compressão (3 dias)	≥ 10 MPa
Resistência à compressão (7 dias)	≥ 20 MPa
Resistência à compressão (28 dias)	≥ 32 MPa

Fonte: ABNT NBR 16697:2018

Tabela 3: Requisitos químicos do cimento Portland

ESPECIFICAÇÕES	PORCENTAGEM DE MASSA (%)
Resíduo insolúvel (RI)	≤ 5,0
Perda ao fogo (PF)	≤ 6,5
Trióxido de enxofre (SO <sub>3</sub> )	≤ 4,5

Fonte: ABNT NBR 16697:2018

### 3.1.2. AGREGADOS GRAÚDO E MIÚDO

Para todo o estudo foram utilizados dois tipos de agregados: o graúdo, sendo a brita 0, e o miúdo, sendo a areia fina.

O ensaio de composição granulométrica foi realizado do mesmo modo para os dois tipos de agregados, de acordo com a NM 248:03. O material seco foi levado para uma sequência de peneiras por 15 minutos, no agitador mecânica. O final do tempo, o material passante foi levado para outra sequência de peneiras mais finas e os retidos, em cada peneira, foi pesado. Na Figura 17 abaixo é mostrado o gráfico de granulométrica dos agregados miúdo e graúdo realizado por da Silva (2019).

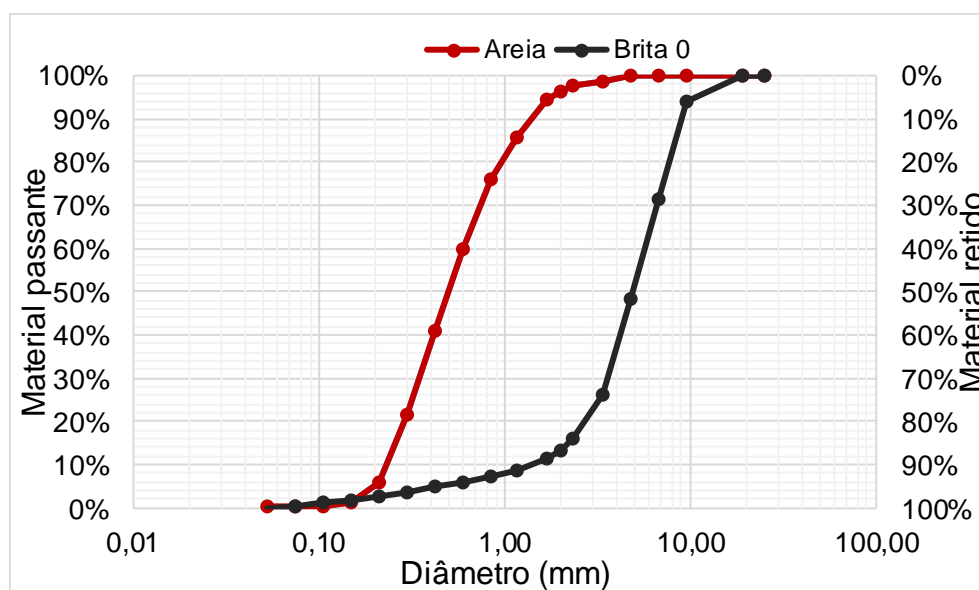


Figura 17: Curva granulométrica da brita 0 e da areia fina. Fonte: Silva (2019)

Segunda Silva (2019) para a massa específica unitária da brita 0 foi usada a norma NM 45:06 e a ABNT NBR 9776:87 para massa específica da areia fina.

A massa específica unitária do agregado graúdo foi obtida de acordo com o método A, da norma citada anteriormente e executada por Silva (2019).

Relembrando o procedimento, em que num recipiente, exposto na

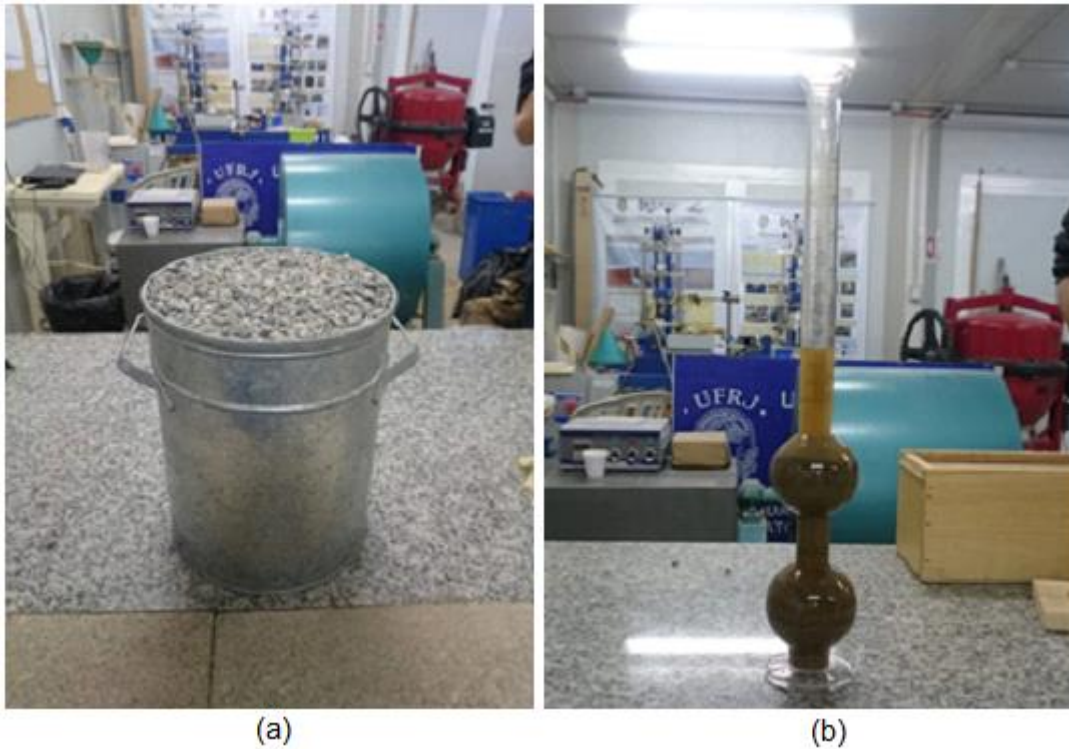


Figura 18 (a), o agregado é dividido em 3 camadas e com 25 golpes é adensado em cada camada, registrando a massa ao final da última camada.

Assim, a massa unitária é mensurada conforme a equação (1):

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} + m_r}{V} \quad (1)$$

Onde:

$\rho_{ap}$  = a massa unitária do agregado;

$m_{ar}$  = a massa do recipiente mais o agregado;

$m_r$  = a massa do recipiente vazio;

$V$  = o volume do recipiente.

O ensaio para determinar a massa específica da areia fina foi o do frasco de Chapman, mostrado na

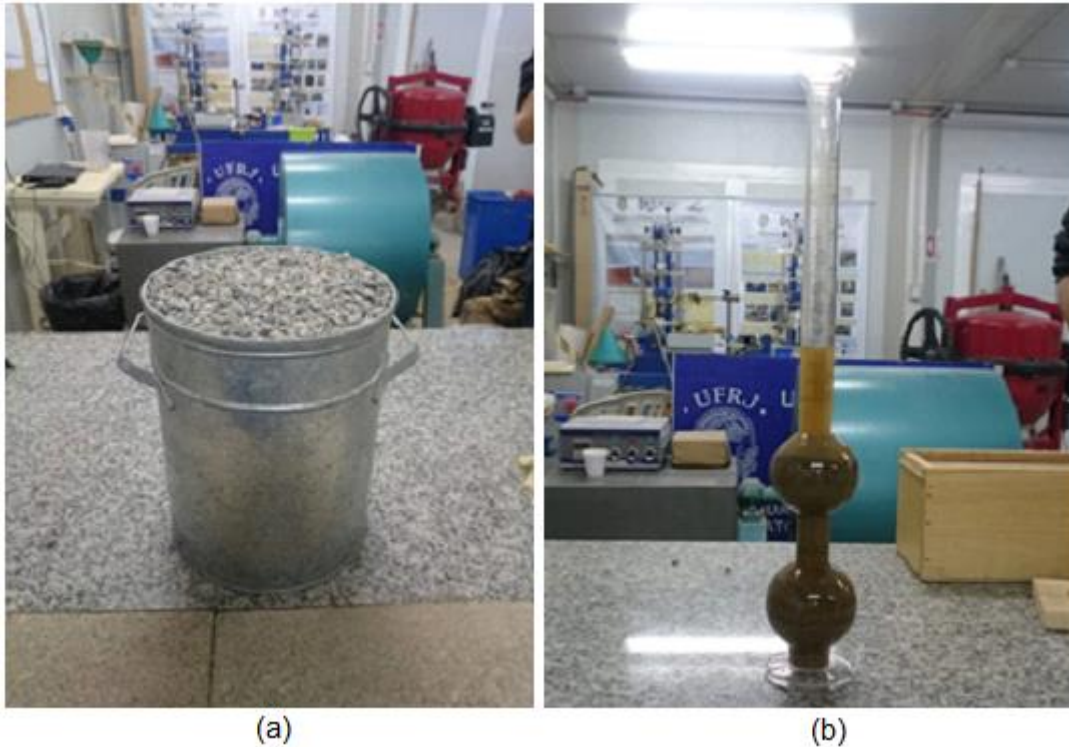


Figura 18 (b), que consiste pela secagem do agregado na estufa à 105°C, posteriormente 500gf da amostra é colocada cuidadosamente no frasco, para que não fique grãos no tubo, com 200ml de água destilada, e assim agitada afim de eliminar as possíveis bolhas. Após é feita a leitura do nível da mistura água destilada/agregado e calculado sua massa a partir da equação (2):

$$\gamma = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Onde:

$\gamma$  = densidade

$m$  = massa do material

$V$  = leitura – volume do solvente (200ml de água)



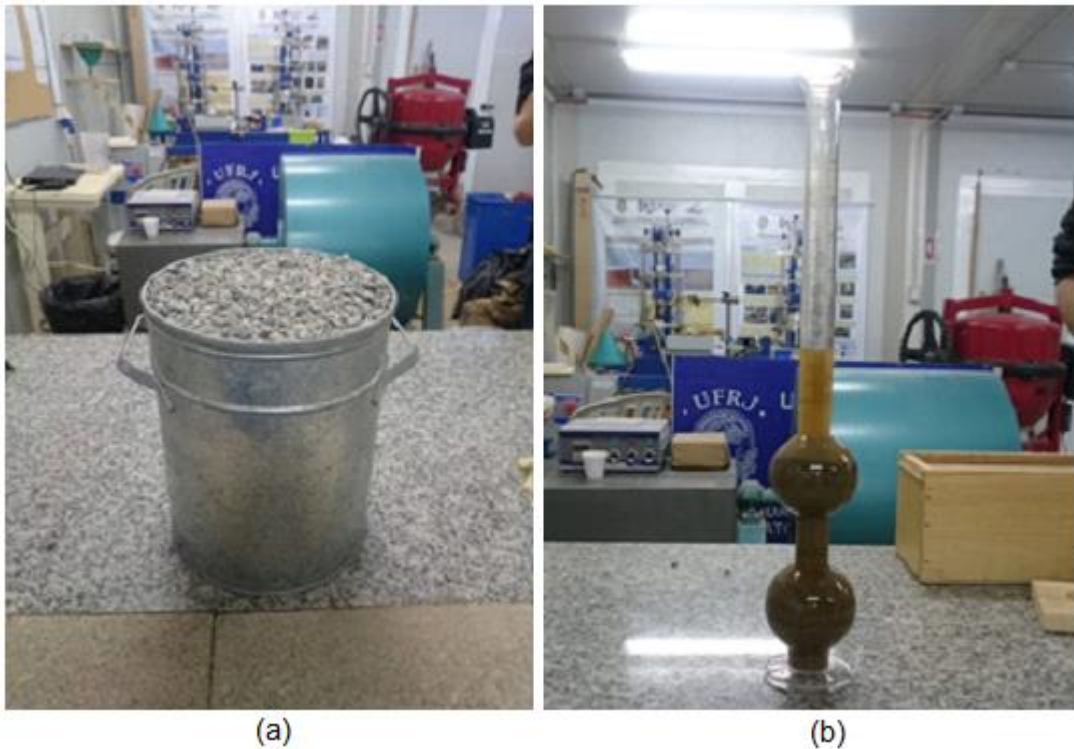


Figura 18: (a) Ensaio da massa específica unitária da brita 0; (b) Execução do ensaio do frasco de Chapman da areia. Fonte: Silva (2019)

Na Tabela 4 abaixo são apresentadas as massas específicas dos agregados miúdo e graúdo, respectivamente:

Tabela 4: Propriedades dos agregados

PROPRIEDADES	
Massa específica da areia (kg/m <sup>3</sup> )	2632
Massa específica unitária da brita (kg/m <sup>3</sup> )	2625

Fonte: DA SILVA (2019)

### 3.1.3. RESÍDUO DE PRANCHA DE SURFE (RPS)

#### 3.1.3.1. COLETA DA AMOSTRA

A coleta do resíduo de prancha de surfe foi realizada manualmente utilizando utensílios como pá, vassoura e sacos plásticos. Foi coletado um saco de RPS, com cerca de 150 litros, que equivale a aproximadamente 8-10 pranchas, produzidas em um período de 15 a 20 dias de trabalho intenso, antes do verão, segundo Leandro. A



Figura 19 apresenta a sequência da coleta dos resíduos de RPS na fábrica de pranchas de surfe do Leandro Santos.



*Figura 19: Sequência de coleta inicial do RPS na fábrica de pranchas*

Os resíduos foram armazenados em um saco, lacrados e identificados. Sendo posteriormente transportado de carro, entre a oficina e o laboratório da Universidade Federal do Rio de Janeiro em Macaé, Rio de Janeiro. Na Figura 20, mostra o saco de RPS coletado já no interior do laboratório na UFRJ/Macaé.



*Figura 20: Saco de RPS coletado e transportado para o laboratório*

### 3.1.3.2. SEPARAÇÃO DA AMOSTRA

Neste ponto cabe mencionar que, a estrutura do laboratório da engenharia civil em Macaé, não possuía meios de triturar todo o resíduo que foi coletado.

Para obter o material final empregado no estudo, foram realizados 2 processos de seleção da amostra. O primeiro consistiu, basicamente, na separação dos resíduos de prancha maiores, como: bloco de isopor, plásticos, madeira, papel e fibra de vidro. Lembrando que esses materiais poderiam ser utilizados caso o laboratório tivesse adequadamente equipado. A Figura 21 apresenta o processo de seleção manual das partes maiores dos resíduos de prancha.



*Figura 21: Separação dos rejeitos maiores*

Após a separação dos resíduos maiores, a amostra foi colocada na peneira com abertura de 6,35 mm (1/4") (

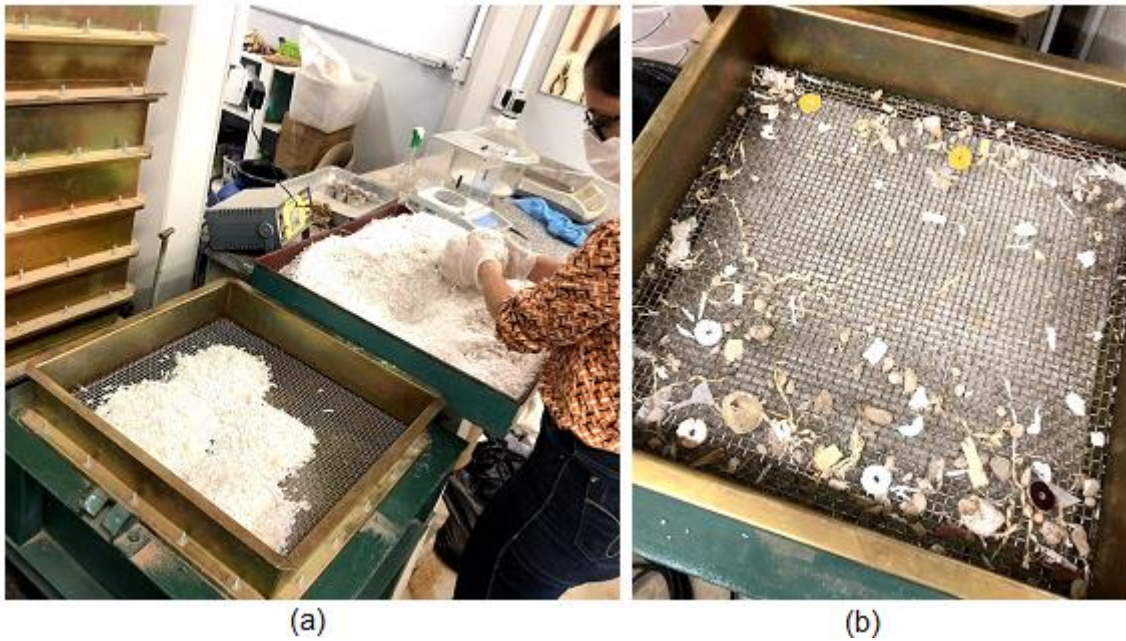


Figura 22 (a)), e submetida ao agitador mecânico onde ficou por aproximadamente 1 minuto, na máxima frequência do equipamento. O material passante na peneira foi selecionado para a pesquisa e o retido foi adicionado ao material selecionado no primeiro processo (

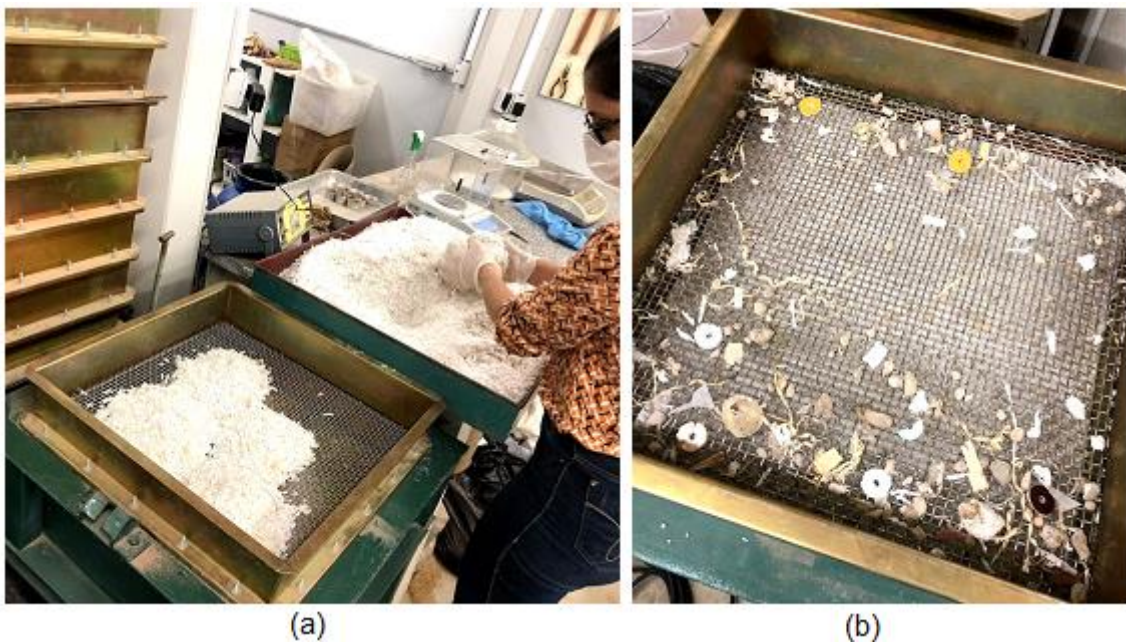


Figura 22 (b)).



(a) RPS sendo colocado na peneira de abertura 6,35mm; (b) Material retido após a peneiração

### 3.1.3.3. MASSA ESPECÍFICA DO RPS

Como o RPS é constituído por uma série de materiais que possuem propriedades distintas, foi necessário realizar um ensaio para saber sua massa específica, com base NBR 9776:87.

A norma estabelece que é necessário pesar 500 g do material ensaiado e colocá-lo no frasco Chapman com 200 mL, posteriormente é necessário movê-lo de forma a eliminar as bolhas de ar. Para o caso do RPS, foi adotado uma modificação do valor a ser pesado para 50 g. Após todos os procedimentos, verificou-se que o RPS flutuou na água, isso fez com que a leitura do nível do frasco não fosse exata, como pode ser visto na Figura 23. Em tempo, vale mencionar que este comportamento era esperado, mas como os recursos existentes só possibilitavam esta tentativa, a decisão foi de arriscar,

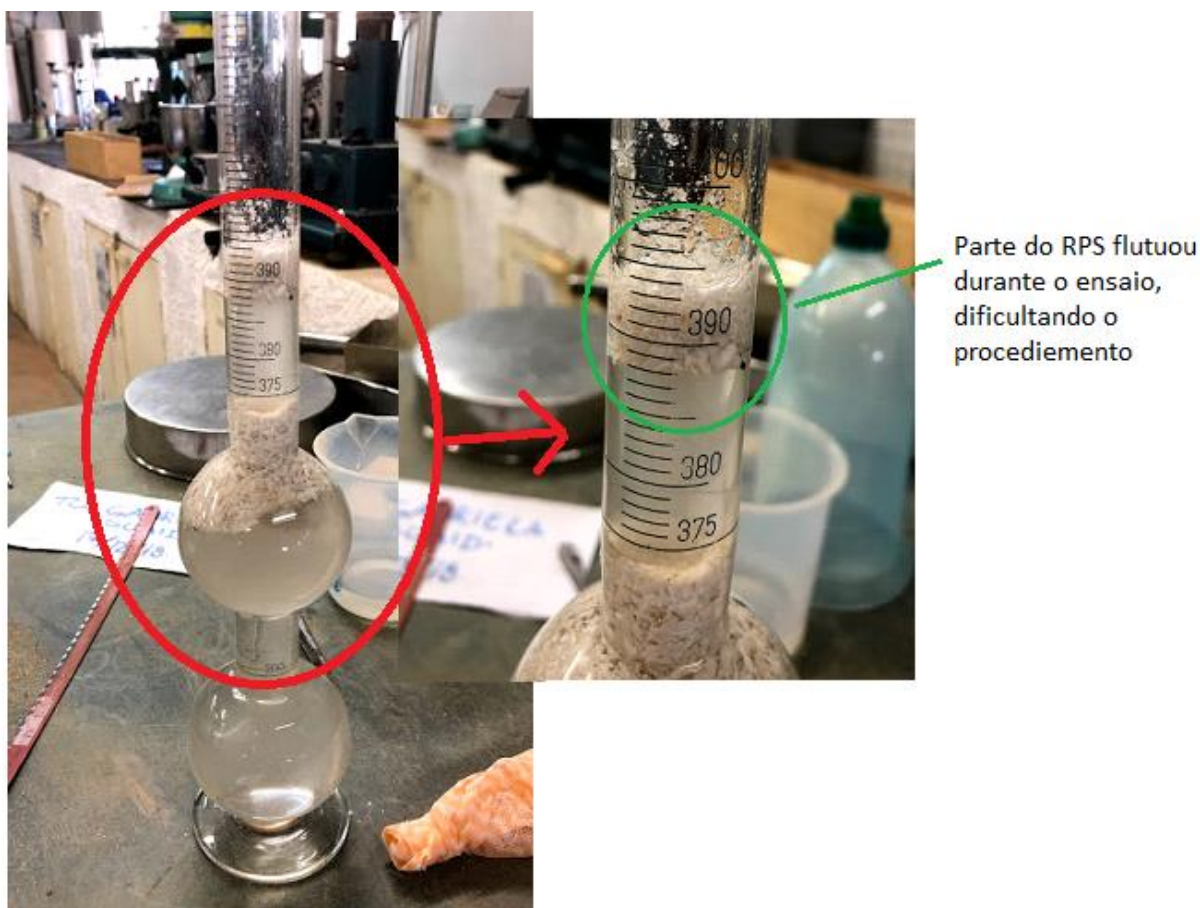


Figura 23: Detalhe do RPS no frasco Chapman

Para estipular o valor da massa específica do RPS, foi usada novamente a equação (2). Contudo, notou-se que a massa específica da amostra não ficou próximo aos valores pré-determinados para o poliestireno expandido (material em maior quantidade), pela ABNT NBR 11949:07. Logo, foi adotado o valor para massa específica de  $25 \text{ kg/m}^3$  definido na referida norma.

### 3.2. ESTUDO DA DOSAGEM

“Entende-se por estudo de dosagem dos concretos de cimento Portland os procedimentos necessários à obtenção da melhor proporção entre os materiais constitutivos do concreto, também conhecido por traço.” (ISAIA, 2011)

Isaia (2011) também recomenda para pesquisas de uma determinada propriedade do concreto, que seja realizado o estudo de dosagem com 5 traços diferentes. Dentre

esses traços, eles se diferem em dois grupos de corpos de prova: grupo 1 (mesmo fator a/c e variando o teor de RPS) e grupo 2 (mesmo teor de RPS e variam o fator a/c).

### 3.2.1. DOSAGEM DE REFERÊNCIA

A primeira etapa da pesquisa foi elaborar um estudo-piloto da dosagem do concreto de referência. Executou-se um traço inicial para um concreto com resistência aos 28 dias ( $f_{cc28}$ ) de 15 MPa, conforme a dosagem empírica das notas de aula do Professor Edmundo Rodrigues da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Foi usado um método empírico para que os concretos confeccionados chegassem o mais próximo possível da realidade de um canteiro de obra.

As notas usam a curva de Abrams para encontrar o fator água-cimento (a/c), ilustrada na Figura 24 a seguir.

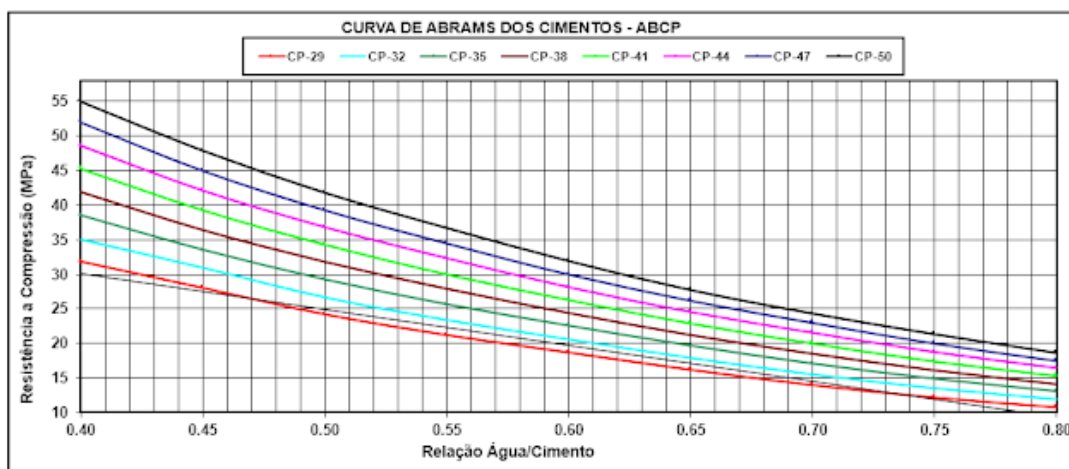


Figura 24: Curva de Abrams. Fonte: Clube do concreto (acesso em 28 de janeiro de 2019)

Para cada dosagem estudada foram determinadas quantidades de materiais (traço – cimento:areia:brita:água) para proporção de mistura em massa, sendo que os agregados foram secos em estufa para não possuírem umidade e, conseqüentemente, não necessitarem de correções no traço.



Como mostra na Tabela 5: Traço de referência o traço de referência inicialmente calculado foi:

*Tabela 5: Traço de referência*

MATERIAIS EMPREGADOS	PESO (kg)
Cimento	1
Areia Úmida	3,471
Brita 0	4,418
Água	0,8

Foi elaborado também um traço conforme o método da Associação Brasileira de Cimento Portland, que leva em consideração os consumos dos materiais usados. Esse método foi criado na década de 80 por meio de experimentos, porém hoje em dia, por conta das mudanças dos materiais de construção, ele é considerado desatualizado, não sendo utilizado para se obter diretamente um traço mas sim uma base para molde de corpos de prova (Falcetta, 2017?).

Em comparação ao método de dosagem do Professor Edmundo, foi realizado a dosagem racional pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), para que não aja tanta discrepância entres os métodos empírico e racional. O método da ABCP

Esse método racional. Como exposto na Tabela 6

*Tabela 6: Traço-base de acordo com a ABCP*

MATERIAIS EMPREGADOS	PESO (kg)
Cimento	1
Areia Úmida	3,193
Brita 0	3,000
Água	0,8

### **3.2.2. AJUSTES DE DOSAGEM**

Segundo Rossignolo apud Schwantes (2012), de maneira geral, os métodos utilizados para dosagem de concretos leves, são os mesmos aplicados nos concretos convencionais. No entanto, quatro fatores devem ser considerados:

- i. a necessidade de projetar um concreto com massa específica particulada;
- ii. a absorção de água dos agregados leves;
- iii. a variação da massa específica do agregado leve em função de sua dimensão;
- iv. a influência das características dos agregados leves nas propriedades dos concretos.

Como o objetivo do trabalho é estudar o comportamento do concreto com adição de RPS comparando com um concreto de referência, foi preciso levar em conta o item ii acima, citado por Schwantes (2012). Para melhorar a trabalhabilidade do concreto leve se fez necessário aumentar o fator água/cimento (a/c), pois com o fator do traço referência a massa se encontrava no estado de “farofa”. Assim, de maneira experimental o traço foi corrigido e explicitado na Tabela 7

*Tabela 7: Traço com correção do fator a/c*

MATERIAIS EMPREGADOS	PESO (kg)
Cimento	1
Areia Úmida	3,471
Brita 0	4,418
Água	1,50

Porém, com o aumento do fator a/c, a resistência de 15 MPa que estava sendo usada de referencial para o concreto convencional foi perdida. A quantidade de água em relação ao cimento é a principal responsável pela resistência química e mecânica do concreto, e pela segregação dos materiais.

### **3.2.3. DOSAGEM COM ADIÇÃO DE RPS**

O estudo da dosagem das adições de RPS se deu, a princípio substituindo, em massa, os valores de 5% e 10% da areia. Foram elaborados 4 traços com essas substituições, afim de avaliar tanto a variação do fator a/c como o teor de RPS. A Tabela 8 apresenta os traços elaborados na pesquisa.

*Tabela 8: Traços elaborados*

NÚMERO DO TRAÇO	NOME DADO AO TRAÇO	PERCENTUAL DE SUBSTITUIÇÃO DA AREIA	FATOR A/C
1º	SURFE 1	5%	1,5
2º	SURFE 2	5%	1,25
3º	SURFE 3	5%	1,75
4º	SURFE 4	10%	1,5

Desta forma, as dosagens dos concretos são expostas da Tabela 9Tabela 9

*Tabela 9: Dosagem do concreto com RPS*

MATERIAL	SURFE 1 (kg)	SURFE 2 (kg)	SURFE 3 (kg)	SURFE 4 (kg)
Cimento	1	1	1	1
Areia Úmida	3,298	3,298	3,298	3,124
Brita 0	4,418	4,418	4,418	4,418
RPS	0,174	0,174	0,174	0,347
Água	1,50	1,75	1,25	1,50

Ao decorrer do estudo, notou-se que a utilização desses valores de RPS, que inicialmente aparentavam ser pequenos em massa, tornou-se uma porcentagem elevada quando colocados em volume. Naturalmente, isso aconteceu por conta a baixa massa específica do poliestireno expandido ( $25 \text{ kg/m}^3$ ). Assim, quando os traços foram transformados de massa para volume, o percentual de substituição resultou em 53% nos traços SURFE 1, SURFE 2 e SURFE 3, e 69% para o traço SURFE 4.

Os cálculos das dosagens do concreto podem ser encontrados no Apêndice B.

### **3.3. MISTURA**

Após a pesagem de duas medidas de cada traço os materiais foram sendo adicionados a betoneira de 150 L (ver Figura 25).

Para o concreto convencional, a ordem de colocação dos materiais na betoneira foi:

1. Toda a brita e 50% da água, tempo decorrido de mistura 1 min;
2. Foi adicionado toda a areia, transcorrido 1 min;

3. Incluído todo o cimento, passado 1 min girando;
4. Por final, foi introduzido o restante da água. A mistura continuou sendo realizada até a consistência adequada ter sido observada, neste caso, uma massa bem homogênea(\*)).

(\*) *Observação: a verificação da consistência da massa foi realizada de forma tátil-visual*

Já para o concreto leve a ordem foi a seguinte:

1. Toda a brita e 50% da água, passando-se 1 min;
2. Foi adicionado toda a areia, 1 min de giro;
3. Introduzido todo o RPS, decorrido 1 min de mistura;
4. Incluído todo o cimento, e deixando 1 min girando;
5. Adicionado o restante da água, transcorrido tempo suficiente para constatar a homogeneidade da mistura.



Figura 25: Betoneira de 150 L e Materiais do traço pesado

### 3.3.1. DIFICULDADES ENCONTRADAS COM RPS

Algumas dificuldades foram encontradas ao realizar as misturas dos traços com RPS (SURF 1, SURF 2, SURF 3 e SURF 4). O local no qual é disposto para a realização da mistura na betoneira (ver Figura 26: Área externa do laboratório de engenharia civil UFRJ – Macaé), se encontra na área externa do laboratório. Mediante a isso, o principal empecilho deparado, no momento da atividade, foi o vento, no qual

dificultou a colocação do RPS, bem como a permanência do material dentro da betoneira.



*Figura 26: Área externa do laboratório de engenharia civil UFRJ – Macaé*

Na Figura 27 (a) apresenta o instante em que o RPS é introduzido na betoneira, é possível visualizar que algumas partículas do material são perdidas por causa da ação do vento. Para contornar esse fato durante a rotação da betoneira, houve a necessidade de tampar a betoneira com um plástico, até que a mistura atingisse o estado homogêneo. Na Figura 27 (b) mostra a proteção de plástico no momento da rotação da betoneira.



Figura 27: (a) Colocação do RPS na betoneira; (b) Betoneira com proteção de plástico

Vale evidenciar, que outra dificuldade constatada foi na quantidade de água na mistura dos concretos com RPS. Como dito anteriormente na parte de ajuste de dosagem, o traço referência foi calculado para um fator  $a/c$  de 0,8, porém notou-se que o RPS absorvia parte da água da mistura, fazendo com que o concreto ficasse com um estado de “farofa”. Logo foi feito, de maneira gradual, o aumento da quantidade de água até chegar em 1,50, onde percebeu-se que a massa obteve aspecto mais pastoso (ver Figura 28).



*Figura 28: Concreto no estado de “farofa” e oncreto com aspecto mais pastoso*

### **3.4. MOLDAGEM**

Seguindo a ABNT NBR 5738:15, foi possível moldar 6 corpos de prova cilíndricos com o diâmetro de 10cm e altura 20cm para cada traço, com exceção do SURFE 4 que rendeu 8 corpos de prova. Verificou-se que o traço rendeu mais que o esperado. Devido ser o último traço a ser executado, já se esperava em média de 5 unidades para cada traço. A explicação está associada a baixa massa específica do RPS, bem menor que a massa específica da areia, gerando assim, um aumento considerável do volume da mistura. Outro ponto observado foi de tornar os corpos de prova muito mais leve que os outros. A Figura 29 exhibe a sequência de moldagem dos corpos de prova. O adensado foi feito manualmente, com uma haste metálica, em duas camadas com 12 golpes cada uma, como dito em norma.





(a)



(b)



(c)

*Figura 29: Sequência de moldagem dos corpos de prova*

### 3.5. CURA

A cura inicial, realizada para todas as misturas analisadas, foi de aproximadamente 24 horas, em local protegido, dentro do laboratório. Depois ocorreram as etapas de desmoldagem e de identificação do material (Figura 30).



Figura 30: Corpo de prova do SURFE 3 desmoldados após 24 horas e identificados

Posteriormente, todos os corpos de prova foram colocados em taque de água por 28 dias, onde só saíram para a realização dos ensaios. Na Figura 31 onde mostra os corpos de prova no tanque, pode-se observar o surgimento de bolhas de ar quando corpos de prova do SURF 4 foram submersos. A partir disso, já se pôde concluir que uma maior porosidade dos concretos com RPS.



Figura 31: Corpo de prova dentro do tanque de cura

### **3.6. ENSAIOS COM O CONCRETO LEVE COM RPS**

Para esta etapa foram utilizadas as seguintes normas ABNT NBR 5739:18 para a realização do ensaio de compressão; e ABNT NBR 9778:05 para os ensaios de absorção, índice de vazios e massa específica.

Os 6 corpos de prova cilíndricos de cada traço foram distribuídos da seguinte maneira: 5 para a resistência à compressão e 1 para determinação da absorção, índice de vazios e massa específica.

Como somente no caso do SURFE 4 tiveram 2 corpos de prova a mais, eles foram realocados um para cada ensaio, ficando 6 para o ensaio de resistência a compressão e 2 para o de determinação de absorção e índice de vazios.

Os ensaios foram executados aos 28 dias e os resultados, em valores médios, para a resistência à compressão, absorção e índice de vazios são descritos no próximo capítulo.

#### **3.6.1. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

A resistência à compressão axial é uma característica significativa na avaliação das estruturas de concreto, fornecendo uma boa indicação da capacidade dos elementos em resistir a esforços sem entrar em colapso, que conseqüentemente está relacionada a qualidade do material utilizado.

A preparação dos corpos de prova para o ensaio foi realizada com o emprego de uma retificadora com disco rotativo diamantado, mostrado na Figura 32. A retificação dos mesmos foi executada de acordo com a ABNT NBR 5738:15 com o intuito de promover a regularização do topo e a base, que ficam em contato com os pratos do atuador hidráulico. Fazendo essa regularização da superfície, livra o corpo de prova de ondulações e abaulamentos, que reduz a concentração de tensões durante o ensaio.



Figura 32: Retificadora com disco rotativo diamantado

A resistência à compressão ( $f_c$ ) de cada corpo de prova foi obtida dividindo-se a força de ruptura ( $Q$ ), obtida a partir da leitura na presa hidráulica, pela área da seção transversal do corpo de prova, conforme a equação (3):

$$f_c = \frac{4Q}{\pi d^2} \quad (3)$$

Na Figura 33 observa-se o corpo de prova durante a realização do ensaio de compressão, antes da ruptura.



Figura 33: Corpo de prova na prensa hidráulica

A seguir, na Figura 34, tem-se o corpo de prova fissurado após a ruptura, ao término do ensaio.



*Figura 34: Corpo de prova após a ruptura*

### **3.6.2. ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA**

A realização do ensaio consistiu em 3 pesagens dos corpos de prova. A primeira pesagem os corpos de prova foram retirados do tanque de cura e transportados direto para a estufa, onde permaneceu por um período de 72 horas e em seguida realizada a coleta das massas secas.

Para a segunda pesagem dos mesmos imerso em água, foram necessários fazer duas adaptações do procedimento da ABNT NBR 9778:05, onde é recomendado a imersão da amostra por 72 horas e, posteriormente, a fervura durante 5 horas antes de registra sua massa. Porém levando em conta o pouco tempo que havia para a realização do ensaio e a escassez de equipamentos, foi preciso imergir a amostra por mais de 72 horas e avançar a etapa de fervura, e assim suceder a pesagem do corpo de prova saindo diretamente do tanque para a balança hidrostática.

Alguns cuidados foram tomados para que, ao retirar alguns corpos de prova, o mesmo não incorporasse nenhum ar, e conseqüentemente não afetasse no ensaio. Para isso, conforme mostrado a Figura 35, foi crucial a utilização de um balde para transportá-los até a balança hidrostática.



*Figura 35: Sequencia que mostra o transporte dos corpos de prova do tanque para a balança hidrostática com ajuda de um balde*

A terceira pesagem dos corpos de prova saturado, foi realizada logo após a segunda, com o auxílio de um pano úmido para enxugados.

Após a realização das 3 pesagens, para o cálculo de absorção de água e índice de vazios, utilizou-se as equações (4) e (5), respectivamente:

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

A = absorção de água;

$m_{sat}$  = massa da amostra saturada em água após a imersão;

$m_s$  = massa da amostra seca em estufa.

$$I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

$I_v$  = índice de vazios;

$m_{sat}$  = massa da amostra saturada em água após a imersão;

$m_s$  = massa da amostra seca em estufa;

$m_i$  = massa da amostra imersa em água.

Para a determinação das massas específicas seca, massa específica saturada e massa específica real, os cálculos, pelas equações (6), (7) e (8) foram os seguintes:

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i} \quad (6)$$

Onde:

$\rho_s$  = massa específica da amostra seca;

$m_{sat}$  = massa da amostra saturada em água após a imersão;

$m_s$  = massa da amostra seca em estufa;

$m_i$  = massa da amostra imersa em água.

$$\rho_{sat} = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_i} \quad (7)$$

Onde:

$\rho_{sat}$  = massa específica da amostra seca;

$m_{sat}$  = massa da amostra saturada em água após a imersão;

$m_i$  = massa da amostra imersa em água.

$$\rho_r = \frac{m_s}{m_s - m_i} \quad (8)$$

Onde:

$\rho_r$  = massa específica da amostra seca;

$m_{sat}$  = massa da amostra saturada em água após a imersão;

$m_i$  = massa da amostra imersa em água.



## 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo é apresentado os resultados da investigação experimental a respeito dos diferentes traços de concreto leve com RPS realizados neste estudo. São apresentados, descritos e analisados os resultados dos ensaios de resistência à compressão, absorção por imersão, índice de vazios e massa específica.

### 4.1. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A resistência à compressão do concreto de referência (concreto convencional) obtida foi menor do que a da dosagem para o qual fora projetado (15MPa). Este fenômeno pode ser atribuído ao aumento do a/c que contribuiu para a segregação dos agregados, resultando na diminuição da resistência.

Nas Tabela 10 e Tabela 11 são apresentados os resultados do ensaio resistência à compressão para os concretos do grupo 1 e grupo 2 aos 28 dias, com a finalidade de caracterizar os concretos leves estudados.

*Tabela 10: Resistência a compressão do grupo 1 com variação no teor de RPS*

GRUPO 1				
CONCRETOS	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)			
	Referência	SURF 1	SURF 4	
CP 1	4,53	1,35	0,41	
CP 2	4,52	1,30	0,52	
CP 3	4,78	1,35	0,56	
CP 4	5,02	1,12	0,55	
CP 5	5,02	1,12	0,46	
Média	4,78	1,30	0,52	

*Tabela 11: Resistência a compressão do grupo 2 com variação no fator a/c*

GRUPO 2			
CONCRETOS	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)		
	SURF 2	SURF 1	SURF 3
CP 1	1,09	1,35	1,93
CP 2	1,24	1,30	2,01
CP 3	1,22	1,35	1,97
CP 4	1,36	1,12	2,42
CP 5	1,09	1,12	1,88
Média	1,22	1,30	1,97

As tabelas com as leituras das cargas de ruptura realizadas no ensaio de compressão são encontradas no Apêndice C.

A partir destes resultados foram gerados gráficos, nos quais são apresentados de acordo com cada grupo analisado. Em cada gráfico estão os resultados dos 5 corpos de prova, eliminando a média. A Figura 36 apresenta o gráfico de resistência à compressão do grupo 1; e a Figura 37 exhibe o gráfico de resistência à compressão do grupo 2.

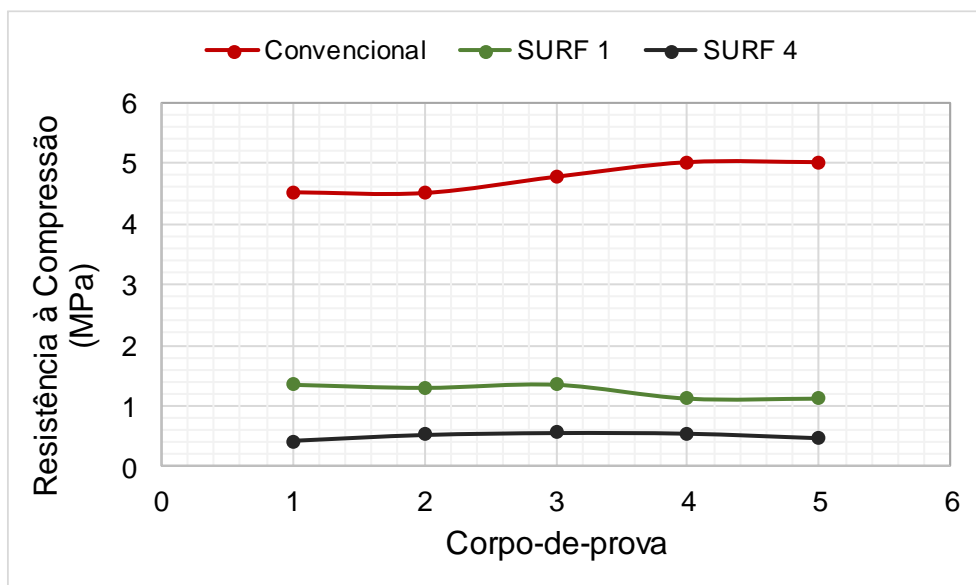


Figura 36: Gráfico Resistência à Compressão versus Corpos de prova do grupo 1

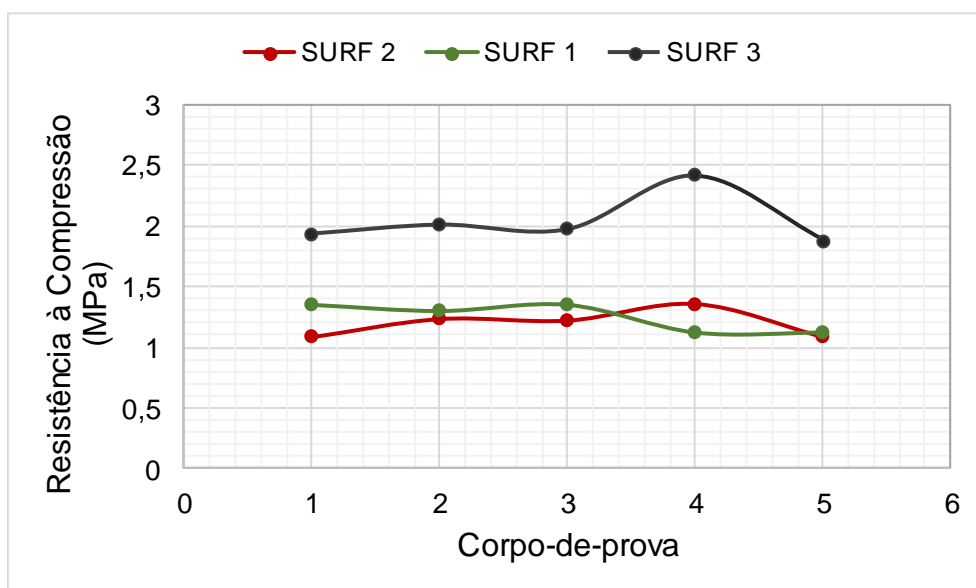


Figura 37: Gráfico Resistência à Compressão versus Corpos de prova do grupo 2

Analisando o grupo 1, verifica-se que quando adicionado os teores de 5% para o traço SURF 1 e 10% para o traço SURF 4 em relação a massa da areia (que equivale a 53% e 69% em relação ao volume de materiais) do traço referência, observou-se uma redução de 73% e 89% da média da resistência à compressão em relação ao concreto de referência (Tabela 10: Resistência a compressão do grupo 1 com variação no teor de RPS).

Para o grupo 2, quando retirado 0,25 do fator a/c no traço SURF 2, houve uma redução da média da resistência à compressão de 6%, em relação ao traço SURF 1. E quando adicionado 0,25 do fator a/c no traço SURF 3, ocorreu o aumento de 55% da média da resistência à compressão, em relação ao traço SURF 1 (Tabela 11: Resistência a compressão do grupo 2 com variação no fator a/c).

Mediante esses dados, observa-se um comportamento não linear da variação média da resistência à compressão tanto em relação ao teor de RPS (grupo 1) como no fator a/c (grupo 2). Os resultados foram plotados nos gráficos das Figura 38 e Figura 39 , onde mostra que o ajuste linear obtido não descreveu a tendência dos pontos.

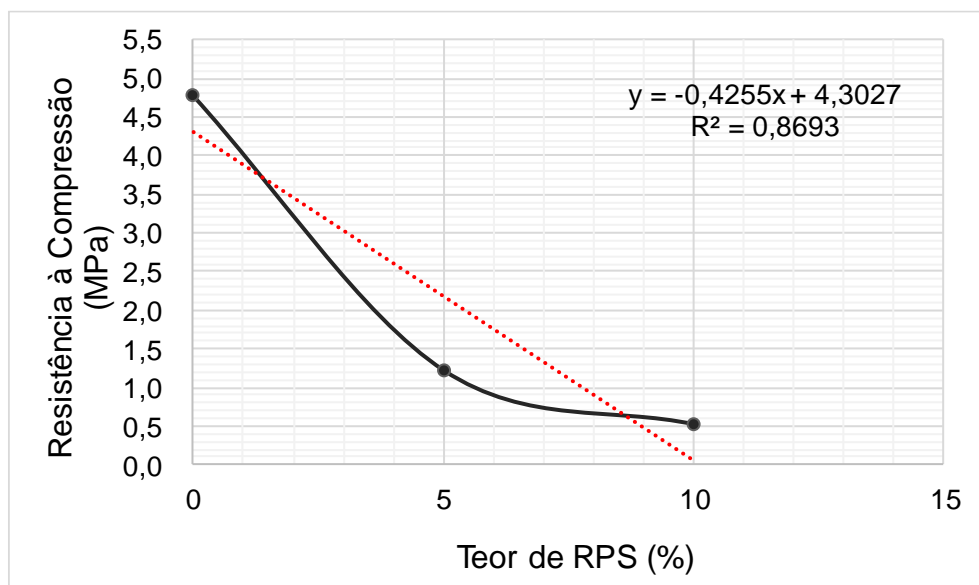


Figura 38: Gráfico Resistência à Compressão média x Teor de RPS (%) em relação ao volume dos materiais

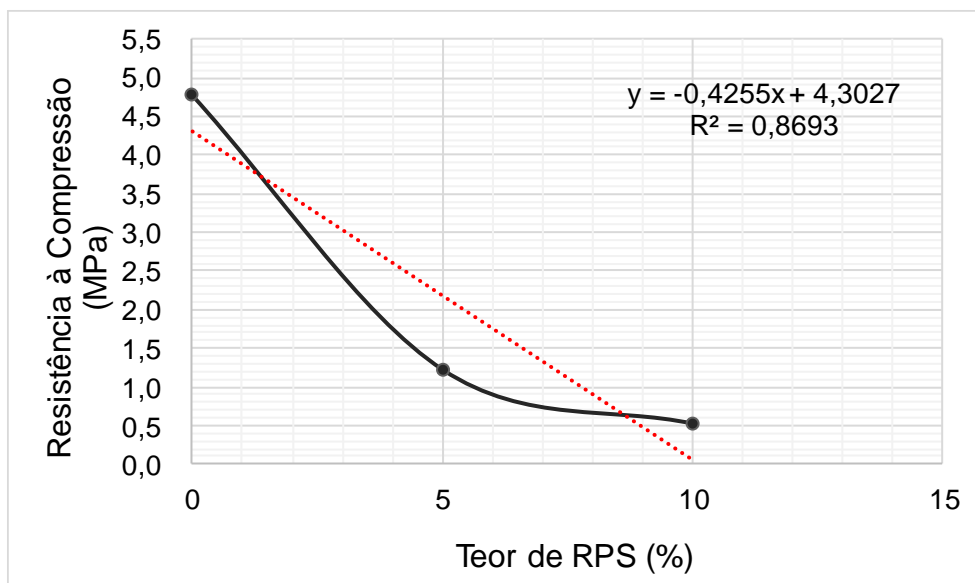


Figura 39: Gráfico Resistência à Compressão média x Fator a/c nos concretos com 5% de RPS

Um detalhe que deve ser salientado é que se observou, somente após a ruptura, foram observadas aberturas no interior dos concretos leves com RPS dos traços SURF 1, SURF 2 e SURF 4 (em destaque na Figura 40: Aberturas realizadas pela haste de adensamento), decorrente da ineficiência do adensamento com haste. O motivo pelo qual houve a existência destas aberturas se dá pelo baixo fator a/c em relação ao teor de RPS, que impediu os materiais assentarem nos moldes. O que, conseqüentemente, pode ter prejudicado a resistência à compressão dos traços citados. Uma alternativa para esse caso seria realizar o adensamento de maneira mecânica utilizando vibradores.

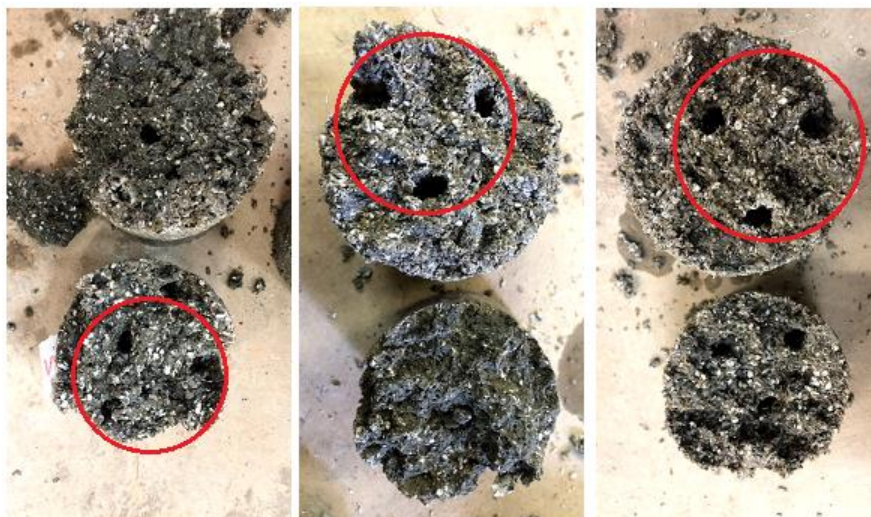


Figura 40: Aberturas realizadas pela haste de adensamento

Outro fato que deve ser ressaltado é que o concreto com adição de RPS (SURF 1, SURF 2, SURF 3 e SURF 4), mesmo após a ruptura permaneceram na forma da moldagem, sem lascamento, conforme apresentado na Figura 41 abaixo.

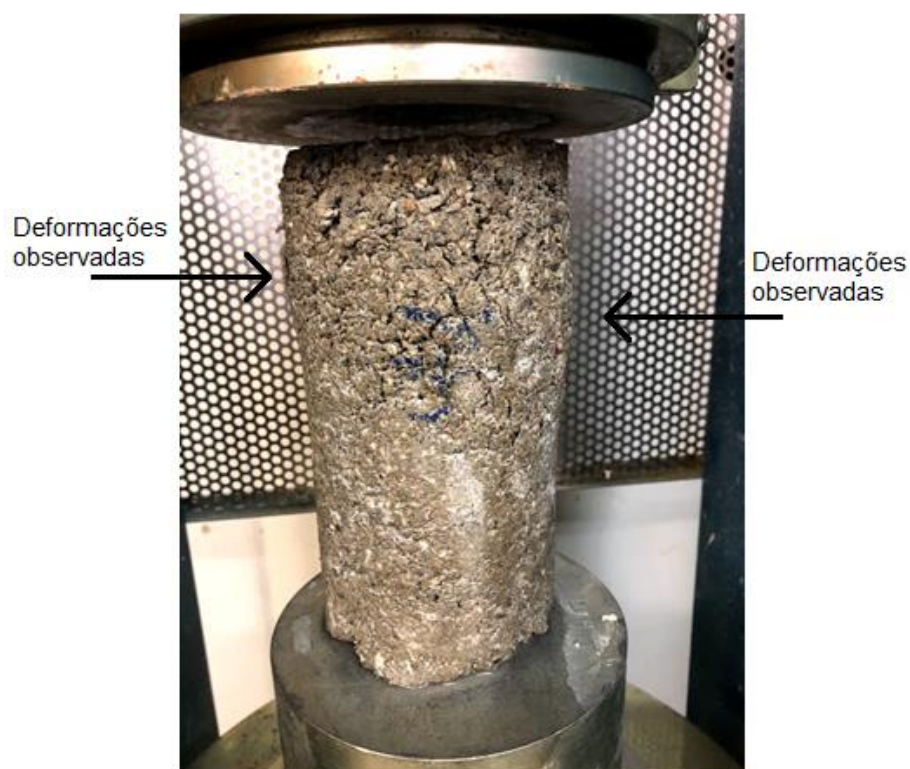


Figura 41: Concreto leve com RPS após o ensaio de compressão

Após a ruptura, de uma forma geral, a maioria dos corpos de prova teve suas superfícies de ruptura formadas acima do centro de gravidade do corpo de prova de concreto. A Figura 42 apresenta diversos corpos de prova após o processo de rompimento na prensa hidráulica do laboratório de engenharia civil da UFRJ/Macaé.



*Figura 42: Corpos de prova rompidos acima do centro de gravidade*

Este fato pode ser explicado por Mehta e Monteiro (apud Soares, 2014), pois devido à baixa densidade do isopor (material de maior porção do RPS) ocorre um fenômeno chamado flutuação do agregado, aonde os agregados convencionais, pela maior massa específica, se concentram na parte inferior enquanto o isopor na parte superior.

De forma a analisar esse fenômeno, os corpos de prova da pesquisa foram submetidos a um corte longitudinal através de uma serra de corte especial. A Figura 43, exibe o processo de corte do corpo de prova com a serra mármore. É possível observar que foi preciso mudar o corpo de prova de posição quando o disco da serra chegava ao limite. O processo teve que ser adaptado, pois nenhum dos equipamentos do laboratório eram adequados para a execução do serviço.



*Figura 43: Processo de corte do corpo de prova com a serra mármore*

A Figura 44: Segregação do RPS no corpo de prova mostra em destaque um dos corpos de provas cortados no plano longitudinal.



*Figura 44: Segregação do RPS no corpo de prova*

De uma forma geral, é possível analisar que a parte superior do corpo de prova contém mais pontos brancos (RPS) enquanto na parte inferior observa-se uma menor



concentração. Isto pode ser um indicativo de que houve uma segregação do resíduo durante a cura do concreto.

Para maiores detalhes acerca da quantidade de RPS nas partes superior e inferior dos corpos de provas ver apêndice A. Lembrando que, o processo baseia-se em uma contagem aproximada.

Cabe observar que a parte do centro do corpo de prova não foi contabilizada nesta análise, pois por conta do processo de corte imperfeito, pode-se ter perdido parte do material. Inicialmente, tentou-se cortá-los com uma serra policorte, porém os discos disponíveis não eram adequados para tão operação.

Assim, a segunda tentativa de corte foi realizada com a serra mármore (Tipo Makita), obteve-se sucesso, entretanto o disco da mesma não alcançava o interior do corpo de prova, assim fez-se necessário força-lo mecanicamente para que pudesse separar as partes.

#### 4.2. ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA

Na Tabela 12 são apresentadas as massas das amostras mesuradas conforme expostas no capítulo anterior. Deve-se frisar que para o SURF 4, os resultados expressos em todas as tabelas e gráficos são dados pela média dos dois corpos de prova informado anteriormente.

*Tabela 12: Tabela das massas dos corpos de prova*

CONCRETOS	MASSAS (kg)		
	SECA	SATURADA	IMERSA
Referência	2,574	2,9295	1,4009
SURF 1	2,2261	2,634	1,1448
SURF 2	2,165	2,5325	1,116

SURF 3	2,4795	2,773	1,5094
SURF 4	1,6335	2,0895	0,744

A Tabela 13, mostra os resultados do percentual de absorção de água e índice de vazios. Pode-se observar que o traço SURF 4 apresentou o maior percentual de absorção de água, enquanto que o traço de referência apresentou o menor percentual de absorção.

O comportamento do índice de vazios segue de maneira similar a absorção de água, tendo o SURF 4 com o maior índice de vazios e os traços SURF 3 e o de referência empatando com o menor índice de vazios. Conforme pode ser visto da Figura 45.

*Tabela 13: Tabelas dos resultados dos ensaios de absorção de água e índice de vazios*

CONCRETOS	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	ÍNDICE DE VAZIOS (%)
Referência	12%	23%
SURF 1	18%	27%
SURF 2	17%	26%
SURF 3	14%	23%
SURF 4	28%	34%

Os dados detalhados dos ensaios encontram-se no Apêndice D.

Avaliando os valores da absorção de água e do índice de vazios de cada traço estudado, constata-se que para esse conjunto de dosagem o índice de vazios é sempre maior que a absorção de água.

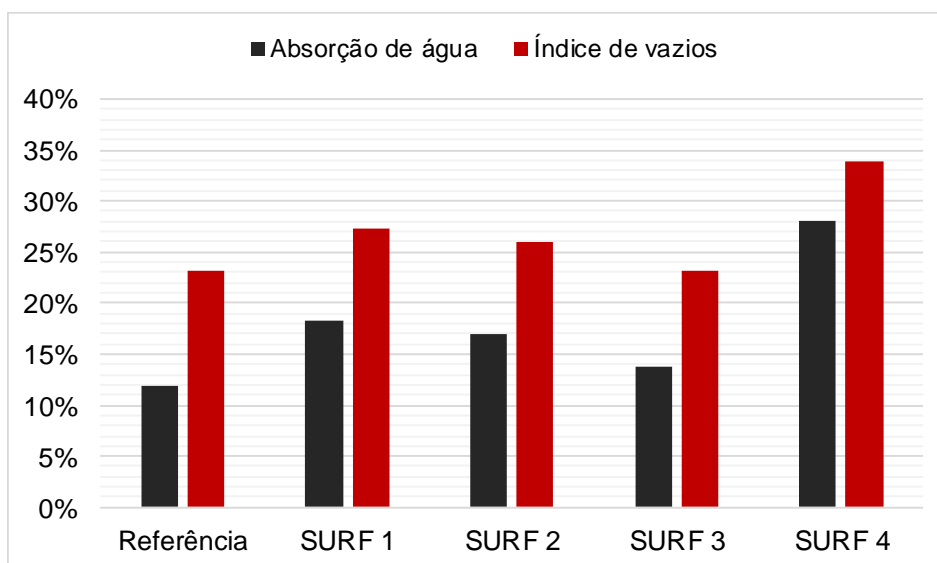


Figura 45: Gráfico do percentual de absorção de água e índice de vazios por dosagem

O aumento do teor de RPS (SURF 4) e a variação do fator  $a/c$  (SURF 1 e 2) no concreto leve proporcionaram um aumento do percentual da absorção de água e índice de vazios. Esse fato pode ser explicado devido a porosidade do agregado, e a aparição das aberturas devido ao adensamento ineficiente desses traços (ver Figura 42).

Segundo o CEB-192 (1998) apud Silva (2006), a qualidade do concreto pode ser relacionada com a sua qualidade quando: inferior a 3,0% baixa absorção e boa qualidade; de 3,0% a 5,0% absorção e qualidade média; e superior a 5,0% indica alta absorção e qualidade pobre.

De acordo com Helene (1983) apud Levy (2001), a durabilidade dos concretos pode ser classificada, segundo sua absorção de água, em duráveis, quando o percentual é menor do que 4,2%; normais, quando está entre 4,2% e 6,3%; e considerados deficientes quando valores maiores que 6,3%. E em função da porosidade (índice de vazios) é considerado duráveis quando menor que 10%; normais entre 10 a 15%; e deficientes quando maior que 15%.

Com isso, para todos os traços deste estudo, os resultados de absorção de água e índice de vazios indicam que os concretos apresentam alta absorção, qualidade pobre e deficientes.

A menor massa específica real é de 1824 g/cm<sup>3</sup> do traço SURF 4, e o traço de referência é o que possui maior valor de massa específica real, de 2556 g/cm<sup>3</sup>, o que indica uma redução da 29%. Como informado na Tabela 14.

*Tabela 14: Tabela de massa específica da amostra seca, saturada e real*

CONCRETOS	MASSA ESPECÍFICA		
	AMOSTRA SECA (g/cm <sup>3</sup> )	AMOSTRA SATURADA (g/cm <sup>3</sup> )	REAL (g/cm <sup>3</sup> )
Referência	1962	2195	2556
SURF 1	1495	1769	2059
SURF 2	1528	1788	2064
SURF 3	1684	1916	2194
SURF 4	1181	1533	1824

Para a massa específica seca e saturada também apresentou seus valores extremos para os traços SURF 4 e de referência, maior e menor, respectivamente (ver Figura 46: Gráfico da massa específica seca, saturada e real). O concreto leve possui massa específica seca 40% menor do que o concreto convencional, já para a massa específica saturada esse percentual é de 30%.

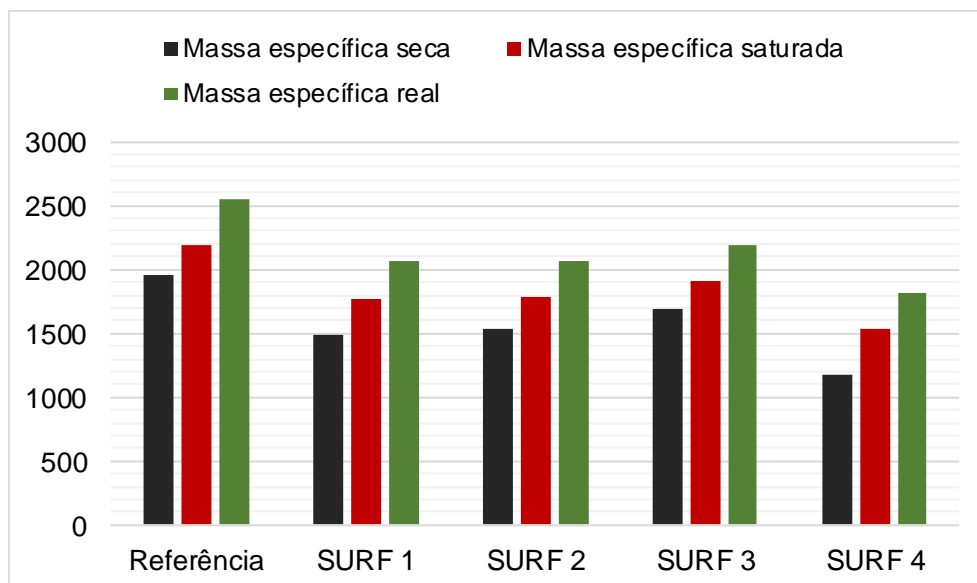


Figura 46: Gráfico da massa específica seca, saturada e real

Os valores obtidos nos ensaios também permitem observar que os concretos com massas específicas menores apresentaram índice de vazios maiores em sua estrutura, e com isso apresentaram valores maiores de absorção de água. Para a visualização, segue a Figura 47: Gráfico da relação entre a massa específica, índice de vazios e absorção de água a seguir que relaciona as três propriedades.

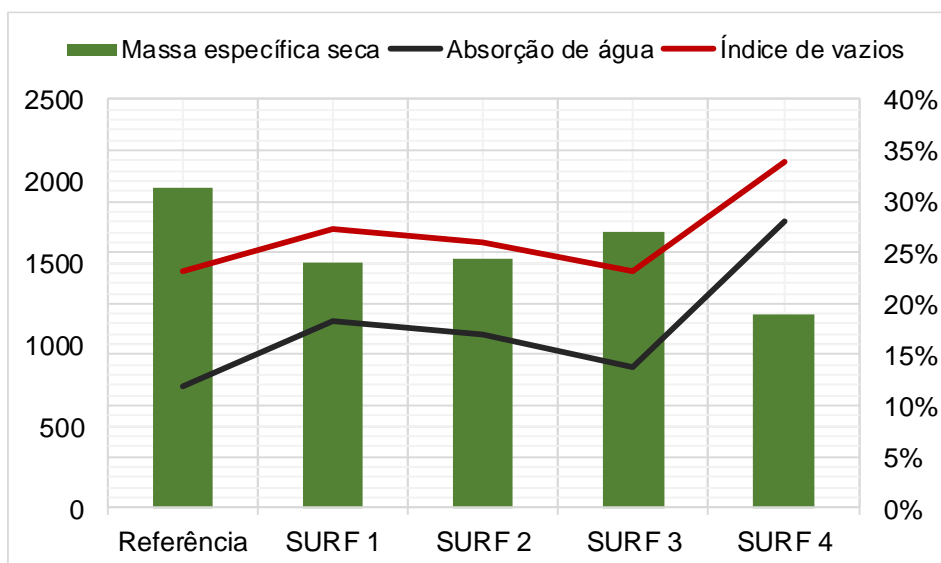


Figura 47: Gráfico da relação entre a massa específica, índice de vazios e absorção de água

## **5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS**

Foi realizada uma pesquisa experimental com o intuito de verificar algumas propriedades de um concreto leve com RPS - não estrutural - frente a um traço de referência.

As conclusões aqui expostas não devem ser tomadas de maneira absoluta, em virtude de estarem associadas a resultados de concretos que foram desenvolvidos com tipos de matéria e técnicas de execução específicas.

Explorando os resultados obtidos no programa experimental, pode-se obter as conclusões nos itens subsequentes. Lembrando que os traços foram divididos em dois grupos: grupo 1 (referência, SURF 1 e SURF 4) e grupo 2 (SURF 1, SURF 2 e SURF 3).

### **5.1. TRAÇOS COM A VARIAÇÃO DE RPS (SURF 1 E SURF 4) – GRUPO 1:**

O aumento do teor de RPS nos concretos leve diminuiu a sua massa específica em 19%, para o SURF 1, e 28%, para o SURF 4, ambos em relação ao concreto padrão.

Houve uma redução acentuada da resistência à compressão, proporcional ao aumento do teor de RPS. Para o SURF 1 em média essa perda de resistência foi de 73%, e para o SURF 4 foi de 89%.

As propriedades de absorção e índice de vazios aumentaram, sendo para o SURF 1 foi de 55% e 18%, respectivamente; e para o SURF 4 de 137% e 46%.

### **5.2. TRAÇOS COM A VARIAÇÃO DO FATOR A/C (SURF 2 E SURF 3) – GRUPO 2:**

A redução do fator a/c do SURF 2, em relação ao SURF 1, proporcionou uma perda de 6% na resistência à compressão do concreto leve. Já com o aumento do a/c, no caso do SURF 3, decorreu de um aumento de 52% na resistência.

A adição de água no SURF 3, contribuiu para o aumento de 6% da massa específica. Em contrapartida, a redução da água, não alterou a massa específica do concreto leve.

Ocorreu um curioso aumento, porém não muito expressiva, da absorção e índice de vazios do SURF 2, comprando com o SURF 1, de apenas 7% e 5%, respectivamente. Já para o SURF 3, ao aumentar a quantidade de água, notou-se um aumento de 25% e 15%.

### **5.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com base nos resultados do ensaio de compressão, pode-se afirmar que o concreto com adição de RPS apresenta resistência à compressão inferior ao concreto convencional. Provavelmente, este fato deve-se ao aumento da porosidade da mistura, em função da substituição do agregado pelo RPS, além de uma possível menor interação entre o RPS e o cimento.

Os valores obtidos nos ensaios permitem que o concreto seja utilizado apenas para fins de isolamento térmico. Ressaltando que não deve ser utilizado para fins estruturais.

Naturalmente, as perdas percentuais nas propriedades mecânicas de resistência à compressão eram aguardadas. Porém, pôde-se observar que o RPS atribuiu ao concreto a capacidade de se deformar antes de sofrer a ruptura.

As massas específicas dos concretos leve com RPS foram reduzidas quando comparada com a massa do traço de referência.

O aumento significativo dos percentuais de índice de vazios e absorção de água, demonstram que o RPS atua como um agente incorporador de vazios. A dificuldade do adensamento, dado pela perda da trabalhabilidade da mistura, em

alguns traços, resultou nas aberturas feitas pela haste, o que pode ter influência nesse acréscimo também.

Mesmo com suas propriedades inferiores ao do concreto convencional, o concreto leve de RPS ainda é um material interessante para a utilização em construções, já que sua massa específica reduzida é uma característica desejada para as estruturas de concreto armado, pois reduz os esforços solicitantes gerando pelo peso próprio e conseqüentemente diminui os custos das construções no geral.

Algumas sugestões para futuras pesquisas são:

- Elaborar uma análise estatística da segregação do RPS nos corpos de prova;
- Calcular, executar e ensaiar dosagens menores de RPS, medidas em volume;
- Repetir a pesquisa com o poliuretano (P.U.), outra matéria prima de pranchas de surfe;
- R realizar um estudo da viabilização do concreto leve com teores de RPS como concreto leve estrutural.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017**. Disponível em: <[https://belasites.com.br/clientes/abrelpe/site/wp-content/uploads/2018/09/SITE\\_grappa\\_panoramaAbrelpe\\_ago\\_v4.pdf](https://belasites.com.br/clientes/abrelpe/site/wp-content/uploads/2018/09/SITE_grappa_panoramaAbrelpe_ago_v4.pdf)> Acesso em: 23 de janeiro de 2019.

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. 6p. 2003

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. 8p. 2002

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NM 50: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente**. 6p. 2009

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11752: Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial: Especificação**. 6p. 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11949: Cimento Portland - Requisitos**. 16p. 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Poliestireno expandido para isolamento térmico - Determinação da massa específica aparente**. 2p. 2007

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. 9p. 2015

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman**. 3p. 1987

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. 4p. 2005

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Histórico e principais elementos estruturais de concreto armado**. São Paulo, 2006

CATOIA, Thiago. **Concreto Ultraleve® estrutural com pérolas de EPS: caracterização do material e estudo de sua aplicação em lajes**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DA SILVA, Lucas Marques Pires. **Análise da interação solo-estrutura de um radier**. 2019. Monografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé.

DA SILVA, Márcio Dario. **Estudo comparativo entre a utilização dos concretos convencional e leve nos elementos horizontais das estruturas de edifícios**. 2013. Tese de Doutorado. PhD thesis, Universidade Federal de Minas Gerais.

DE CARVALHO, João Dirceu Nogueira. **Sobre as origens e desenvolvimento de concreto**. Revista Tecnológica, v. 17, n. 1, p. 95-112, 2010.

EQUIPE ECYCLE, **Prancha de surfe tem muitos impactos ambientais**. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/1034-prancha-de-surfe>> Acesso em: 27 de janeiro de 2019.

FALCETTA, Filipe A.M. **Dosagem de concreto pelo método ABCP**. Disponível em: <[http://www.fec.unicamp.br/~caxd/falcetta/\\_resumos/eng6.pdf](http://www.fec.unicamp.br/~caxd/falcetta/_resumos/eng6.pdf)> Acesso em: 19 de janeiro de 2019.

FALCETTA, Filipe A.M. **O uso do Concreto na Construção civil**. Disponível em: <[http://www.fec.unicamp.br/~caxd/falcetta/\\_resumos/eng5.pdf](http://www.fec.unicamp.br/~caxd/falcetta/_resumos/eng5.pdf)> Acesso em: 17 de janeiro de 2019.

GRIJÓ, Paulo Eduardo Antunes et al. **Alternativas de recuperação dos resíduos sólidos gerados na produção de pranchas de surfe**. 2004.

GUIDIO, B. P. et al. **Análise das propriedades físicas e mecânicas do concreto produzido com poliestireno expandido (eps)**. v. 6, n.4, 2014.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. **Concreto de cimento Portland**. Isaia, Geraldo Cechella. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: IBRACON, v. 2, p. 905-944, 2007.

JÚINOR, E. R. **Propriedades dos materiais constituintes do concreto**. Revista Especialize (ISSN 2179-5568), v.1, n. 10, 2015

LEVY, Salomon Mony. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria.** São Paulo, v. 199, 2001

LEWGOY, Júlia. **Mercado de surf aquece com Gabriel Medina!**. Disponível em: <<https://www.jornaldocomercio.com/site/noticia.php?codn=190557>> Acesso em: 27 de janeiro de 2019.

MACEDO, M. C. et al. **Materiais compósitos à base de gesso e isopor para construção de casas populares.** HOLOS, v. 5, 2011.

MAPA DA OBRA, **Concreto leve: conheça tipos e indicações.** Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/concreto-leve-conheca-tipos-e-indicacoes/>> Acesso em: 30 de janeiro de 2019.

MARTINS, Verônica. **Dia internacional do Surf 2017!**. Disponível em: <<http://www.fluxexperiences.com.br/dia-internacional-do-surf-2017/>> Acesso em: 16 de janeiro de 2019.

NEVILLE, A. M., BROOKS, J.J., **Tecnologia do Concreto.** 2ed. Porto Alegre, Bookman, 2013

OZÓRIO, Bianca Pereira Moreira. **Concreto leve com pérolas de EPS: estudo de dosagens e de características mecânicas.** 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SANTOS, Antônio Carlos dos et al. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldadas.** Tese de Pós graduação. Universidade Federal de Alagoas. 2005.

SCHWANTES, Caetano Guilherme Gottlieb. **Concreto estrutural leve: Resistência à compressão e módulo de elasticidade usando argila expandida como agregado graúdo.** 2012.

SCOBAR, Renan Luna. **Concreto leve estrutural: substituição do agregado graúdo convencional por argila expandida.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SERFATY, M.; MONTENEGRO, R. **Aspectos Gerais do Poliestireno. Relatório BNDES Setorial, Rio de Janeiro, 2002**

SILVA, Fernanda Giannotti da. **Estudo de concretos de alto desempenho frente à ação de cloretos**. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SIQUEIRA, LV MAIA; STRAMARI, M. R.; FOLGUERAS, M. V. **Adição de poliuretano expandido para a confecção de blocos de concreto leve**. Revista Matéria, v. 9, n. 4, p. 399-410, 2004.

SOARES, Felipe Antônio Moni. **Incorporação de partículas de poliestireno expandido e resina epóxi em compósito cimentício**. 2014. Tese de Doutorado. Tese (Mestrado): Universidade Federal de São João Del Rei.

STOCCO, Wagner; RODRIGUES, David; CASTRO, AP de AS. **Concreto leve com uso de EPS**. In: Congresso Brasileiro de Educação (COBENGE). 2009.

STOCCO, Wagner; RODRIGUES, David; CASTRO, AP de AS. **Concreto leve com uso de EPS**. In: Congresso Brasileiro de Educação (COBENGE). 2009.

STRECKER, K.; SILVA, C. A.; PANZERA, T. H. **Fabricação e caracterização de compósitos a base de cimento com incorporação de poliestireno expandido (isopor)**. Cerâmica, v. 60, p. 310-315, 2014

TESSARI, Janaina et al. **Utilização de Poliestireno expandido e potencial de aproveitamento de seus resíduos na construção civil**. 2006.

VASCONCELLOS, Adriano. **Nova Era da Transformação: "Somos 35 milhões de surfistas no mundo"**. Disponível em: <<http://almasurf.com.br/news.php?id=3481>> Acesso em: 26 de janeiro de 2019.

ZAMBON, Matheus Moraes; LUNA, Mônica Maria Mendes; DE SOUZA CAMPOS, Lucila Maria. **Pranchas de surfe de diferentes materiais: uma análise da logística reversa**. Revista Metropolitana de Sustentabilidade (ISSN 2318-3233), v. 6, n. 1, p. 139-155, 2016.

ZAMBON, Matheus Moraes; LUNA, Mônica Maria Mendes; DE SOUZA CAMPOS, Lucila Maria. **Pranchas de surfe de diferentes materiais: uma análise da logística**

**reversa.** Revista Metropolitana de Sustentabilidade (ISSN 2318-3233), v. 6, n. 1, p. 139-155, 2016.

**APÊNDICE A - Cálculo do número de pontos representando os RPS.  
 APÊNDICE B - Tabela de Dosagem do Concreto (Traços utilizados)**

<b>DOSAGEM DO CONCRETO</b>			
<b>1) Tensão de Dosagem (fcc<sub>28</sub>)</b>		<b>5) Traço SURF 1</b>	
Resistência aos 28 dias	15	Cimento	1 Kg
		Areia Seca	3,298 Kg
<b>2) Determinação do Fator água/cimento</b>		Brita 0	4,418 Kg
Fator água/cimento (x) - Curva de Abrams	0,8	Água	1,50 L
Peso do cimento	1	5% de Resíduo de Prancha	0,174 Kg
Peso da água	0,8	<b>6) Traço SURF 4</b>	
<b>3) Determinação da quantidade de Agregados</b>		Cimento	1 Kg
<b>3.1) Determinação da Relação água/materiais secos (A%)</b>		Areia Seca	3,124 Kg
Tipo da Brita	Brita 0	Brita 0	4,418 Kg
A%	0,09	Água	1,25 L
Peso dos Agregados (areia + pedra)	7,889 Kg	10% de Resíduo de Prancha	0,347 Kg
<b>3.2) Determinação da quantidade de Areia e Brita</b>		<b>7) Traço SURF 3</b>	
Tipo de Areia	Fina	Cimento	1 Kg
% de Areia	0,44	Areia Seca	3,298 Kg
Peso da Areia Seca	3,471 Kg	Brita 0	4,418 Kg
Peso de Brita	4,418 Kg	Água	1,75 L
<b>4) Traço do concreto referência</b>		5% de Resíduo de Prancha	0,174 Kg
Cimento	1 Kg	<b>8) Traço SURF 4</b>	
Areia Seca	3,471 Kg	Cimento	1 Kg
Brita 0	4,418 Kg	Areia Seca	3,124 Kg
Água	1,50 L	Brita 0	4,418 Kg
		Água	1,50 L
		10% de Resíduo de Prancha	0,347 Kg

## APÊNDICE C - Dados dos ensaios de compressão simples

ENSAIO DE COMPRESSÃO					
<b>1) SURF 1</b>			<b>4) SURF 4</b>		
#	Carga de Ruptura	Resistência à compressão	#	Carga de Ruptura	Resistência à compressão
1	1,08 tf	1,35 MPa	1	0,33 tf	0,41 MPa
2	1,04 tf	1,30 MPa	2	0,42 tf	0,52 MPa
3	1,08 tf	1,35 MPa	3	0,45 tf	0,56 MPa
4	0,9 tf	1,12 MPa	4	0,44 tf	0,55 MPa
5	0,9 tf	1,12 MPa	5	0,37 tf	0,46 MPa
Média:	1,04 tf	1,30 MPa	Média:	0,42 tf	0,52 MPa
<b>2) SURF 2</b>			<b>5) Concreto referência</b>		
#	Carga de Ruptura	Resistência à compressão	#	Carga de Ruptura	Resistência à compressão
1	0,87 tf	1,09 MPa	1	3,63 tf	4,53 MPa
2	0,99 tf	1,24 MPa	2	3,62 tf	4,52 MPa
3	0,98 tf	1,22 MPa	3	3,83 tf	4,78 MPa
4	1,09 tf	1,36 MPa	4	4,02 tf	5,02 MPa
5	0,87 tf	1,09 MPa	5	4,02 tf	5,02 MPa
Média:	0,98 tf	1,22 MPa	Média:	3,83 tf	4,78 MPa
<b>3) SURF 3</b>					
#	Carga de Ruptura	Resistência à compressão			
1	1,55 tf	1,93 MPa			
2	1,61 tf	2,01 MPa			
3	1,58 tf	1,97 MPa			
4	1,94 tf	2,42 MPa			
5	1,51 tf	1,88 MPa			
Média:	1,58 tf	1,97 MPa			

## APÊNDICE D – Dados de Ensaio de Absorção

#	Msat	Mi	Ms (72hrs em estufa)	Ms (144hrs em estufa)	Absorção	Índice de vazios	Massa específica da amostra seca	Massa específica da amostra saturada	Massa específica real
Referência	2773,0 g	1509,4 g	2479,5 g	*	12%	23%	1962 g/cm <sup>3</sup>	2195 g/cm <sup>3</sup>	2556 g/cm <sup>3</sup>
SURF 1	2634,0 g	1144,8 g	*	2226,1 g	18%	27%	1495 g/cm <sup>3</sup>	1769 g/cm <sup>3</sup>	2059 g/cm <sup>3</sup>
SURF 2	2532,5 g	1116,0 g	*	2165,0 g	17%	26%	1528 g/cm <sup>3</sup>	1788 g/cm <sup>3</sup>	2064 g/cm <sup>3</sup>
SURF 3	2929,5 g	1400,9 g	2574,0 g	*	14%	23%	1684 g/cm <sup>3</sup>	1916 g/cm <sup>3</sup>	2194 g/cm <sup>3</sup>
SURF 4 (1)	2013,0 g	700,0 g	1550,0 g	*	30%	35%	1181 g/cm <sup>3</sup>	1533 g/cm <sup>3</sup>	1824 g/cm <sup>3</sup>
SURF 4 (2)	2166,0 g	788,0 g	1717,0 g	*	26%	33%	1246 g/cm <sup>3</sup>	1572 g/cm <sup>3</sup>	1848 g/cm <sup>3</sup>
SURF 4 (Média)	2089,5 g	744,0 g	1633,5 g	*	28%	34%	1213 g/cm <sup>3</sup>	1552 g/cm <sup>3</sup>	1836 g/cm <sup>3</sup>