

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RAYLTON PEREIRA DE SOUSA

**SUSTENTABILIDADE E ANÁLISE ACÚSTICA:
PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO COM UTILIZAÇÃO DE
RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2019

RAYLTON PEREIRA DE SOUSA

**SUSTENTABILIDADE E ANÁLISE ACÚSTICA:
PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO COM UTILIZAÇÃO DE
RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Catai

CURITIBA
2019



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
Campus Curitiba – Sede Ecoville
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Curso de Engenharia Civil

FOLHA DE APROVAÇÃO

SUSTENTABILIDADE E ANÁLISE ACÚSTICA: PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO COM UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Por

RAYLTON PEREIRA DE SOUSA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido no primeiro semestre de 2019 e aprovado pela seguinte banca de avaliação presente:

Orientador – Prof. Rodrigo Eduardo Catai, Dr.

UTFPR

Profa. Rosemara Santos Deniz Amarilla, M.Eng.

UTFPR

Prof. Massayuki Mário Hara, M.Eng.

UTFPR

OBS.: O documento assinado encontra-se em posse da coordenação do curso

Dedico esse trabalho à minha mãe
Elvineide Pereira de Sousa (in memoriam),
que sempre me apoio e nunca perdeu a fé
nos meus sonhos. Saudade eterna.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço de forma especial a Deus, pois sem Ele nada poderia fazer, agradecimento eterno.

Agradeço ao Prof. Rodrigo Eduardo Catai, Dr., pelos ensinamentos, e por todas as oportunidades concedidas. Obrigado pela parceria, e por fazer parte da realização de forma expressiva no processo de minha formação como Engenheiro. Profunda gratidão.

Ao meu colega Anderson da Costa Verboski que me ajudou a produzir os blocos, além das parcerias diversas ao longo da formação e concretização deste trabalho. Agradeço imensamente.

A Rosemara Santos Deniz Amarilla, M.Eng. por sua amizade, companheirismo e parceria ao longo de boa parte da minha formação. Meus sinceros votos de agradecimentos.

Ao Técnico Paulo Sabino por sua imensa cordialidade, parceria e amizade. Agradeço por toda ajuda não só no laboratório, mas no dia a dia das aulas. Exemplo de comprometimento e dedicação naquilo que faz. Muito obrigado.

Ao Técnico Felipe Perretto por sempre se mostrar disposto a ajudar no que fosse preciso fazer, sempre educado e gentil. Grato.

Ao Luis Henrique Sant Ana pela parceria na execução dos ensaios de isolamento acústico na câmara reverberante. Estendo também agradecimento ao Prof. Me. Rodrigo Scoczynski Ribeiro pelas contribuições no que tange a adequações da câmara. Ao Prof. Me. Amacin Rodrigues Moreira que muito contribuiu na construção da câmara e por todos os ensinamentos.

Ao Prof. Massayuki Mário Hara, MSc., Miguel Amarilla, Fernanda Henneberg, Evay Vilella Lisboa, Prof. José Alberto Cerri, Dr., e o Eng. Gustavo Macioski todos que de forma direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a usina de reciclagem Soliforte pelo fornecimento de resíduos de construção e demolição. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e a Fundação Araucária pelo patrocínio de bolsa de pesquisa.

Por fim, agradeço a toda minha família pelo apoio. Agradeço a todos os professores da Universidade e inclusive a própria Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR pela oportunidade. Gratidão.

RESUMO

SOUSA, Raylton Pereira de. **Sustentabilidade e Análise Acústica: Produção de Blocos de Concreto com Utilização de Resíduos da Construção Civil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Com base na geração cada vez maior de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) existente no mundo, e inclusive no setor da construção civil brasileira, nasceu a necessidade da busca por formas de aproveitamento deste insumo, sendo que uma das maneiras de reduzir esse passivo ambiental, é utilizando-o como agregados na fabricação de blocos de concreto. O objetivo principal desta pesquisa é desenvolver blocos de concreto para vedação a partir de resíduos da construção e demolição, analisar suas propriedades de acordo com a caracterização dos materiais empregados, e então determinar os seus níveis de isolamento acústico com diferentes frequências de ruído. Este trabalho não só desenvolveu e analisou quais são as melhores composições possíveis para confecção de blocos de concreto, mas também fez a avaliação dos requisitos de isolamento acústico de ruído, apresentando o desempenho acústico dos blocos de concreto com agregados reciclados. Para essa finalidade foram coletados materiais de RCD, onde posteriormente utilizou-se para produzir os primeiros corpos de prova dos blocos de concreto na vibro prensa. Após a análise dos resultados, destaca-se que a utilização de RCD na construção de blocos de vedação é viável tecnicamente, tendo em vista que atendeu aos requisitos mínimos para fachadas nas classes de ruído I e II. Desta forma entende-se que o objetivo proposto foi alcançado uma vez que a análise acústica do bloco com RCD foi realizada e chegou-se ao atendimento de boa parcela dos requisitos imposto por normas nacionais e internacionais. Quanto aos parâmetros de resistência mecânica ao bloco atendeu as recomendações de norma ABNT NBR 6136 (ABNT, 2016). Conclui-se que a utilização de RCD na construção de blocos de vedação é admissível e que pode ser uma forma eficiente de se reaproveitar este tipo de resíduo reduzindo assim os níveis de poluição do meio ambiente provocado pelo descarte inadequado. Salienta-se que mesmo o bloco sendo poroso e possuindo uma menor massa específica ele ainda apresenta níveis satisfatório de desempenho no isolamento de ruído, principalmente se a utilização deste for acompanhada de revestimentos das paredes como chapisco, emboço e reboco o que o tornará ainda mais eficiente.

Palavras-chave: Ruído. Blocos de Concreto para Vedação. Resíduos. Construção Civil. Acústica.

ABSTRACT

SOUSA, Raylton Pereira de. **Sustainability and Acoustic Analysis: Production of Concrete Blocks with the use of Construction Waste.** Graduation Work (bachelor's degree in Civil Engineering), Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2019.

Based on the growing generation of construction and demolition waste (RCD) in the world, and even in the Brazilian civil construction sector, the need to search for ways to use this input was born, and one of the ways to reduce these Environmental liabilities, is using it as aggregates in the manufacture of concrete blocks. The main objective of this research is to develop concrete blocks for sealing from construction and demolition residues, analyze their properties according to the characterization of the materials employed, and then determine their isolation levels Sound with different noise frequencies. This work not only developed and analyzed the best possible compositions for making concrete blocks, but also evaluated the requirements of noise insulation, describing the acoustic performance of concrete blocks made with RCD. For this purpose, RCD materials were collected, where subsequently it was used to produce the first specimens of the concrete blocks in the vibro baler. After analyzing the results, it is noteworthy that the use of RCD in the construction of sealing blocks is technically feasible, considering that it met the minimum requirements for façades for I and II noise zones. Thus, it is understood that the proposed objective was achieved since the results were compared between the blocks and reached the service of a good portion of the requirements imposed by national and international norms. About the parameters of mechanical strength, the RCD blocks complied with the recommendations of the norm ABNT NBR 6136 (ABNT, 2016). It is concluded that the use of RCD in the construction of sealing blocks is permissible and that it can be an efficient way to reuse this type of residue thus reducing the levels of pollution of the environment caused by inadequate disposal. It is noteworthy that even the block being porous and possessing a smaller specific mass it still has satisfactory levels of performance in noise isolation, especially if the use of this is accompanied by wall coverings such as Chapisco, and plaster which will make it even more efficient.

Keywords: Noise. Concrete Blocks for Sealing. Waste. Construction. Acoustic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Quantidade de RCD Coletado por Região do Brasil – 2017	23
Figura 2 - Geração de RCD e o Aumento da População de 2016-2017	24
Figura 3 - Comparativo entre a Variação de RCD e o PIB	25
Figura 4 - Comparativo entre a Variação de RCD e o PIB	25
Figura 5 – Variação (%) do PIB Brasil e o PIB da Construção – 2004 a 2018	26
Figura 6 - Participação do PIB das Regiões no PIB do Brasil – 1990 a 2006	26
Figura 7 - Cadeia da Construção por Participação (%) no PIB Total - 2019	27
Figura 8 - Participação (%) dos Materiais e Mão de Obra no CUB Brasil	27
Figura 9 - Quantidade de RCD coletado no Brasil – 2007 a 2017.....	28
Figura 10 - Geração de RCD e o Aumento da População de 2007-2017	28
Figura 11 - População Total de Homens e Mulheres no Brasil de 2010 a 2060	29
Figura 12 - Areia a Esquerda e Pedrisco a Direita - RCD	30
Figura 13 - Bloco Vazado de Concreto	31
Figura 14 - Bloco tipo canaleta.....	32
Figura 15 - Bloco compensador	32
Figura 16 - Resistência à compressão dos blocos em função da vibro-prensa	37
Figura 17 - Levantamento de usinas de reciclagem de RCD no Brasil	39
Figura 18 - Levantamento de usinas de reciclagem de RCD no Brasil	40
Figura 19 - Relação entre produção de agregados e RCD gerado no Brasil	40
Figura 20 - Concentração de usinas por estado.....	41
Figura 21 - Percentuais de usinas públicas e privadas	42
Figura 22 - Preço médio por m ³ cobrado na usina pelo resíduo recebido.....	43
Figura 23 - Esquema Gráfico da Dissipação de Energia Sonora Emitida	45
Figura 24 - Intervalo de Frequência Audíveis pelo Ouvido Humano	46
Figura 25 - Gráfico de Audibilidade Humana	46
Figura 26 - Escala de Decibéis (dB).....	47
Figura 27 - Maquete 3D Digital da Câmara Reverberante da UTFPR	48
Figura 28 - Planta Baixa da Câmara Acústica.....	49
Figura 29 - Corte AA'	49
Figura 30 - Corte BB'	50
Figura 31 - Síntese da Etapa de Materiais e Metodologia Utilizada	51
Figura 32 - Usina de Reciclagem Soliforte	52

Figura 33 - Deposito de Material Bruto RCD - Soliforte.....	52
Figura 34 - Etapas do Processamento do RCD na Usina	53
Figura 35 – Agregados de RCD. Figura 31A) Areia de RCD; Figura 31B) Pedrisco de RCD.	53
Figura 36 - Componentes do RCD Utilizado na Produção dos Blocos.....	54
Figura 37 - Ensaio de Distribuição Granulométrica	55
Figura 38 - Ensaio de Massa Específica	56
Figura 39 - Ensaio de Teor de Material Pulverulentos	56
Figura 40 - Estufa 105°C	56
Figura 41 - Composições de Traços Iniciais e Testes de Compressão Axial	58
Figura 42 - Mistura do Concreto em Betoneira e Ensaio Slump Test.....	59
Figura 43 - Ensaio de Resistência à Compressão Axial.....	59
Figura 44 - Aplicação de Desmoldante nas Formas e Moldagem dos Blocos	60
Figura 45 - Blocos em Cura e Execução de Cabeamento	60
Figura 46 - Blocos Capeados para Ensaio de Compressão e Pesagem à Direita	61
Figura 47 - Ensaio de Absorção de Água.....	61
Figura 48 - Blocos em Estoque Aguardando Montagem da Parede	61
Figura 49 - Montagem da Parede com Bloco de Concreto - Agregados de RCD	62
Figura 50 - Dodecaedro e Acessórios	63
Figura 51 - Dodecaedro	63
Figura 52 - Dodecaedro e Acessórios	64
Figura 53 - Amplificador PSC2 - 400	64
Figura 54 - Dodecaedro e Amplificador.....	65
Figura 55 - Esquema de Montagem do Sistema	65
Figura 56 – Microfone GRAS	66
Figura 57 - Analisador - Medidor de Nível Sonoro Type 2250 Light.....	66
Figura 58 - Esquema de Transferência de Dados do Analisador	67
Figura 59 - Amplificador e Computador para Análise dos Dados.....	67
Figura 60 - Condicionador de Sinal para Microfone	68
Figura 61 - Interface de Áudio para Microfone – Vista Frontal	68
Figura 62 - Interface de Áudio para Microfone – Vista Posterior	69
Figura 63 - Software Utilizado na Modelagem dos Dados do Ensaio.....	69
Figura 64 - Etapas do Ensaio de Medição do Isolamento Acústico.....	70
Figura 65 - Mapeamento dos Pontos de Coleta de Dados do Ensaio Acústico	71

Figura 66 – Dodecaedro na posição F1 (emissão) e o analisador na posição M1 (recepção)	73
Figura 67 – Dodecaedro na posição F1 (emissão) e o analisador na posição M2 (recepção)	73
Figura 68 – Dodecaedro na posição F1 (emissão) e o analisador na posição M3 (recepção)	74
Figura 69 – Dodecaedro na posição F1 (emissão) e o analisador na posição M4 (recepção)	74
Figura 70 – Dodecaedro na posição F1 (emissão) e o analisador na posição M5 (recepção)	75
Figura 71 – Dodecaedro na posição F2 (emissão) e o analisador na posição M1 (recepção)	75
Figura 72 – Dodecaedro na posição F2 (emissão) e o analisador na posição M2 (recepção)	76
Figura 73 – Dodecaedro na posição F2 (emissão) e o analisador na posição M3 (recepção)	76
Figura 74 – Dodecaedro na posição F2 (emissão) e o analisador na posição M4 (recepção)	77
Figura 75 – Dodecaedro na posição F2 (emissão) e o analisador na posição M5 (recepção)	77
Figura 76 - Síntese Gráfica das Etapas do Ensaio Acústico	78
Figura 77 - Distribuição Granulométrica do Agregado Miúdo de RCD	80
Figura 78 - Distribuição Granulométrica do Agregado Graúdo de RCD	81
Figura 79 - Perda de Transmissão nos Blocos de Concreto com RCD.....	84
Figura 80 – Determinação do R_w , conforme a norma ISO 717-1:2013.....	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificações dos Resíduos da Indústria da Construção Civil	20
Quadro 2 - Usos recomendado para utilização do RCD	21
Quadro 3 - Ensaios e Normas Utilizados para Caracterização do RCD.....	55
Quadro 4 - Principais Objetivos, Conteúdo e Uso da ISO 10140.....	70
Quadro 5 - Normas para Ensaios de Corpos de Prova	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de RCD Coletado por Região do Brasil	22
Tabela 2 - Aumento da População e Geração de RCD nos Anos 2016-2017.....	24
Tabela 3 - Requisitos Físico-Mecânicos de Blocos de Concreto.....	35
Tabela 4 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível, $D_{2m,nT,w}$	44
Tabela 5 - Propriedades da Areia e do Pedrisco - RCD.....	54
Tabela 6 - Traços do Concreto para Produção dos Blocos.....	82
Tabela 7 - Índice de Redução Sonora Ponderado, R_w , de Fachadas.....	86
Tabela 8 - Síntese da Análise do Atendimento aos Requisitos Mínimo	87
Tabela 9 - Índice de Redução Sonora Ponderado, R_w , de Componentes Construtivos Utilizados nas Vedações entre Ambientes	89

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
Aqua	Alta Qualidade Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Leed	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
RCC	Resíduo da Construção Civil
RCD	Resíduo da Construção e Demolição
SINDUSCON-CE	Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado do Ceará
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITA	<i>Institute of Technical Acoustics</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVO GERAL	16
1.1.1 Objetivos Específicos	16
1.2 JUSTIFICATIVAS	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO - RCD	19
2.2 BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA DE VEDAÇÃO	31
2.3 USINA DE RECICLAGEM DE RCD	38
2.4 ASPECTOS DE ACÚSTICA	43
2.5 CÂMARA REVERBERANTE	47
3 MATERIAIS E MÉTODOS	51
3.1 COLETA DE RCD	52
3.2 CARACTERIZAÇÃO	55
3.2.1 Agregados Areia e Pedrisco - RCD	55
3.2.2 Cimento CPV - ARI	57
3.3 DOSAGEM	57
3.4 MOLDAGEM	58
3.5 ENSAIO ACÚSTICO	62
3.5.1 Metodologia do Ensaio	70
4 RESULTADOS	79
4.1 DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS	79
4.1.1 Distribuição Granulométrica Agregado Miúdo de RCD	79
4.1.2 Distribuição Granulométrica Agregado Graúdo de RCD	80
4.2 ENSAIOS DE AMOSTRAS	82
4.2.1 Corpos de Prova de Amostras Preliminares e Definitivas	82
4.2.2 Corpos de Prova de Amostras de Blocos de Concreto	83
4.3 ISOLAÇÃO ACÚSTICA EM PAREDE DE BLOCOS DE CONCRETO	83
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
REFERÊNCIAS	92

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento da população mundial, e o aumento de edificações nos grandes centros urbanos, cada vez mais é notório o problema da quantidade de resíduos provenientes da construção civil. Os resíduos são gerados não só na construção de novos edifícios, mas também nas demolições para restauros ou mesmo em manutenções de prédios.

Portanto, o estudo deste trabalho científico é contemporâneo, levando-se em conta o crescimento acelerado da quantidade de resíduos gerada pelos mais diversos setores da sociedade brasileira (indústria da construção civil, indústria mecânica, indústria de transformação, etc.). Destaca-se que uma das formas de se reduzir esse passivo ambiental, é reutilizando os resíduos como agregados na fabricação de blocos de concreto, que pode ser uma opção segundo estudos realizados por Barros et al. (2006); Paula (2010); Abreu et al. (2009); Castro (2012); França et al. (2013).

Um dos tipos mais comuns de resíduos existentes no Brasil e que tem elevadíssimo volume de produção é o Resíduo de Construção e Demolição (RCD), proveniente de construções, reformas, demolições e que podem conter diversos tipos de materiais como cerâmicos, metálicos, minerais, dentre outros.

No Brasil, segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2018) no ano 2017 foram gerados cerca de quarenta e cinco milhões de toneladas de RCD, o que comprova a grande importância no desenvolvimento de pesquisas para a reutilização destes tipos de resíduos.

O Resíduo de Construção e Demolição (RCD) é caracterizado como sendo resíduos oriundos da construção, reparos, reformas e demolições de obras da indústria da construção civil, tais como concreto em geral (blocos de concreto, paver, meio-fio, manilhas, pisos, lajes, pilares e vigas) e argamassa (BRASIL, 2002).

Além disso na busca pela qualidade de obras de construção civil, a criação da ABNT NBR 15575 (ABNT, 2013) - "Edificações Habitacionais - Desempenho", buscou instituir parâmetros técnicos para cada um dos sistemas que compõem uma edificação, podendo destacar como um dos critérios de qualidade essenciais de uma edificação o seu desempenho acústico. Destaca-se que cada vez mais, com o aumento dos níveis de pressão sonora, principalmente em função do trânsito, as construtoras estão mais preocupadas com os níveis de atenuação dos materiais empregados em suas obras, e acabam não tendo parâmetros para a escolha dos

materiais que mais podem colaborar para a atenuação do ruído interno às residências.

Ademais no ano de 1972 foi realizada a primeira Conferência das Nações Unidas sobre o meio Ambiente Humano, em Estocolmo na Suécia, 20 anos depois ocorreu a histórica reunião de 1992, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento – ECO-92, onde chegou-se a um consenso sobre a alternativa para solucionar o problema ambiental denominado de o princípio do desenvolvimento sustentável, onde se estabelece que para alcançar o desenvolvimento sustentável, a proteção do meio ambiente deve constituir parte integrante do processo de desenvolvimento e não pode ser considerada isoladamente em relação a ele.

Na ocasião da ECO-92 nasceu a agenda 21, que discute questões relacionadas aos recursos naturais e a qualidade do meio ambiente, nascendo o termo construção sustentável, que estabelece novos desafios de aprimoramento da cadeia produtiva seja na extração de matérias-primas, saúde dos funcionários, processos produtivos, qualidade e custo das construções, assim sendo enfatiza-se mais ainda a importância da reutilização do RCD.

1.1 OBJETIVO GERAL

Verificar o desempenho acústico de blocos de concreto para vedação produzidos a partir de RCD.

1.1.1 Objetivos Específicos

Esta proposta tem os seguintes objetivos específicos:

- a) Caracterizar os materiais que serão utilizados para produzir os blocos, trata-se de parâmetros granulométricos, massa específica, porcentagem de material pulverulentos, umidade, absorção de água;
- b) Determinar as características físico-mecânicas dos corpos de prova contendo na composição do traço do concreto agregados provenientes de Resíduos da Construção e Demolição (RCD), refere-se a ensaios de resistência a compressão axial das amostras cilíndricas de concreto tratadas como corpos de prova;
- c) Selecionar dentre os corpos de prova feitos com agregados de RCD, as três composições que mais sobressaírem nos testes de resistência desenvolvidos

- em laboratórios, e posteriormente selecionar a que melhor se adequar aos requisitos impostos pelas normas;
- d) Confeccionar os blocos de concreto com agregados provenientes dos resíduos na composição selecionada;
 - e) Determinar o coeficiente de isolamento acústico, ou seja, os níveis de pressão sonora equivalente atenuado pelos blocos de concreto confeccionados com resíduos e sua eficiência de acordo com as normas vigentes.

1.2 JUSTIFICATIVAS

Nos últimos anos, a preocupação da população com o meio ambiente em que vivem e com a qualidade de vida tornou-se constante. Devido ao incontrolável aumento da poluição a que os cidadãos estão expostos, como poluição ambiental, visual ou sonora, torna-se necessário a elaboração urgente de medidas para o controle. Por este motivo, justifica-se o desenvolvimento de um tema que envolve esta preocupação e demonstre de forma mais coerente possível como solucioná-lo.

Diante deste fato a construção de blocos de concreto para vedação a partir de resíduos pode reduzir o impacto destes no meio ambiente, e a sua análise acústica será importante, pois pode atestar que além do bloco ser economicamente e ambientalmente correto, pode ter propriedades acústicas vantajosas para a atenuação dos diversos níveis de ruídos que acabam atingindo a população dentro de suas residências estando de acordo com a norma brasileira vigente ABNT NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

Justifica-se a realização deste trabalho, que com o conhecimento dos diferentes níveis de atenuação acústica proporcionados pelos blocos de concreto convencionais e os desenvolvidos nesta pesquisa, será possível melhorar ainda mais as composições dos mesmos e agregar outros resíduos existentes no meio ambiente. Além disso há o cunho social deste trabalho, que irá divulgar os resultados abertamente para população, governantes e principalmente para as construtoras, mostrando-lhes alguns caminhos a seguir tanto na questão ambiental quanto na questão acústica de seus empreendimentos.

Diante da importância do uso consciente de materiais, e levando em consideração o desenvolvimento sustentável este trabalho se justifica por meio da busca por novas formas de utilização dos recursos naturais principalmente no que diz

respeito a reutilização do que outrora era apenas resíduo descartado no meio ambiente, mas que poderá se tornar uma fonte útil de agregados para a indústria da construção civil.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste Capítulo estão mencionados os aspectos principais que englobam a seleção de materiais no que se refere ao RCD, blocos de concreto, usinas de reciclagem de resíduos da construção e demolição, conceitos sobre acústica e câmara reverberante para realização de análises acústicas.

2.1 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO - RCD

O resíduo da construção obtido de forma controlada e adequada advindo de demolições ou mesmo dos processos construtivos constitui um agregado que pode ser utilizado como matéria prima para produzir blocos, como também outros subprodutos da construção civil gerando economia para construtoras e reduzindo o impacto ambiental (CELESTINO et al., 2014).

Por isso a reciclagem dos materiais oriundos dos canteiros de obra tem sido uma constante preocupação não só por parte das construtoras, mas também do poder público tendo em vista os impactos atrelados a este tipo de resíduo, diante da importância do problema em 2010, o Governo Federal criou a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305), onde consta regras mais específicas para difundir diretrizes de gerenciamento desse material e o seu correto destino final, incluindo assim a reciclagem (BRASIL, 2010).

A lei supracitada designa que a destinação final ambientalmente adequada trata-se de uma maximização do processo de reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamentos que dão origem a geração de energia ou outras destinações admitidas por órgãos competentes vinculados ao governo, cabe ressaltar que a reutilização dos resíduos da construção civil utilizados como agregados na produção de blocos atende essas diretrizes que dispõe nesta prescrição (BRASIL, 2010).

Acrescenta-se também que segundo o CONAMA nº 307, no Art. 10, após triagem, os resíduos da construção civil, deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros. Em seu Artigo 3º a Resolução Conama nº 307/2002, alterada pela Resolução Conama nº 469/2015 (altera o inciso II do art. 3º e inclui os §

1º e 2º do art. 3º), propõe a classificação dos Resíduos da Construção Civil - RCC, que deverão seguir a seguinte divisão conforme o Quadro 1 (BRASIL, 2002).

Classes	Definições
A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.
B	São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.
C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem e recuperação.
D	São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde advindos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Quadro 1 - Classificações dos Resíduos da Indústria da Construção Civil

Fonte: Adaptado Da Resolução Conama nº 469/2015.

Em adição ao conceito de RCD este constitui-se de resíduo oriundos das diversas atividades da indústria da construção civil, quer sejam novas construções, ampliações, reformas, demolições e obras de arte (ANGULO, 2005).

Por certo o conceito da utilização dos recursos naturais de forma consciente é muito importante e é notória a necessidade da adoção de métodos onde as construtoras possam utilizar os resíduos, uma vez que a construção civil representa 40% da geração bruta de capital global e consome de 14% a 50% dos recursos naturais extraídos do meio ambiente (CORRÊA et al., 2009). Dessa forma uma política ambiental, leis rígidas e uma boa e sistemática fiscalização que visa assegurar uma destinação correta dos resíduos, além de projetos que possa premiar as boas iniciativas daqueles que se propõem a reciclar os resíduos seria uma das etapas

iniciais de um país em processo de desenvolvimento no que diz respeito às políticas de gestão de resíduos sólidos (CORRÊA et al., 2009).

A propósito no que se refere a políticas públicas países como Holanda, Espanha e Japão apresentam avanços significativos na reciclagem de resíduos da construção civil. Além disso parte desse avanço está relacionado à escassez das jazidas e aos custos referentes ao gerador quando da disposição final do RCD (LANZELLOTTI, 2004).

Certamente no Brasil é possível notar alguns avanços como a criação de leis e políticas de gestão de resíduos, contudo a fiscalização ainda está aquém do necessário, mas uma boa notícia vem da própria sociedade, onde as construtoras estão sendo cobradas com base no apelo ecológico, pois enquanto a questão econômica não tem despertado de forma significativa a atenção da indústria, todavia é possível mostrar a viabilidade e inclusive a redução de gastos e otimização dos processos, uma vez que a reutilização dos resíduos poderá minimizar os custos com transporte para deslocar os resíduos para aterros apropriados (CORRÊA et al., 2009). De fato, o resíduo da construção e demolição pode ter vários usos recomendado como é ilustrado no Quadro 2, enfatizando assim a possibilidade de sua utilização.

Produto	Características	Uso Recomendado
Areia reciclada	Material com dimensão máxima característica inferior a 4,8 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Argamassas de assentamento de alvenaria de vedação, contrapisos, solo-cimento, blocos e tijolos de vedação.
Pedrisco reciclado	Material com dimensão máxima característica de 6,3 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de artefatos de concreto, como blocos de vedação, pisos intertravados, manilhas de esgoto, entre outros.
Brita reciclada	Material com dimensão máxima característica inferior a 39 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de concretos não estruturais e obras de drenagens.
Bica corrida	Material proveniente da reciclagem de resíduos da construção civil, livre de impurezas, com dimensão máxima característica de 63 mm (ou a critério do cliente).	Obras de base e sub-base de pavimentos, reforço e subleito de pavimentos, além de regularização de vias não pavimentadas, aterros e acerto topográfico de terrenos.
Rachão	Material com dimensão máxima característica inferior a 150 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Obras de pavimentação, drenagens e terraplenagem.

Quadro 2 - Usos recomendado para utilização do RCD

Fonte: Adaptado de ABRECON (2017).

Outro fato relevante que incentiva as construtoras de forma direta ou mesmo indireta é o desejo pela aquisição das certificações como o *Leadership in Energy and Environmental Design* (Leed) e o Alta Qualidade Ambiental (Aqua) onde estas podem ser adquiridas com adoção de políticas que visem a sustentabilidade, onde se inclui a reciclagem dos resíduos da construção (SACHS, 2012).

Devido aos impactos que os resíduos podem gerar ao meio ambiente é importante divulgar dados quantitativos a respeito destes, sendo o panorama da geração de resíduos da construção civil um dos principais estudos e levantamento realizado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE em parceria com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.

Dessa forma a Tabela 1 demonstra que os municípios brasileiros coletaram cerca de 45 milhões de toneladas de RCD em 2017, o que configura uma diminuição de 0,1% em relação a 2016. Esta situação, também observada em anos anteriores, exige atenção especial, visto que a quantidade total desses resíduos é ainda maior, uma vez que os municípios, via de regra, coletam apenas os resíduos lançados ou abandonados nos logradouros públicos (ABRELPE, 2018).

Tabela 1 - Quantidade de RCD Coletado por Região do Brasil

Região	2016		2017	
	RCD coletado (t/dia)	Índice (kg/hab./dia)	RCD coletado (t/dia)	Índice (kg/hab./dia)
Norte	4.720	0,266	4.727	0,264
Nordeste	24.387	0,428	24.585	0,429
Centro-Oeste	13.813	0,882	13.574	0,855
Sudeste	64.097	0,748	64.063	0,737
Sul	16.718	0,568	16.472	0,556
Brasil	123.619	0,600	123.421	0,594

Fonte: Adaptado da Pesquisa ABRELPE / IBGE (ABRELPE, 2018).

Observa-se na Tabela 1 e na Figura 1 o comparativo da geração de resíduos dos últimos dois anos levantados pela ABRELPE, entre as diversas regiões do país e abrangendo o total geral. É possível notar que há uma relação muito próxima na quantidade de resíduo gerado entre as regiões centro-oeste e sul do país.

Outro fato importante é o baixo nível de geração de RCD na região norte em comparação com as demais. Esta menor geração de RCD dá-se pela necessidade de reutilizar esses recursos, uma vez que a região é caracterizada por uma grande porcentagem de florestas e rios. Este fato diminui a liberação de extração de recursos naturais por parte da legislação de preservação do meio ambiente, o que impulsiona esta região a adotar medidas mais abrangentes de reutilizar os insumos já disponíveis nas proximidades e, inclusive por ter um número menor de habitantes onde se traduz em uma minimização da demanda por habitações, gerando assim menos resíduos uma vez que as obras são em menor escala quando comparada a região sudeste mais populosa.

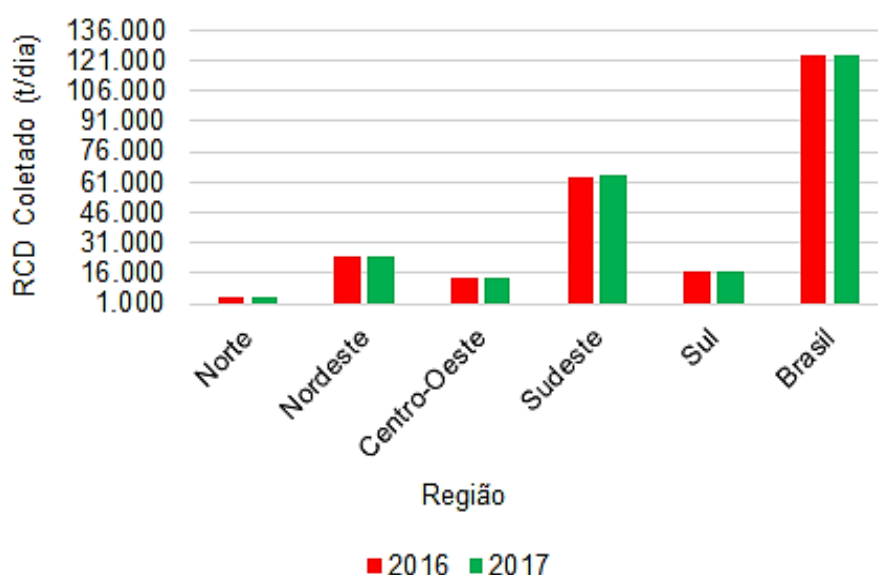


Figura 1 - Quantidade de RCD Coletado por Região do Brasil – 2017

Fonte: Adaptado da Pesquisa ABRELPE / IBGE (ABRELPE, 2018).

Além disso na Figura 2 é divulgado o comparativo entre a geração de RCD levantado pela ABRELPE e o aumento da população brasileira nas cinco regiões através do IBGE, nota-se que nas regiões centro-oeste, sul e sudeste houve uma redução da geração de resíduo, porém nas regiões norte e nordeste ocorreu um aumento, essa variação diferente da geração de RCD não acompanha a tendência crescente do número de habitante nas regiões traduzindo assim que em curto prazo a relação entre o aumento da população não significa necessariamente um crescimento da geração de resíduos, como é sintetizado na Tabela 2 e ilustrado na Figura 2.

Tabela 2 - Aumento da População e Geração de RCD nos Anos 2016-2017

Regiões	População 2016	População 2017	RCD 2016	RCD 2017
Centro-Oeste	15.746.654	15.960.555	13.813.000	13.574.000
Norte	17.803.654	18.045.950	4.720.000	4.727.000
Sul	29.393.047	29.619.547	16.718.000	16.472.000
Nordeste	56.273.479	56.586.819	24.387.000	24.585.000
Sudeste	86.646.841	87.321.759	64.097.000	64.063.000
Brasil	205.863.675	207.534.630	123.735.000	123.421.000

valores em milhões de pessoas e milhões de kg/dia de RCD

Fonte: Adaptado da Pesquisa ABRELPE/IBGE (ABRELPE, 2018) e IBGE (2019).

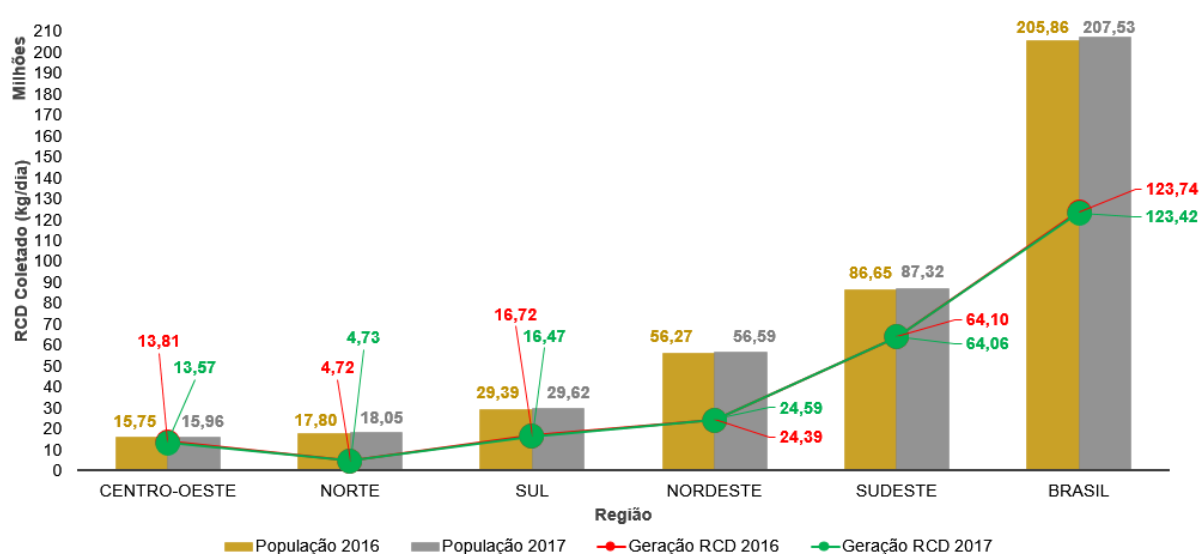


Figura 2 - Geração de RCD e o Aumento da População de 2016-2017

Fonte: Adaptado da Pesquisa ABRELPE/IBGE (ABRELPE, 2018) e IBGE (2019).

Observa-se na Figura 3 outro parâmetro importante na análise de relação com o RCD, ou seja, a variação no Produto Interno Bruto (PIB) do setor da indústria da construção civil quer seja em longo ou curto prazo impacta na geração de RCD, onde está acompanhada as alterações do PIB, uma vez que esse indicador traduz o nível de desenvolvimento do setor e em consequência reflete também o PIB do país como é ilustrado nas Figuras 3 a 8.

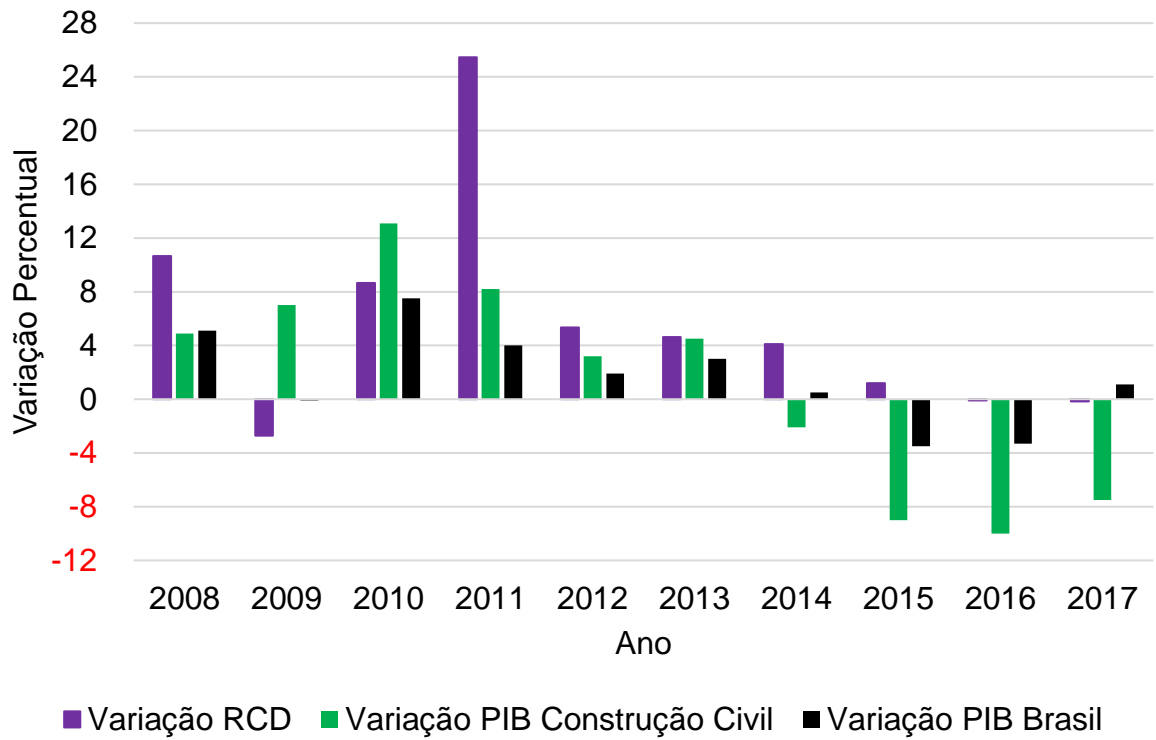


Figura 3 - Comparativo entre a Variação de RCD e o PIB

Fonte: Adaptado da Pesquisa CBIC (2019).

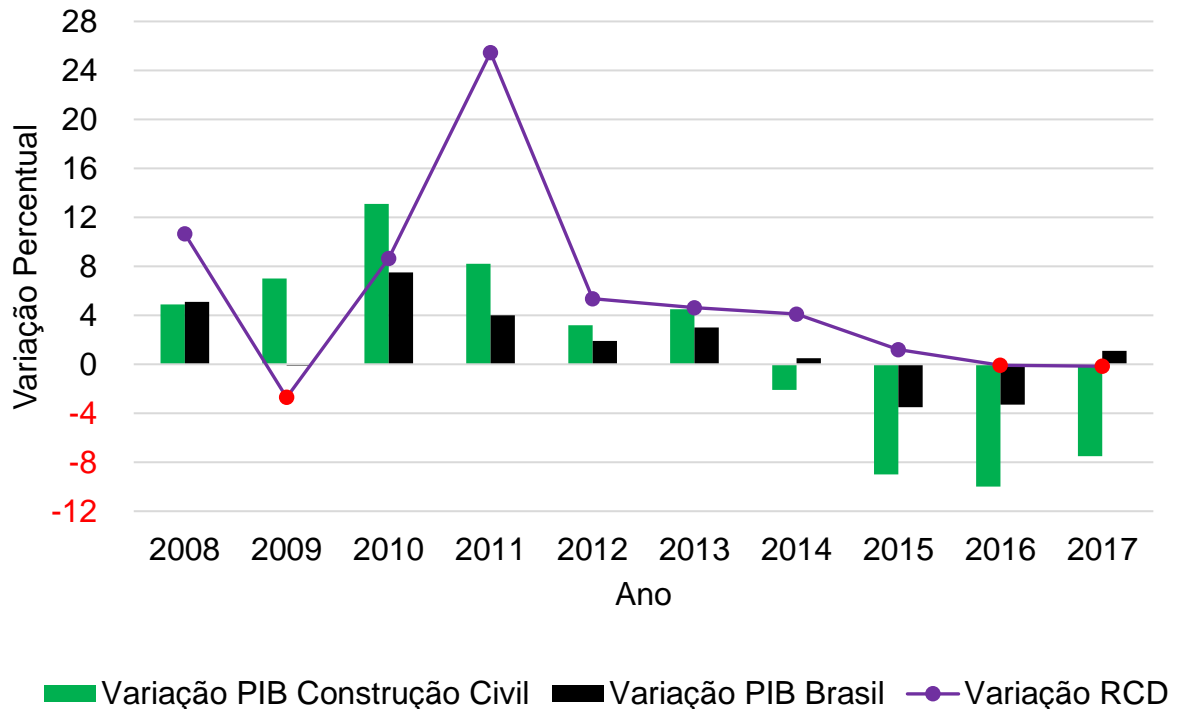


Figura 4 - Comparativo entre a Variação de RCD e o PIB

Fonte: Adaptado da Pesquisa CBIC (2019).



Figura 5 – Variação (%) do PIB Brasil e o PIB da Construção – 2004 a 2018

Fonte: Adaptado da CBIC (2019).

Em conformidade com a Figura 2 e 3 a relação da participação do PIB da construção por parte das regiões traduz-se que quanto maior o percentual de contribuição ao produto interno bruto maior será a geração de resíduo na região como ilustrado na Figura 6.

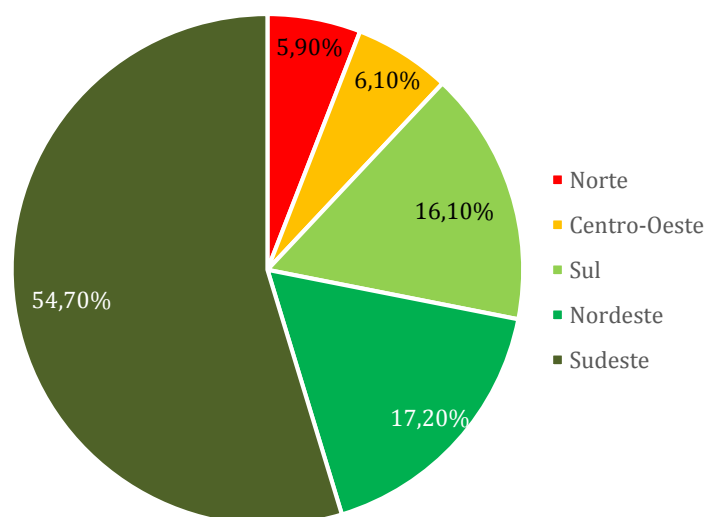


Figura 6 - Participação do PIB das Regiões no PIB do Brasil – 1990 a 2006

Fonte: Adaptado da CBIC (2019).

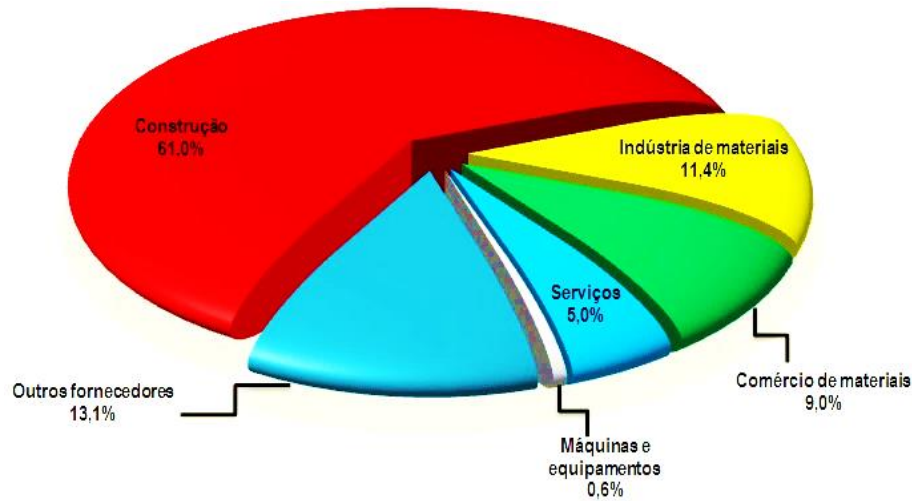


Figura 7 - Cadeia da Construção por Participação (%) no PIB Total - 2019

Fonte: Adaptado da CBIC (2019).

Visto que o crescente aumento de RCD impacta na cadeia produtiva da construção como observa-se na Figura 7 uma vez que parte do PIB total da cadeia da construção civil advém de materiais, logo o resíduo sendo gerado e não reutilizado é sinônimo de desperdício e prejuízo. Desta forma é possível afirmar o impacto positivo quando se decide reutilizar os resíduos tendo em vista que 9% do PIB provém do comércio de materiais. Outro fato relevante é a evolução do custo da mão de obra em relação aos custos com materiais, com o primeiro tendo uma evolução crescente nos últimos anos e o segundo decrescente, desta forma mostra a importância da racionalização dos materiais logo o que inclui os resíduos, o qual tem um potencial para equilibrar os custos com insumos em face de uma mão de obra mais onerosa, como ilustra a Figura 8.



Figura 8 - Participação (%) dos Materiais e Mão de Obra no CUB Brasil

Fonte: Adaptado da CBIC (2019).

Retomando as relações entre população *versus* geração de resíduos, a Figura 9 e 10 confirma que quando há um aumento da população geralmente haverá também crescimento de RCD, pois como é ilustrado na Figura 10 a população urbana tem aumentado o que torna a demanda por moradia maior e em seguida uma elevação da quantidade de resíduos, na contramão a população rural segue reduzindo ano após ano, e essa diminuição impacta porque o êxodo rural gera um aumento de novos habitantes em zonas urbanas.

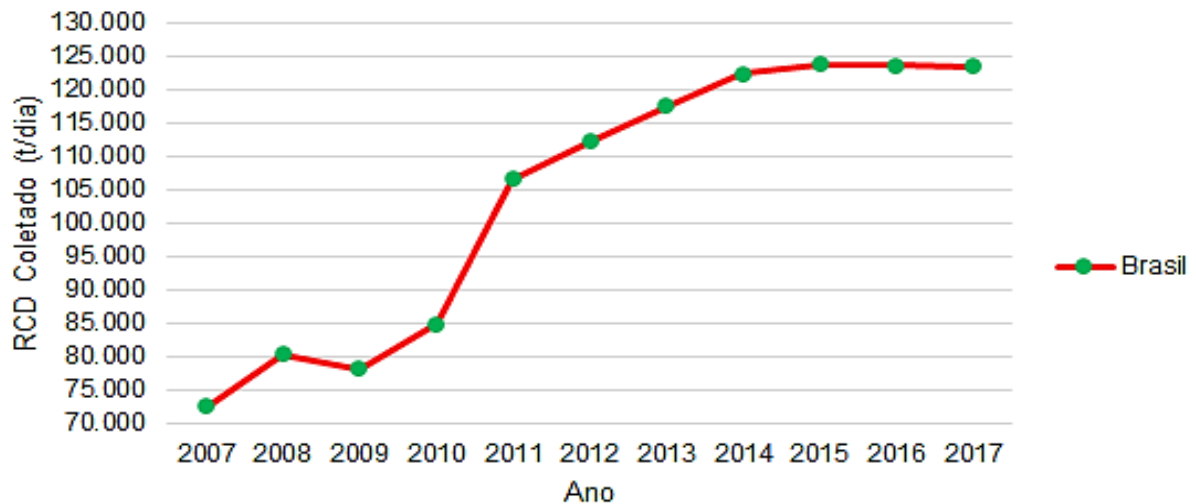


Figura 9 - Quantidade de RCD coletado no Brasil – 2007 a 2017

Fonte: Adaptado da pesquisa ABRELPE / IBGE (ABRELPE, 2017).

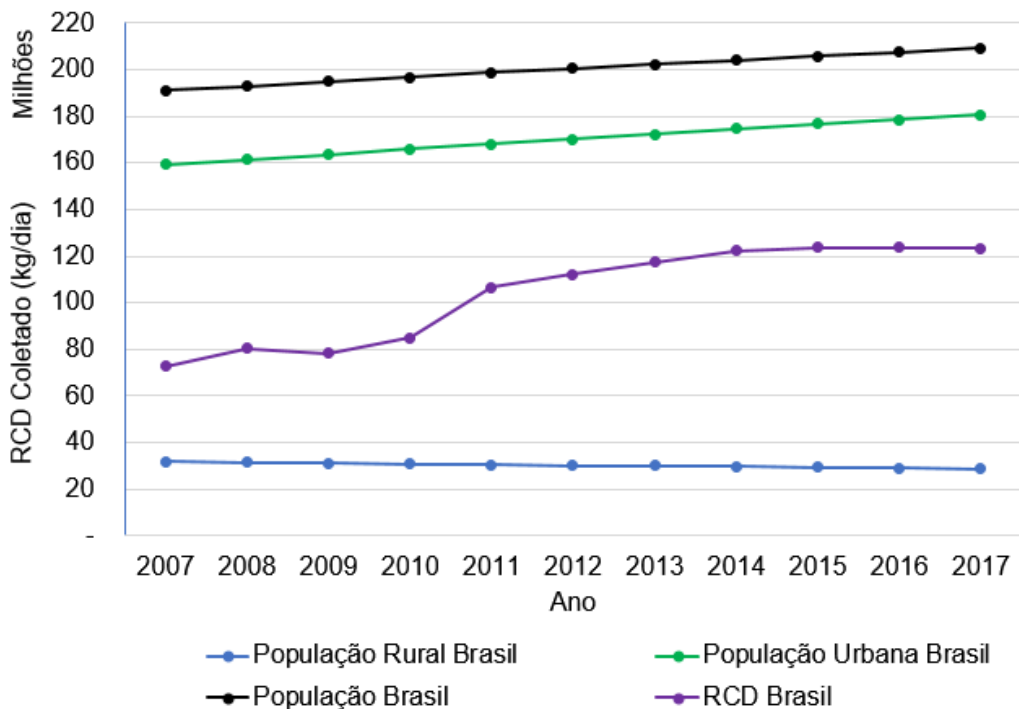


Figura 10 - Geração de RCD e o Aumento da População de 2007-2017

Fonte: Adaptado da Pesquisa ABRELPE (ABRELPE, 2018) e IBGE (2019).

Semelhantemente a Figura 11 ilustra a tendência de crescimento da população do país desde o ano de 2010 com projeção até 2060, indicando que se o aumento da população continuar tendo uma relação de proporcionalidade com a geração de resíduo o país terá sérios problemas com grandes volumes de RCD, mesmo apesar da projeção indicar um pico de 233.233.670 milhões de habitantes em 2047 e em seguida uma redução.

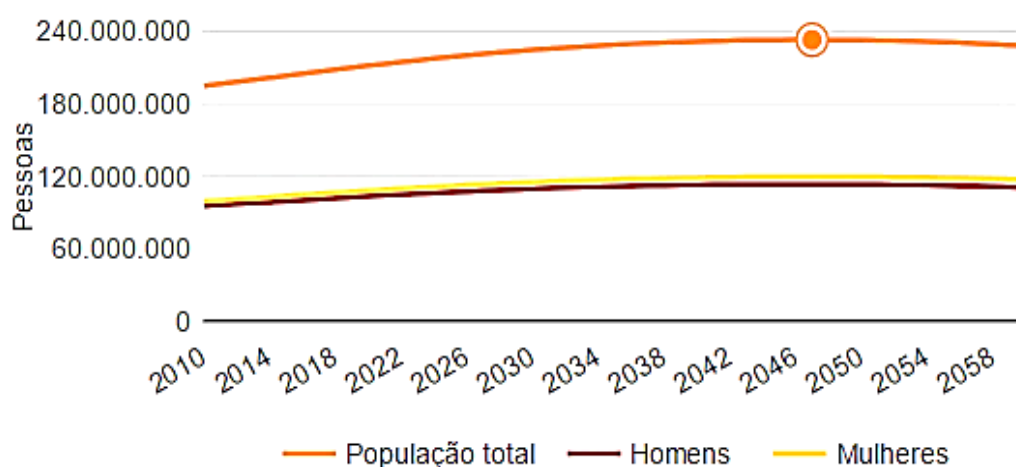


Figura 11 - População Total de Homens e Mulheres no Brasil de 2010 a 2060

Fonte: Adaptado do IBGE (2019).

Além disso é importante citar sobre o estudo realizado pela ABRELPE, que esta Associação divulga panoramas contendo dados de RCD gerado em todo o território nacional anualmente desde o ano de 2007, nesse sentido os panoramas vêm se adaptando às demandas contemporâneas por otimização de recursos naturais e informação de fácil acesso e compreensão.

A geração de resíduo da construção civil e demolição sofreu aumentos significativos entre os anos de 2010 a 2015, e uma leve retração nos anos seguintes. Com base nesses dados, ressalta-se a importância da reutilização desse material uma vez que a cada ano mais resíduos são depositados em aterros sanitários ou mesmo sendo deixado em locais inapropriados, em contrapartida poderiam ser utilizados de forma consciente na construção civil, como agregados para produção de blocos ou demais finalidades. De fato, um dos maiores problemas urbanos divulgado desde os anos 90 é a geração e o descarte de resíduos sólidos oriundos da construção civil (LATTERZA, 1998).

Soma-se a isto o que cita o Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado do Ceará (SINDUSCON-CE, 2011), onde o somatório dos percentuais de concreto, argamassa e material cerâmico de algumas cidades brasileiras como São Paulo-SP, Porto Alegre-RS, Ribeirão Preto-SP, Salvador-BA, Campina Grande-PB e Maceió-AL, correspondem a mais de sessenta por cento do total de resíduos gerados, demonstrando o potencial de reciclagem dos RCD. Em outro extremo, tem-se a degradação do meio ambiente caso o mesmo não seja reaproveitado, ou seja, depositado em locais inadequados. Além dessas cidades, cabe ressaltar que em Curitiba capital do estado do Paraná em torno de 48% dos resíduos sólidos são originados por parte da construção civil (NAGALLI, 2016).

De acordo com ABRECON (2017) é gerado no Brasil uma média anual de 217,10 kg/hab. de resíduo da construção e demolição. Diante dos dados já citados referentes às quantidades de resíduos originados, trata-se de parâmetros necessários para adoção de medidas que visem a efetiva atenuação do grave problema vigente na sociedade contemporânea. E em seguida caso sejam ampliadas e adotadas normas para diminuição da geração de RCD, a reciclagem desses materiais como um processo de beneficiamento é a melhor alternativa a ser praticada (LEITE, 2001). Nota-se na Figura 12 uma amostra de RCD, areia e pedrisco processados em uma usina de reciclagem.



Figura 12 - Areia a Esquerda e Pedrisco a Direita - RCD

Fonte: Autoria Própria (2019).

2.2 BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA DE VEDAÇÃO

Os primeiros blocos de concreto foram criados nas décadas finais do século XIX nos Estados Unidos da América. O governo americano consolidou a adoção desse material primeiramente na construção de depósitos, armazéns, hospitais, entre outras (MEDEIROS, 1993).

No Brasil os blocos começaram a serem fabricados nos anos 50, na ocasião foi importado dos Estados Unidos máquinas para produzir esse tipo de material, nas décadas seguintes o mercado de blocos foi ganhando espaço na indústria da construção civil consolidando-se como uma excelente opção de vedação nas obras civis. Apesar dos avanços conquistados na produção de blocos de concreto, no que se refere a qualidade dos artefatos, atualmente muitas das fábricas não possuem um controle adequado que vise um produto com um rigoroso padrão de qualidade (BUTTLER, 2007).

Para a produção dos blocos é empregado um concreto com baixa umidade, diante deste fato é primordial o emprego de vibro prensa que possuem a capacidade de moldar esse material e transformá-lo no produto final, dando origem a um bloco que possa atender as especificações das normas regulamentadoras vigentes. Logo um maquinário de boa qualidade somado a um processo produtivo adequado é de grande valia para o alcance de parâmetros de resistência e qualidade desejada (FRASSON, 2000). Assim sendo a ABNT NBR 6136 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos (ABNT, 2016) define como bloco vazado de concreto simples para execução de alvenaria com ou sem função estrutural, aquele com cavidade em suas faces superior e inferior, com área líquida igual ou inferior a setenta e cinco por cento da área bruta, de acordo com a Figura 13.

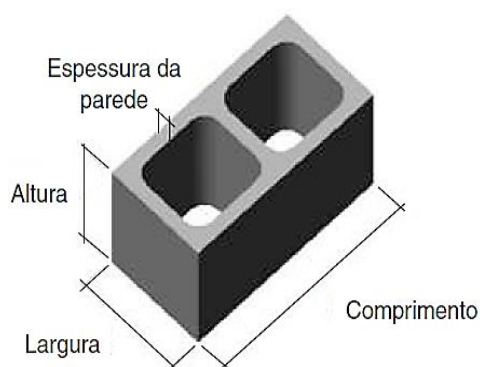


Figura 13 - Bloco Vazado de Concreto

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6136 (ABNT, 2016).

Certamente o concreto utilizado na fabricação dos blocos deve ser constituído de cimento Portland, agregados e água. Estes agregados, sejam eles grãos ou miúdos, devem atender a ABNT NBR 7211 (ABNT, 2009). Também podem ser utilizadas, escórias de alto forno, argila expandida, cinzas volantes ou outros agregados, leves ou não, desde que respeitadas às especificações físico-mecânicas e demais exigências da ABNT NBR 6136 (ABNT, 2016).

Diante dos parâmetros requisitados pela norma ABNT NBR 6136 (ABNT, 2016), há a técnica da modulação utilizada em alvenaria com blocos de concreto para aprimorar o sistema construtivo. É um procedimento que disponibiliza a viabilidade técnico-econômica referenciada em um sistema de montagem com uma reduzida requisição de argamassa e elevado índice de produtividade (MARINS et al., 2005).

Em adição o processo baseia-se em arquitetar os blocos com comprimento, largura e espessura definidos, e realizando as devidas combinações visando a amarração da parede. Medidas múltiplas do bloco são mais práticas por não requerer elementos especiais pré-fabricados, o que ocorre com alvenarias ditas quebradas, como bloco cerâmico (PRATES, 2008). Na Figura 14, observa-se o bloco tipo canaleta, vazado ou não, utilizado em cintas, vergas e contravergas.

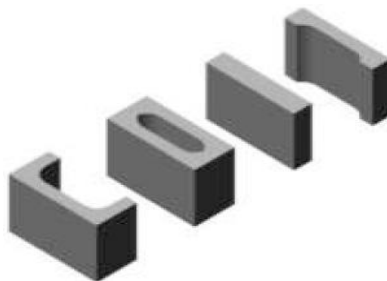


Figura 14 - Bloco tipo canaleta

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6136 (ABNT, 2016).

Na Figura 15, é apresentado o bloco compensador, utilizado em ajustes de modulação.

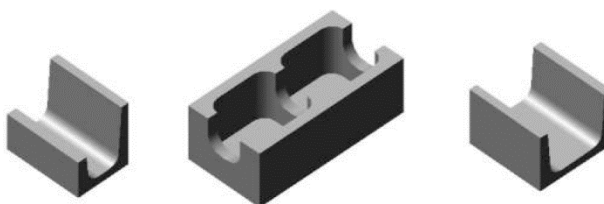


Figura 15 - Bloco compensador

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6136 (ABNT, 2016).

A utilização de resíduos perigosos como escórias e areias de fundição, dentre outros, são viáveis para a produção de materiais cerâmicos para a construção civil (blocos de concreto, por exemplo) por apresentarem boas características físico-químicas, e ainda, reduzindo o descarte em lixões, situação que pode contaminar quimicamente o solo (MYMRIN et al., 2014).

O bloco de concreto por apresentar dimensões mais regulares oferece maior produtividade no que se refere a mão de obra e economia de revestimento, seja ele chapisco, emboço e reboco. Ao finalizar uma parede por exemplo a alvenaria funciona como uma única estrutura sendo o arranjo dos blocos capazes de suportarem as cargas provenientes da construção, este tipo de material tem um baixo preço de aquisição, possui propriedades térmicas, qualidade, bom acabamento e proporcionam uma elevada rapidez na execução da obra sendo estas boas características para se adquirir blocos de concreto (TANGO, 1984).

Dessa forma os blocos dão origem às paredes onde estas têm por objetivo dar proteção termoacústica dos ambientes, recebem instalações elétricas e hidrossanitárias, além de delimitarem os espaços no interior ou exterior da edificação. Efetivamente a composição dos blocos é uma mistura equilibrada de cimento, agregados e água. Sendo os agregados oriundos de pedrisco, areia artificial, areia natural e pó de pedra (SACHS, 2012).

É notória a substituição nos canteiros de obra do bloco cerâmico pelo bloco de concreto, com isso gerando uma crescente demanda por este último. É importante salientar que a execução de paredes com blocos de concreto tem gerado menos resíduos devido a diminuição de utilização de argamassas e como este tem maiores dimensões não tem tantos restos de materiais devido ao corte quando necessário, em comparação ao de cerâmica, onde esse gera bastante resíduos no corte ou até mesmo no manuseio (CELESTINO et al., 2014).

A utilização do bloco de concreto necessita de um maior planejamento em questão de modulação deste nas obras, o que requer projetos de execução das alvenarias de vedação em detrimento da sua maior resistência e dimensões, em contrapartida tem-se uma maior racionalização do processo produtivo no canteiro de obra com redução significativa do índice de desperdício, todavia o resíduo que venha a ser gerado, este poderá ser reaproveitado como agregado na produção de novos blocos, uma vez que esse material tem grande potencial de ser empregado como agregado (CELESTINO et al., 2014).

Existe dois tipos de blocos de concreto com base na ABNT NBR 6136 (ABNT, 2016), o estrutural e o de vedação, com resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias maior ou igual a 4 MPa e maior ou igual a 3 MPa respectivamente, estes requisitos visam manter o padrão de qualidade das obras a serem executadas com esse tipo de material.

A inserção de agregado RCD na produção de blocos de concreto é dependente da qualidade dos mesmos, contudo o RCD na maioria das vezes é descartado sem uma prévia separação e usualmente se mistura com resíduos orgânicos e outros materiais indesejados, diante deste fato há uma maior dificuldade na caracterização e no seu emprego (ALBUQUERQUE, 2005).

Aspectos como escolhas dos materiais, proporcionalidade, equipamento de moldagem incluindo carregamento, prensagem, vibração e desmoldagem, transporte dos blocos frescos, cura, transporte e armazenamento dos blocos curados são itens que influenciam na qualidade da produção dos blocos de concreto. A resistência dos blocos é diretamente proporcional à energia aplicada na compactação em simultaneidade com a vibração, e de fato a eficiência da vibro prensa é o parâmetro fundamental responsável pela qualidade na produção dos blocos de concreto (TANGO, 1984).

Um aspecto relevante que não pode ser ignorado com relação aos blocos de concreto é o potencial da sua utilidade e uma análise no que tange aos benefícios oriundos do material que substitui outros tipos de elementos de vedação. No que se refere às vantagens e desvantagens na utilização de blocos de concreto pode-se citar como vantagem: medidas mais uniformes; economia de material uma vez que o nivelamento das paredes tem maior qualidade tornando a superfície mais plana que em outros tipos de vedação; dispensa o chapisco e o revestimento de argamassa; em alguns casos, possibilidade de se pintar diretamente sobre o bloco ou deixá-lo aparente; utiliza-se menos blocos por m², cerca de 12,5 blocos por m² ante 25 tijolos; economia de 15 a 20% do valor da obra e redução de tempo da obra. Em contrapartida possui como desvantagem: maior absorção de água, necessita de mão de obra especializada, menor conforto térmico, e contribui com o aumento de peso da estrutura (SANDES, 2008).

Na Tabela 3 identifica-se requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração, esses parâmetros devem ser seguidos visando atender as

normas técnicas e manter a qualidade e o bom desempenho dos blocos produzidos e instalados em paredes de vedação.

Tabela 3 - Requisitos Físico-Mecânicos de Blocos de Concreto

Classificação	Classe	Resistência ^a (Mpa)	Absorção (%)				Retração ^d (%)
			Agregado Normal ^b		Agregado leve ^c		
			Individual	Média	Individual	Média	
Com função estrutural	A	$f_{bk} \geq 8,0$	$\leq 9,0$	$\leq 8,0$			
	B	$4,0 \leq f_{bk} < 8,0$	$\leq 10,0$	$\leq 9,0$	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$	$\leq 0,065$
Com ou sem função estrutural	C	$f_{bk} \geq 3,0$	$\leq 11,0$	$\leq 10,0$			

a Resistência característica a compressão axial obtida aos 28 dias.

b Blocos fabricados com agregado normal.

c Blocos fabricados com agregado leve.

d Ensaio facultativo.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6136 (ABNT, 2016).

Os blocos podem ser classificados como classe A: com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo; classe B: com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo; classe C: com ou sem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo (BRASIL, 2016).

A Tabela 3 cita blocos com e sem função estrutural. Diante disto os blocos de concreto podem ser utilizados para fechamento de vãos com apenas a intenção de dividir compartimentos ou com o objetivo de além de efetuar a compartimentação providência também a sustentação das construções tendo assim a função estrutural, por este motivo é designado bloco de vedação e blocos estruturais respectivamente. Apesar dos blocos para ambas as funções, serem feitos de concreto, são fisicamente semelhantes e a maneira de produzi-los é a mesma. No entanto, os blocos estruturais possuem paredes mais espessas e maior resistência à compressão (SANDES, 2008).

Igualmente a absorção é um requisito importante a ser levado em consideração no momento da dosagem para a produção de bloco de concreto, devendo-se adotar medidas que visem dar ao bloco boa impermeabilidade, uma vez que esta característica está intimamente ligada a durabilidade dos blocos (BARBOSA, 2004).

Ressalta-se que a absorção designa o teor de água incorporado nas paredes do bloco, uma vez que o material se encontra seco, diante disto a penetração e a percolação de água no bloco de concreto é função da quantidade, distribuição, dimensões e forma dos poros na superfície da peça (MEHTA, 1994).

Além do disposto na ABNT NBR 6136 (ABNT, 2016), é de grande valia seguir rigorosamente o que trata a ABNT NBR 12118 (ABNT, 2013) que discorre sobre os métodos de ensaio para análise dimensional de determinação da absorção de água, da área líquida, da resistência à compressão e da retração por secagem quando necessário, visando à qualidade dos blocos vazados de concreto simples para alvenaria.

A propósito os sistemas de produção de blocos de concreto atualmente ainda deixa a desejar pelo fato de serem produzidos por meio de um processo artesanal, mesmo que seja implementado máquinas que irão assessorar na produção, uma vez que inclui a adoção muitas vezes de métodos empíricos proporcionais. Sendo assim, soma-se a isto a importância de desenvolvimentos de trabalhos com o objetivo de contribuir com novos estudos dos parâmetros que influenciam nas propriedades e na construção de dosagens do concreto a ser utilizado na moldagem de blocos (SOUSA, 2001).

Por certo a resistência dos blocos de concreto moldados em vibro-prensa, é diretamente correlacionada a energia de compactação oriunda da vibro-compactação, destacando a eficiência da prensa como o principal responsável pela qualidade das peças moldadas. Verifica-se que a utilização de vibro-prensa com maior poder de compactação requer a inserção de menos cimento no traço o que gera mais economia uma vez que este insumo utilizado em grandes quantidades aumenta os custos de produção (ALBUQUERQUE, 2005).

Soma-se como requisitos necessários para produção de blocos a inserção de componentes que possam proporcionar artefatos de qualidade como pó de brita, areia, água e cimento. Também pode ser acrescentado caso necessário aditivos redutores de água, além disso para moldar os blocos é preciso uma mistura úmida dos materiais, moldagem com vibração, compactação e cura (SANDES, 2008).

Observa-se na Figura 16, onde é relacionado o tipo de traço utilizado para produzir o concreto visando à moldagem dos blocos à sua efetiva resistência, em função do tipo de prensa.

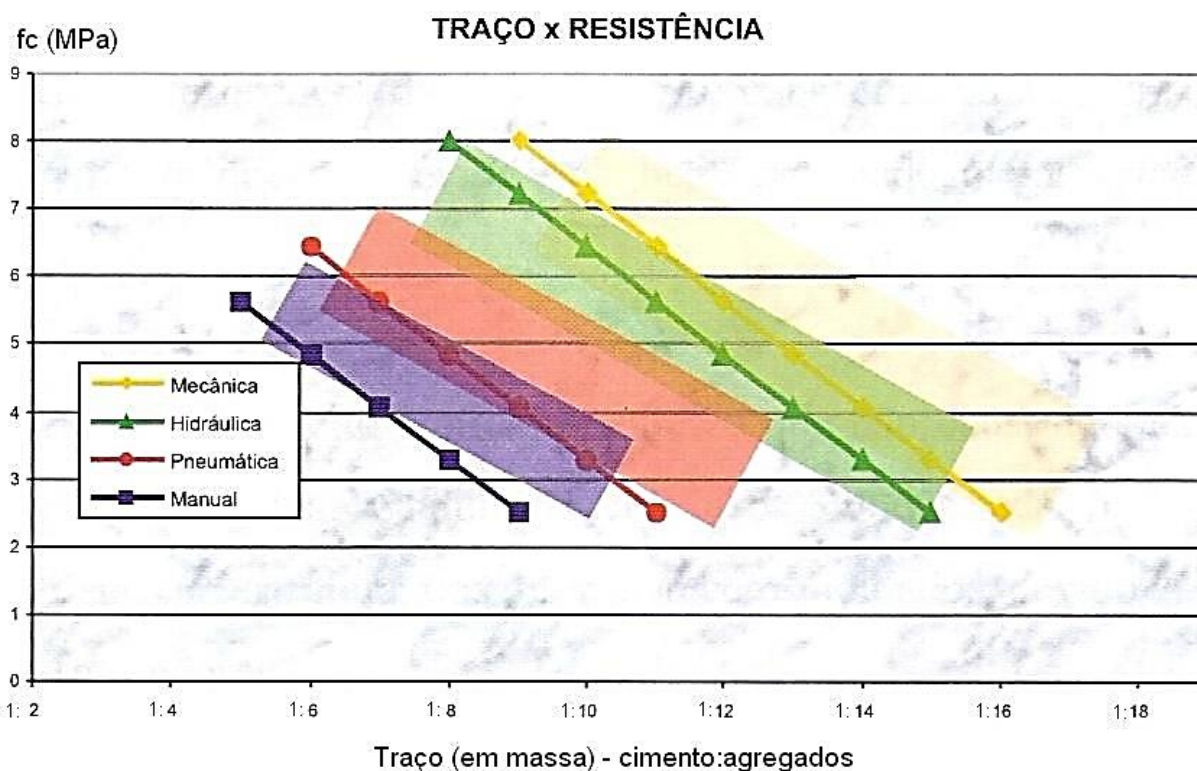


Figura 16 - Resistência à compressão dos blocos em função da vibro-compactação

Fonte: BUTTLER (2007).

A relação água cimento na produção de blocos de concreto, precisa ser tratada com uma ênfase maior, tendo em vista que a LEI DE ABRAMS, define que para um mesmo grau de hidratação, a resistência da pasta depende essencialmente da relação água cimento. Por outro lado, quanto mais água for possível inserir à mistura, para uma certa porção de cimento maior será a resistência a compactação e mais elevada será a plasticidade que ajudará a moldagem dos artefatos nas formas da vibro-compactação, entretanto, se caso houver um excesso de água poderá ocorrer problemas na desforma e em consequência deformações nas peças durante o traslado (FRASSON, 2000).

Por conseguinte, a adoção de agregado de RCD aplicado à fabricação de blocos de concreto depende principalmente da qualidade dos agregados (ALBUQUERQUE, 2005).

Os blocos podem ser produzidos de forma racional e com qualidade caso seja implementado no processo de fabricação medidas como: ajuste dos agregados no que tange aspectos de granulometria visando um bom arranjo dos agregados no ato da compactação; estabelecer a resistência à compressão média a ser alcançada; adotar uma adequada relação água cimento e efetuar vários ensaios experimentais

objetivando obter diagramas de dosagem que auxiliam a moldagem dos blocos (SANDES, 2008).

2.3 USINA DE RECICLAGEM DE RCD

Segundo Azevedo et al. (2006) a geração de RCD pode ocorrer em diferentes ciclos da vida útil de um empreendimento, quer seja na construção, manutenção, reformas e demolição. Por este motivo é importante discorrer sobre a quantidade de usinas que possam beneficiar os resíduos.

Diante desse fato ocorre elevada geração de resíduo, e esse crescimento requer que seja implementada medidas que visem assegurar ao melhor sistema de descarte possível, mas há uma alternativa efetiva e mais sustentável na atualidade a qual se refere à reutilização dessas matérias primas em um processo de reciclagem realizado em usinas especializadas no beneficiamento. Adotando essa prática de reciclagem haverá uma diminuição da necessidade de matérias primas virgens, minimizando a redução de custos outrora gasto pelas empresas para a construção de novos imóveis, além disso reduz significativamente o impacto ocasionado ao meio ambiente, ademais esses resíduos deixarão de ser descartados de forma inadequada (PINTO, 1999).

Todavia para o setor empresarial a argumentação que se embasam em questões ambientais ou de sustentabilidade, torna-se insuficiente para o convencimento de um possível investimento para implantação de uma usina de reciclagem, uma vez que esta demanda um alto capital financeiro inicial, assim é necessário justificar a implementação visando abordar também aos aspectos como geração de emprego e renda e, não menos importante precisa gerar lucro (SANTOS; POMPEU, 2014).

Em outras palavras as usinas de reciclagem de RCD tem demonstrado viabilidade técnica e econômica (COELHO; BRITO, 2013). Ciente da viabilidade de implantação de usinas de reciclagem e preocupada com o meio ambiente a União Europeia estabeleceu uma meta de reciclagem de 70% de seus resíduos gerado na construção civil até o ano de 2020, o que traduz um passo importante para o desenvolvimento sustentável (UNIÃO EUROPEIRA, 2008).

Sobretudo antes do processamento dos resíduos é primordial um estudo que forneça as qualidades físicas dos agregados reciclados no que tange a resistência à compressão, durabilidade, trabalhabilidade, absorção de água e um adequado

controle tecnológico com objetivo de manter a padronização e redução da variabilidade (KIBERT, 1994).

Estudo realizado por Miranda et al. (2009) onde foi avaliado as usinas ativas no Brasil, demonstrou-se que no ano de 2002 constava-se com apenas 16 usinas em pleno funcionamento. Entretanto após o advento da criação da resolução do CONAMA 307 de 2002, houve um crescimento significativo na criação de novas centrais de reciclagem alcançando uma taxa de nove usinas novas por ano, em contrapartida da taxa menor de três usinas por ano antes da resolução. Ademais diante da escala de produção de centrais de reciclagem no Brasil e levando se em consideração a taxa de produção de 445 kg/hab*ano de RCD, é possível concluir que a nação precisaria de no mínimo 2300 usinas para conseguir atender a demanda volumétrica gerada de RCD diariamente (BUTTLER, 2007).

Com base em dados levantados pela ABRECON, por meio de pesquisa setorial que avaliou dados referente aos anos de 2008 a 2015, observa-se na Figura 17 que a taxa de criação de novas usinas chegou a um aumento de 10,6 usinas criadas por ano. Contudo entre 2013 e 2015 houve estabilidade em novas instalações.

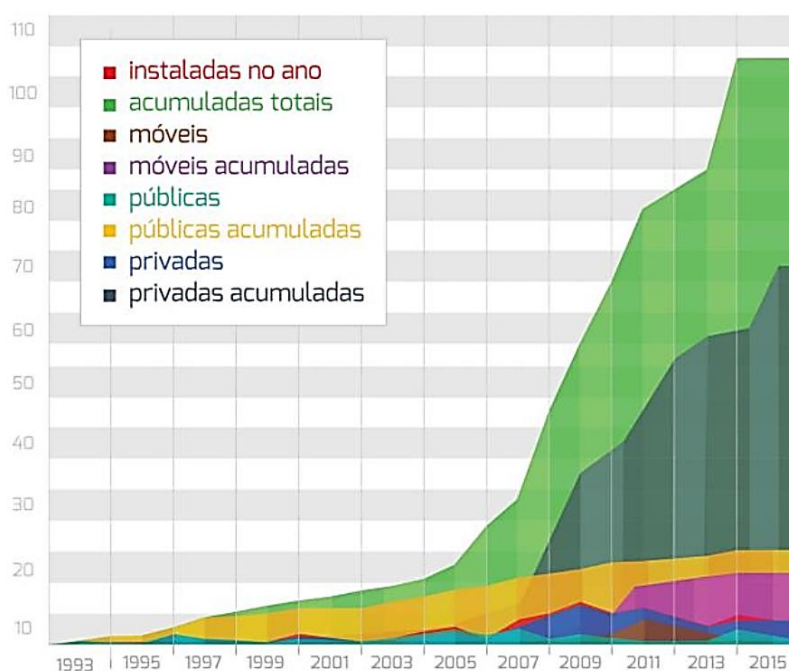


Figura 17 - Levantamento de usinas de reciclagem de RCD no Brasil

Fonte: Adaptado de ABRECON, 2017.

Segundo Medeiros et al. (2009) analisa-se o mesmo crescimento da criação de novas usinas de reciclagem, como ilustra a Figura 18.

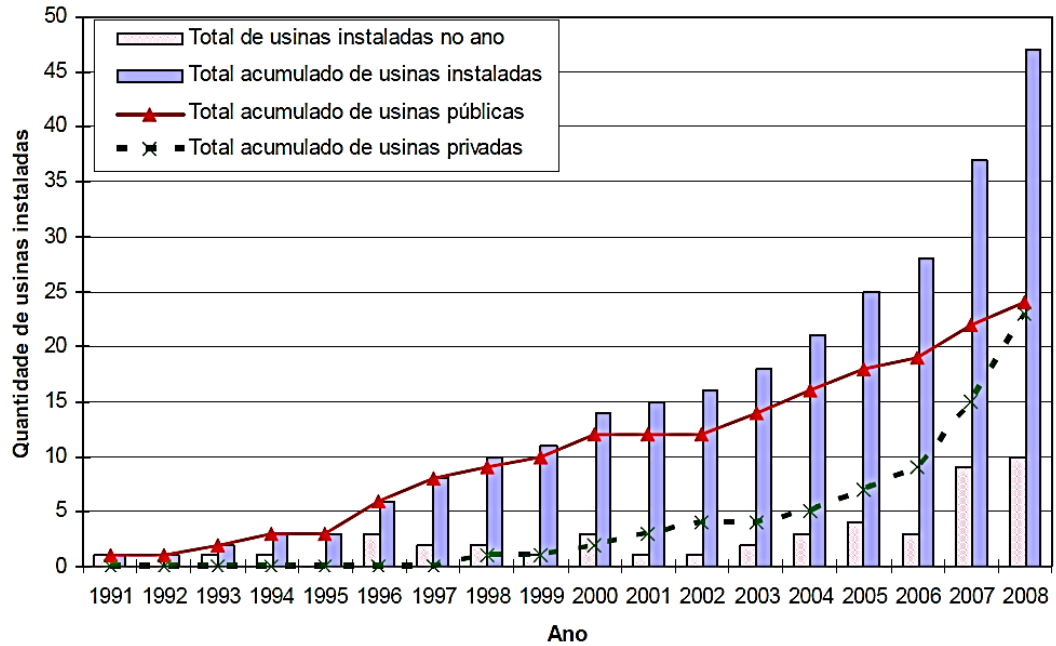
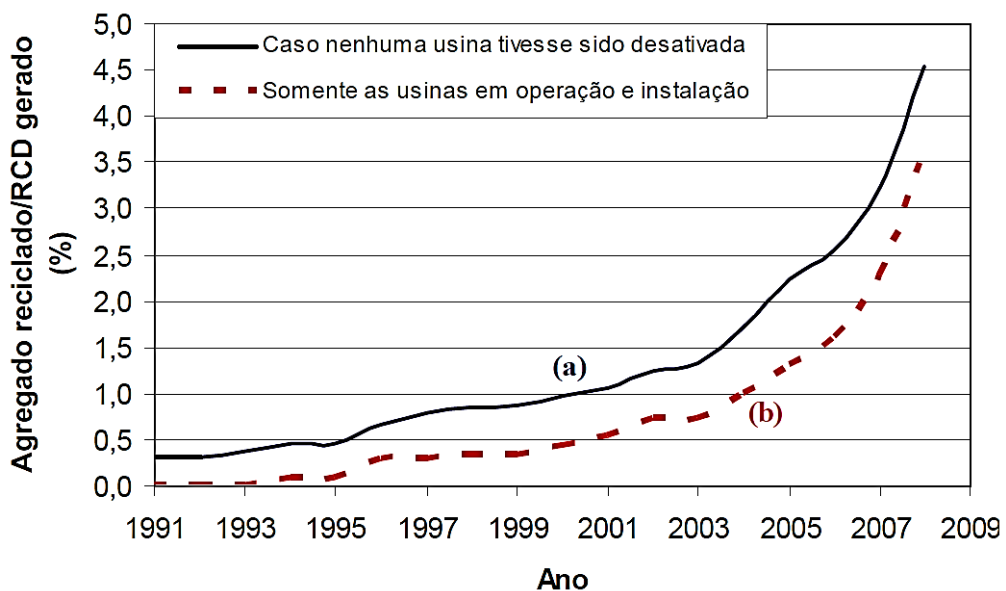


Figura 18 - Levantamento de usinas de reciclagem de RCD no Brasil

Fonte: Adaptado de Miranda et al. (2009).

Ainda em relação Medeiros et al. (2009), a Figura 19 informa que a capacidade de processamento de RCD pelas usinas de reciclagem ainda está abaixo da geração de resíduos no país, mesmo apesar de uma considerada evolução na criação de novas centrais após a publicação da resolução do CONAMA 307 (2002).



Obs.: A linha (b) considera as usinas em instalação e operação em novembro de 2008.

Figura 19 - Relação entre produção de agregados e RCD gerado no Brasil

Fonte: Adaptado de Miranda et al., (2009).

A distribuição geográfica das usinas de reciclagem no Brasil em termos percentuais, conforme a Figura 20, onde está apresentada por estado da federação o panorama dessas centrais de beneficiamento de resíduos da construção e demolição, o estudo trata-se de um levantamento feito nas 105 usinas que se dispuseram em participar dos estudos realizados pela Abrecon.

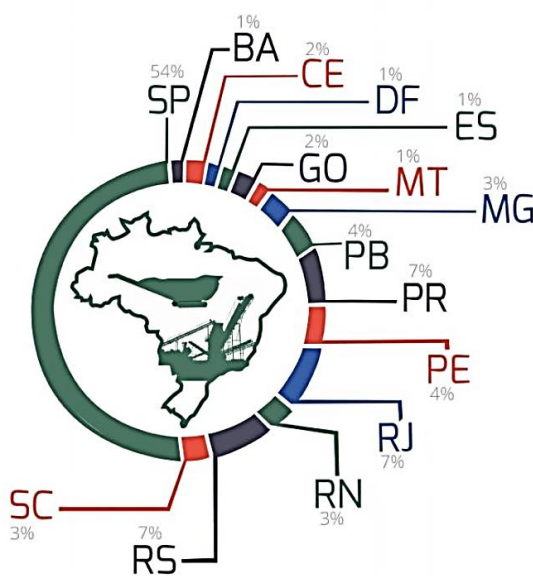


Figura 20 - Concentração de usinas por estado

Fonte: Adaptado de ABRECON (2017).

Miranda et al. (2009) afirma que no início a maioria das usinas eram públicas, entretanto a partir do ano de 2002 com o estabelecimento da resolução 307, esta situação mudou, uma vez que já em 2008 cerca de 50% das unidades de reciclagem já pertenciam ao setor privado.

Por conseguinte, a pesquisa da Abrecon, indica que a tendência é que as usinas privadas se consolidem cada vez mais como maioria, posto que há um contínuo aumento de novas usinas sendo criadas, na Figura 21 observa-se esse crescimento onde consta que mais de 80% já está inserida na iniciativa privada (ABRECON, 2017).

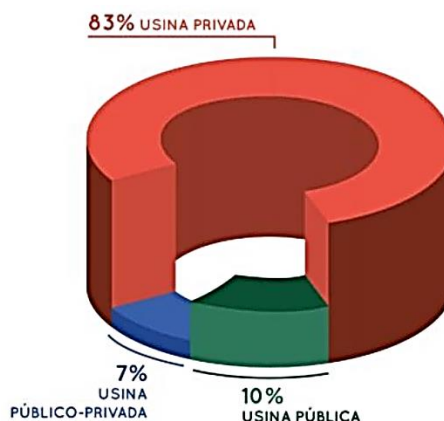


Figura 21 - Percentuais de usinas públicas e privadas

Fonte: Adaptado de ABRECON, 2017.

Sobretudo o fato que faz com que as usinas públicas se tornaram ao longo do tempo em menor quantidade, face ao aumento significativo e contínuo das privadas se relaciona a questões burocráticas, de gerenciamento dos processos envolvidos, mão de obra qualificada e de fatores que se referem a manutenção e administração da depreciação de máquinas e equipamentos. É importante frisar que mesmo diante desses obstáculos as unidades recicladoras públicas são viáveis economicamente e trazem uma série de benefícios ao município, como por exemplo, a economia gerada em relação à limpeza pública e compra de agregado a baixo custo, somando com isso mais um motivo da utilização dos resíduos para produção de novos insumos, criando um movimento cíclico dos insumos que outrora seria descartados (MIRAN et al., 2009).

Em suma as usinas podem ser do tipo fixa, móvel, fixa e móvel, estas representam um percentual de 74%, 21% e 5%, respectivamente. As usinas e aterros cobram valores pelo recebimento de RCD, como ilustrado na Figura 22, contudo a destinação do resíduo para as usinas é mais vantajoso uma vez que este material poderá ser reutilizado, o que não ocorre se fosse levado para os aterros, inclusive os valores são os mesmos praticados em ambos os lugares de destinação. Além disso um dado importante, refere-se que os principais compradores de RCD das usinas são as construtoras e órgãos públicos, e estes poderão obter material com qualidade e de baixo custo em relação aos valores cobrados por materiais semelhantes virgens (ABRECON, 2017).

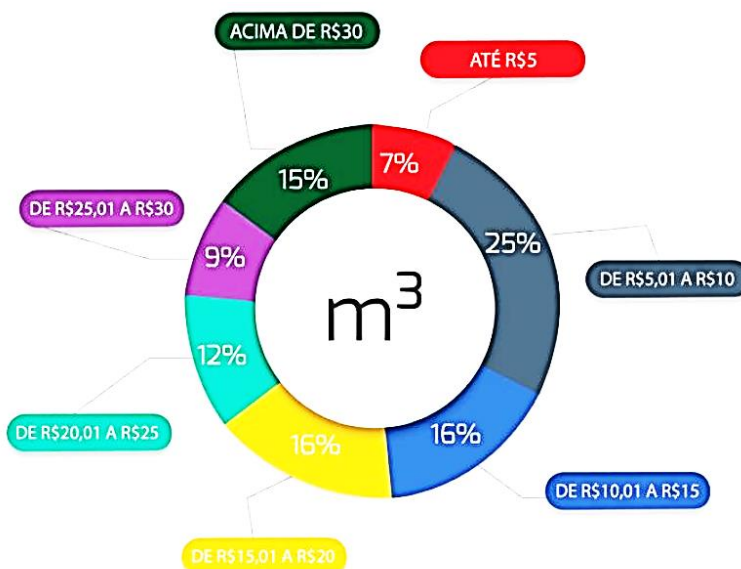


Figura 22 - Preço médio por m³ cobrado na usina pelo resíduo recebido

Fonte: Adaptado de ABRECON, 2017.

2.4 ASPECTOS DE ACÚSTICA

O crescimento desordenado dos núcleos urbanos, o advento das novas tecnologias da construção civil, questões de ordem cultural, dentre outros, têm provocado um aumento acentuado nas questões relacionadas ao conforto acústico, entende-se por acústica como um ramo da física que estuda o som, oriundo de vibrações de partículas (CARVALHO, 2010).

Certamente a tendência mundial para o aumento da urbanização e do crescimento populacional nas médias e grandes cidades trouxe como consequência um avanço no número de construções residenciais e industriais, bem como, o aumento dos veículos nas cidades e intensificando a poluição sonora. Hoje, o ruído é classificado como um tipo de poluição semelhante a outros grandes problemas de poluição ambiental, tais como o aquecimento global e a destruição da camada de ozônio (ZANNIN, 2010).

Diante do desafio de solucionar estes problemas e segundo Carvalho (2010) o tratamento acústico dos ambientes consiste na observação dos seguintes itens, sendo:

- a) Garantir condições de audibilidade no local, ou seja, através de absorções acústicas revestimentos internos (paredes, tetos, pisos) e/ou em função da geometria interna, utilizando os recursos de reflexões;

- b) Atenuar os ruídos externos que porventura poderão gerar incômodos e impactar na boa audibilidade do recinto;
- c) Atenuar os possíveis ruídos internos para não gerar incômodo aos entornos.

Haja vista que a propriedade mais significativa no que diz respeito à transmissão de ruídos é a densidade do material em estudo, quanto mais denso o material ele resistirá mais a propagação com isso reduzirá a transmissão. Já no tocante a rigidez quanto maior for esta, maior será a transmissão de ruído no material (LAMOUNIER, 2008).

Acrescenta-se um fator correlacionado à transmissão de sons, trata-se do tempo de reverberação, onde este consiste no efeito que o som produzido em ambientes fechado persiste, devido às múltiplas reflexões geradas nas paredes e superfícies internas de uma câmara acústica reverberante. Este fenômeno difere em função das superfícies internas, uma vez que caso estas sejam mais polidas e rijas terão maior tempo de reverberação, e inclusive em função dos materiais absorventes, pois menor será o tempo de reverberação caso houver maior absorção (BISPO, 2005). Diante dos parâmetros acústicos a Tabela 4 divulga de forma sucinta os requisitos mínimos da diferença padronizada de nível ponderada que paredes externas¹ devem isolar ruídos indesejáveis aos ocupantes dos imóveis com base em diferentes localidades.

Tabela 4 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível, D2m,nT,w

Classe de ruído	Localização da habitação	D2m,nT,w (dB)	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥20	Mínimo
		≥25	Intermediário
		≥30	Superior
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥25	Mínimo
		≥30	Intermediário
		≥35	Superior
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação.	≥30	Mínimo
		≥35	Intermediário
		≥40	Superior

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15575-4 – Anexo F.6.1.1² (ABNT, 2013).

Devido ao termo ruído ser de grande significância é necessário defini-lo, logo segundo Pinto (2012), ruído é um estímulo sonoro indesejável ou sem conteúdo

¹ ABNT NBR 15575-4 (ABNT,2013), anexo F – seção F.6.1, Tabela 9

² Já Anexo F.6.1.2 divulga os níveis de desempenho entre paredes internas na Tabela F.10.

informativo ao receptor. Logo o ruído envolve os sentimentos das pessoas e estabelece uma relação de condições ambientais.

Ademais os ruídos originados nos centros urbanos geram transtornos indesejáveis no interior das edificações, reduzindo a qualidade de vida dos habitantes caso não seja tomada medidas que minimizem ou extinguem os efeitos deste. Na construção civil alguns materiais como blocos de concreto, cerâmicos e concreto armado possuem um potencial de isolar ruídos, contudo nem sempre esses materiais são suficientes para atender locais onde é exigido uma maior atenuação sonora (CATAI et al., 2006).

Na Figura 23 observa-se um feixe de onda sonora de ruído branco na cor laranja claro incidindo sobre o anteparo azul, o qual representa a parede de blocos de concreto por exemplo, e parte do feixe inicial é refletido como ilustra a seta amarela. A outra parcela em seta azul torna-se absorvida pela parede e a terceira fração de ruído transpassa o anteparo. Destaca-se que este esquema gráfico é simplesmente a título de sintetizar o que ocorre em um ensaio real da parede física em laboratório.

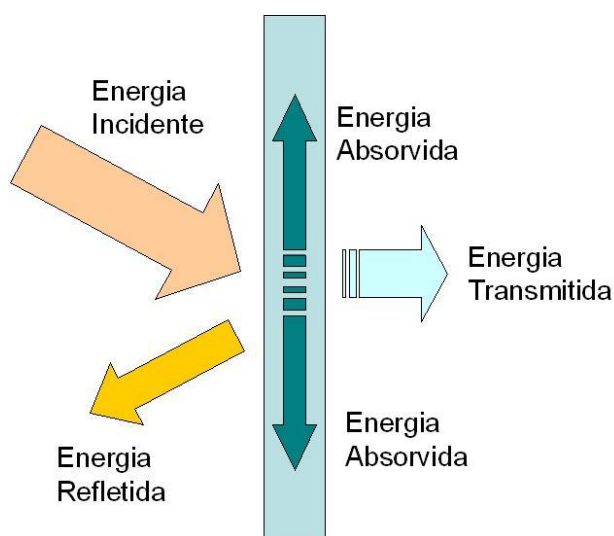


Figura 23 - Esquema Gráfico da Dissipação de Energia Sonora Emitida

Fonte: Adaptado de CHR Acústica (2019).

O índice de redução sonora é igual a diferença da incidida menos a transmitida, entende-se assim que o índice de redução sonora é inversamente proporcional ao nível de pressão sonora transmitida, desta forma quanto maior for este índice menor será a pressão sonora no interior da sala receptora.

Em se tratando de conforto para os usuários, nas Figuras 24 a 26 é ilustrado alguns aspectos referentes ao sistema auditivo humano.

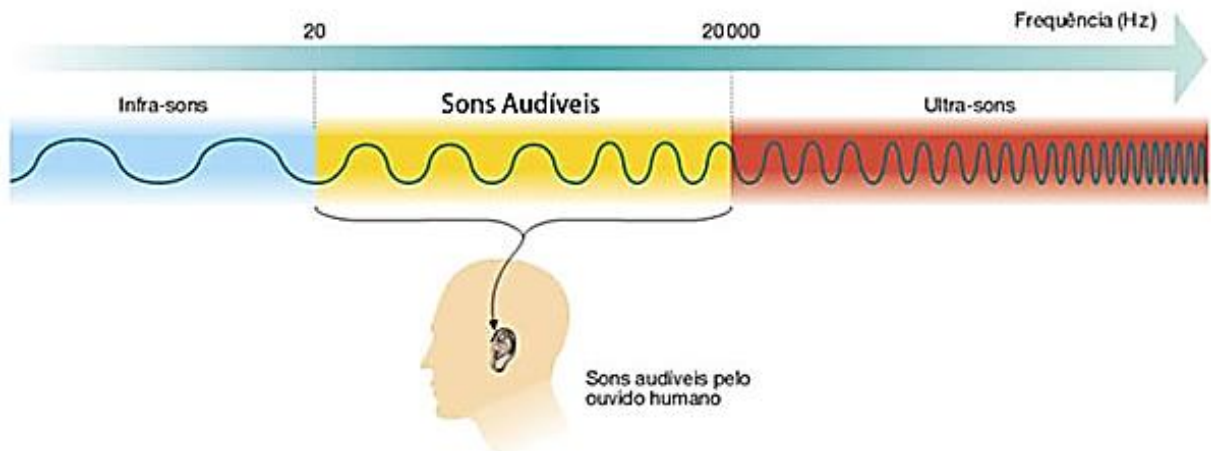


Figura 24 - Intervalo de Frequência Audíveis pelo Ouvido Humano

Fonte: Adaptado de Machado (2019).

O gráfico da Figura 25 discorre que mesmo o ser humano tendo a capacidade de ouvir sons em diversas frequências é necessário que elas sejam emitidas em um certo nível de pressão sonora, por exemplo, para uma frequência de 1.000 Hz, o ouvido humano só poderá captar o som, se este estiver em um nível de pressão sonora mínimo de 20 dB. Em relação as zonas em verde, amarelo e vermelho elas significam que o homem não consegue ouvir o som, zona audível e região que provoca dor e lesões aos humanos, respectivamente (MACHADO, 2019).

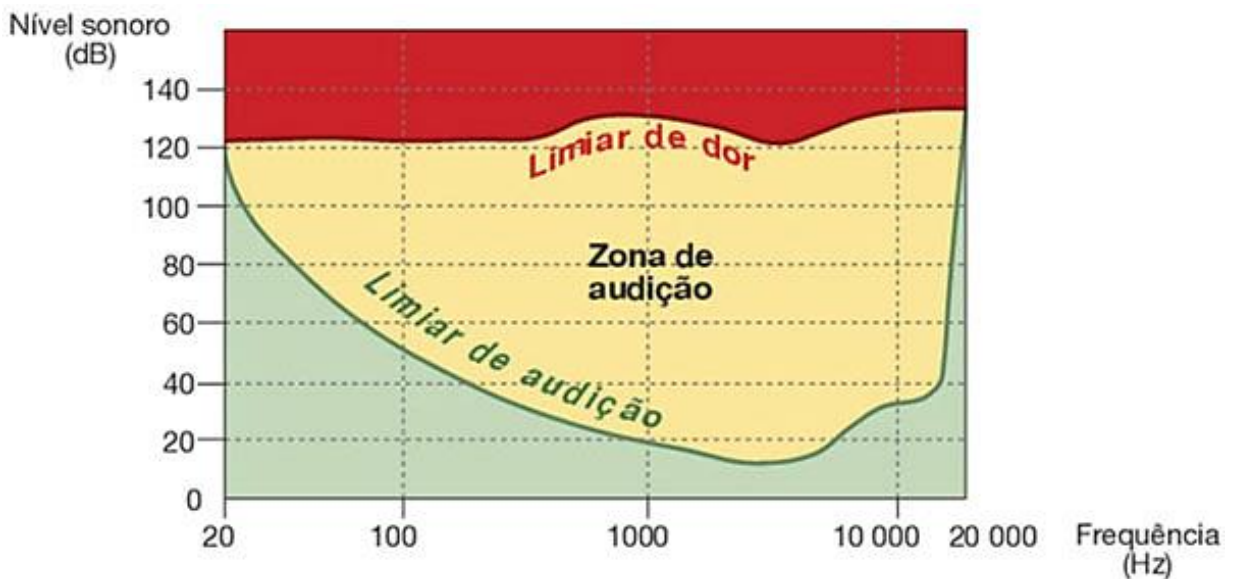


Figura 25 - Gráfico de Audibilidade Humana

Fonte: Adaptado de Machado (2019).

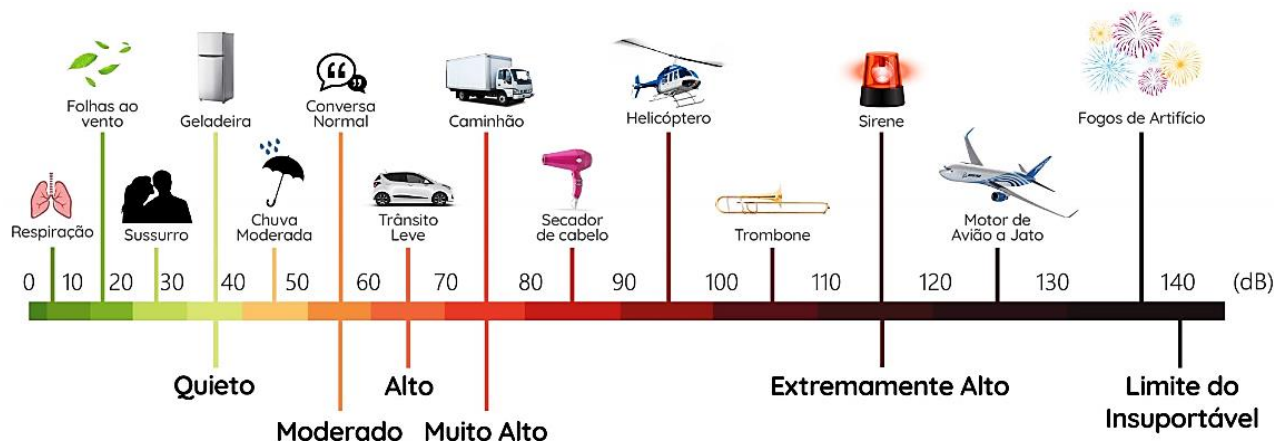


Figura 26 - Escala de Decibéis (dB).

Fonte: Adaptado do Site Nossos Doutores (2019).

As ilustrações descritas nas Figuras 24 a 26 foram expostas visando um maior entendimento do que ocorre no dia a dia com base em uma referência de intensidades de sons comuns, dos quais os usuários de residências e apartamentos estão sujeitos cotidianamente como é exposto na Figura 26. A Figura 24 detalhe as frequências captadas pelo ouvido humano, todavia é importante frisar que os humanos produzem sons nas frequências de 85 a 1.100 Hz (MACHADO, 2019).

2.5 CÂMARA REVERBERANTE

Com base em Santos et al. (2008), câmaras reverberantes são salas especiais que contém características físicas que proporcionam um campo reverberante difuso, e são usadas normalmente com o objetivo de determinar parâmetros acústicos de materiais, como espalhamento ou difusidade e absorção do som em propagação.

A definição de Bistafa (2008), para câmara reverberante é semelhante, é um ambiente capaz de originar um campo difuso potencializando o som refletido pela superfície das paredes.

Também se ressalta que com o aumento das reflexões das ondas sonoras em um recinto reverberante, com a ausência de ondas estacionárias, é possível criar um campo uniforme onde o nível de pressão sonora não varia, independentemente da posição da emissão sonora ou do microfone (SANTOS, 2004).

Por outro lado, as câmaras reverberantes geralmente são dotadas de paredes internas rígidas, e possuindo superfície com elevada reflexão, entretanto com um

coeficiente de absorção sonora menor em relação à faixa de frequência de medição requerida, outro fato relevante e que todas as câmaras devem ter são paredes não paralelas, uma vez que esse fato evitaria a criação de ondas estacionárias, onde estas causam danos aos resultados da análise (SANTOS et al., 2008).

Paredes paralelas não auxiliam muito na difusidade da câmara pois não aumentam a quantidade de modos, onde este se caracteriza como o comprimento da onda do som sendo igual ou proporcional à uma dimensão do ambiente, podendo ser os modos tangenciais, axiais e oblíquos (SANTOS et al., 2008).

A Figura 27 mostra a maquete 3D digital da câmara reverberante do laboratório de acústica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, na mesma figura a direita observa-se a cor vermelha nas paredes da sala de emissão do ruído e na sala de recepção cor verde nas paredes, esta última cor para identificar uma ideia de atenuação do ruído e um maior conforto acústico. E em seguida nas Figuras 28 a 30 ilustram os projetos da câmara: Planta baixa e cortes.



Figura 27 - Maquete 3D Digital da Câmara Reverberante da UTFPR

Fonte: Autoria Própria (2019).

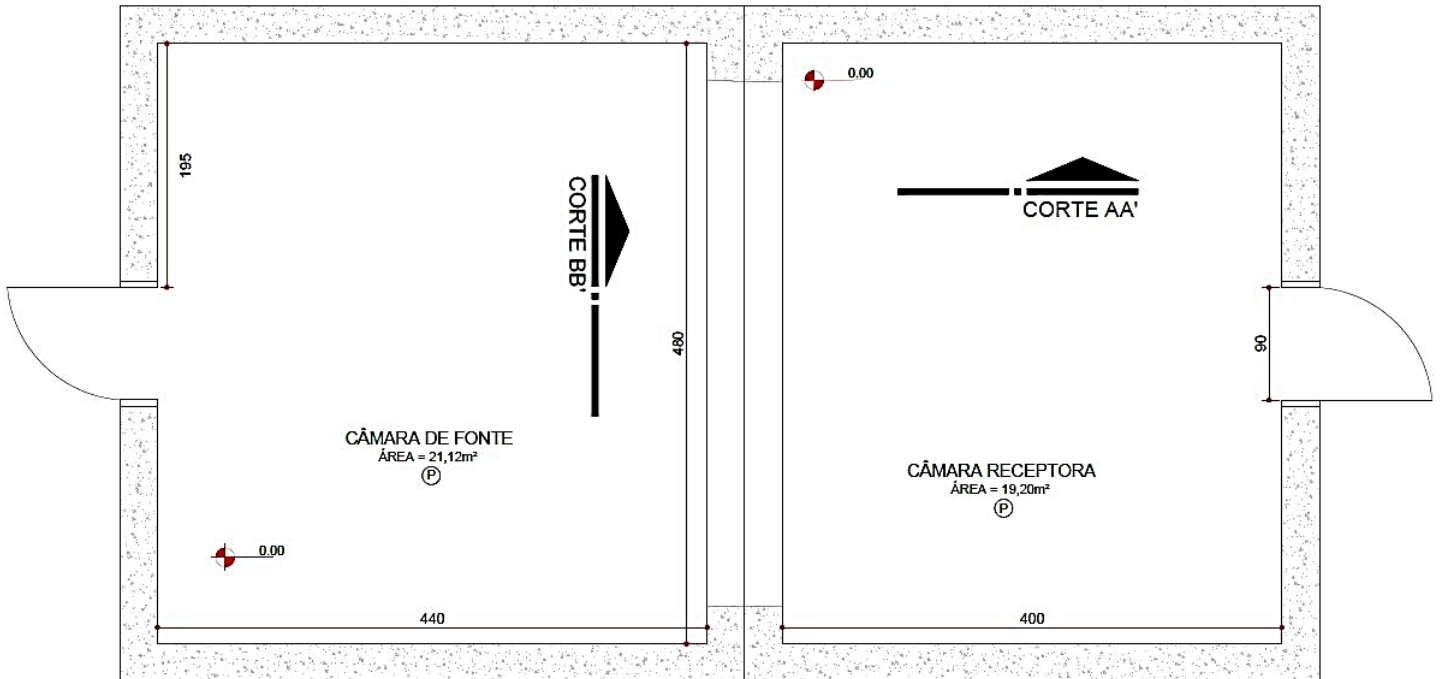


Figura 28 - Planta Baixa da Câmara Acústica

Fonte: Autoria Própria (2019).

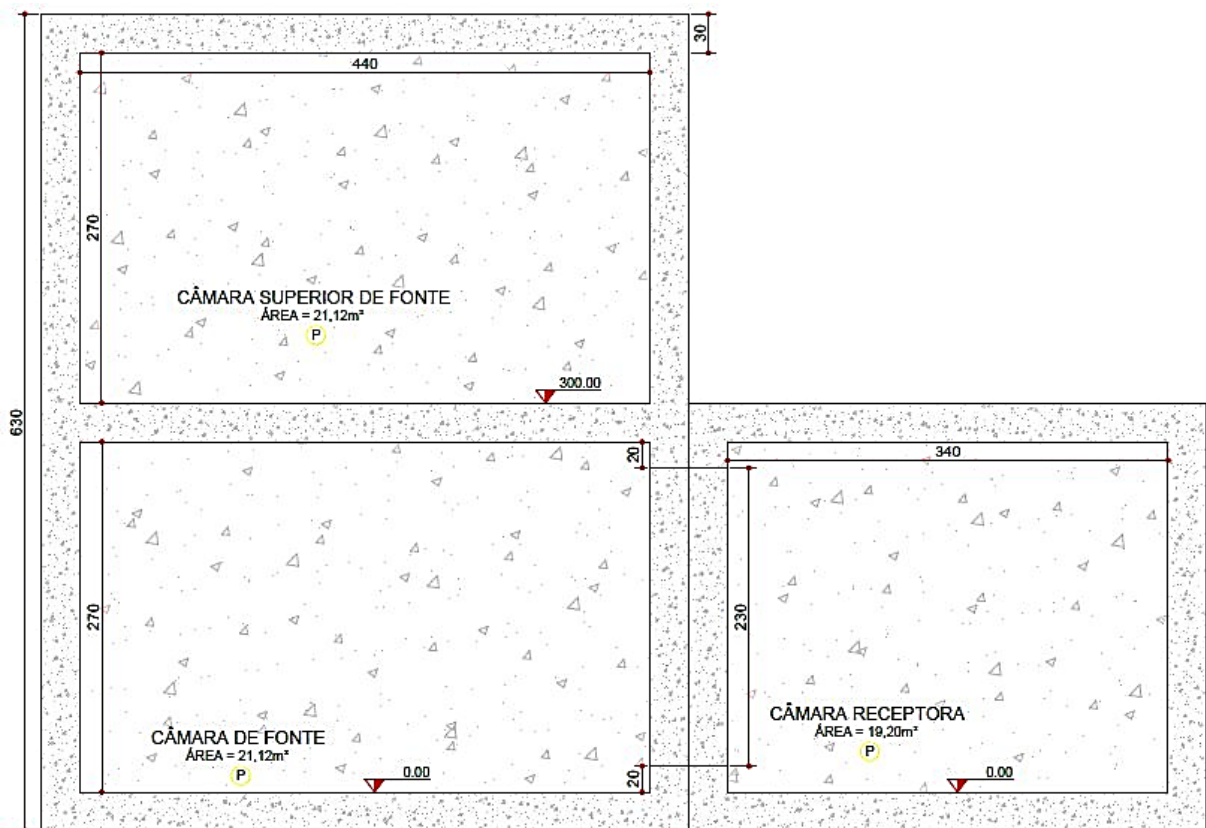


Figura 29 - Corte AA'

Fonte: Autoria Própria (2019).

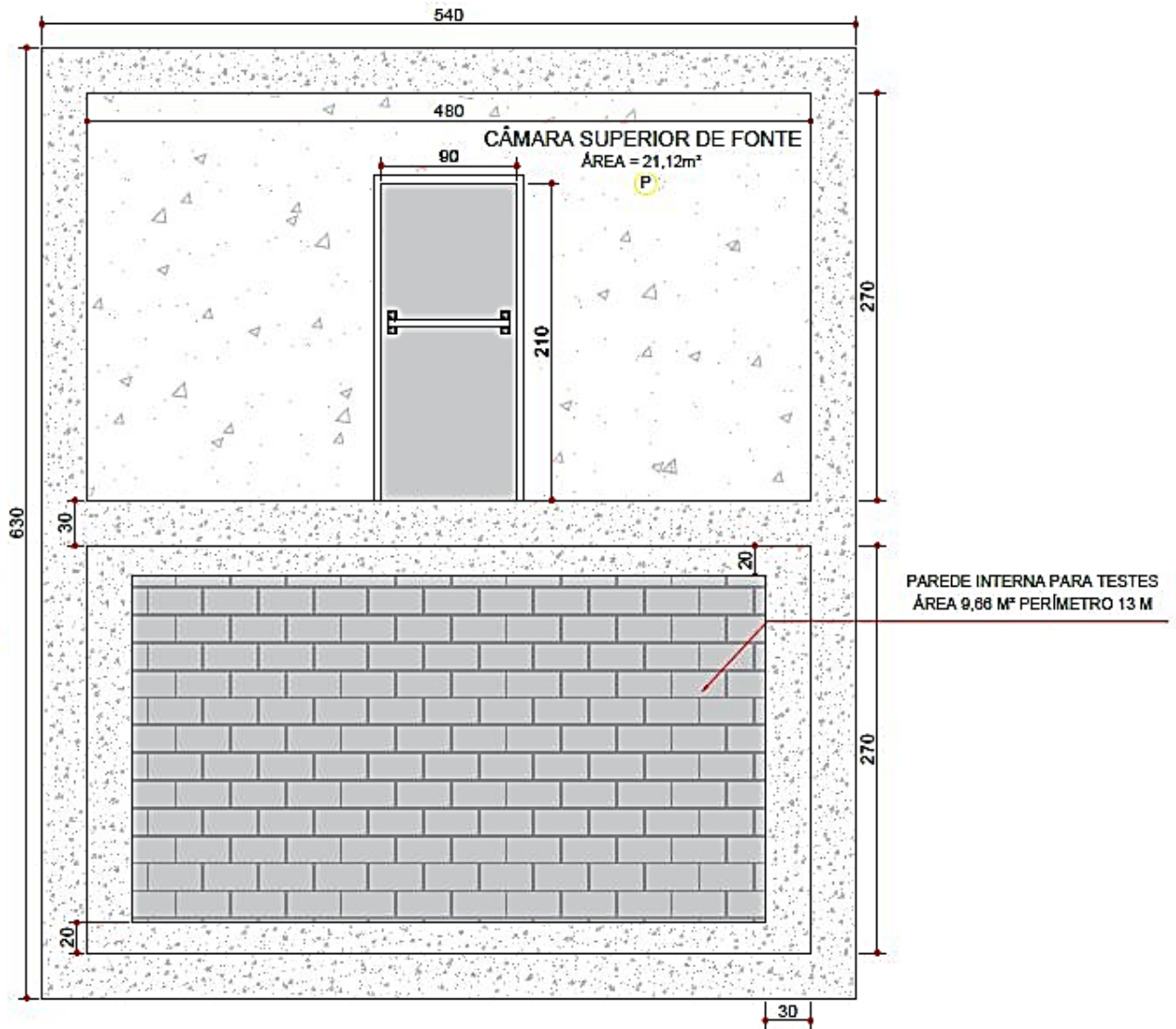


Figura 30 - Corte BB'

Fonte: Autoria Própria (2019).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O método de procedimento principal desta pesquisa é classificado como experimental, onde foram analisados aspectos específicos de várias situações e suas decorrências, buscando explorar situações reais de desempenho acústico em blocos de concreto fabricados a partir de RCD. A abordagem metodológica consistirá em uma pesquisa descritiva exploratória, a partir da busca de soluções por meio de uma pesquisa aplicada.

Esta pesquisa iniciou com uma análise bibliográfica de conceitos já consolidados sobre resíduos da construção civil e demolição - RCD. Diante disto e levando em consideração a disponibilidade desse tipo de material no Brasil e em especial na região metropolitana de Curitiba capital do estado do Paraná, na qual foram feitas consultas a livros e periódicos presentes na Biblioteca da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – câmpus Curitiba, por artigos científicos selecionados mediante buscas no banco de dados do *scielo* e do *science direct*, além de teses e dissertações disponíveis no ambiente eletrônico a fim de obter mais informações sobre o RCD.

Em referência às palavras chave utilizadas nos diversos ambientes de pesquisa foram: ruído, blocos de vedação, resíduos, construção civil e acústica. O critério admitido para a inserção dos materiais bibliográficos estudados foi aquele que mais se correlacionaram com resíduos da construção civil e demolição, abrangendo desde propriedades mecânicas a granulométricas, onde posteriormente foram utilizadas para a construção dos blocos a ser empregados em alvenaria de vedação atendendo os parâmetros da ABNT NBR 6136 (ABNT, 2016) - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria. Na Figura 31 é mostrado a sequência de execução das atividades práticas desenvolvidas.

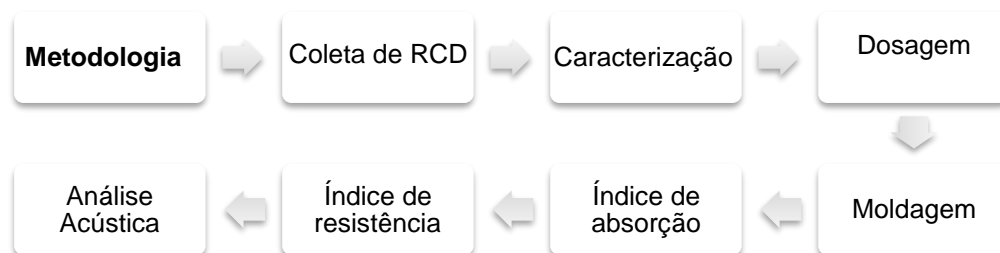


Figura 31 - Síntese da Etapa de Materiais e Metodologia Utilizada

Fonte: Autoria Própria (2019).

3.1 COLETA DE RCD

Os resíduos coletados foram areia e pedrisco oriundos de construção e demolição, adquiridos na usina de reciclagem Soliforte Reciclagem Ltda³. Nas Figuras 32 e 33 é ilustrado a usina, já na Figura 34 observa-se imagens do macroprocesso de reciclagem onde é exposto a chegada e processamento do material bruto vindo da construção e demolição e em seguida imagem da separação do produto final o RCD em dois subprodutos areia e pedrisco de acordo com a Figura 35, agregados que são a base dos blocos de concreto.



Figura 32 - Usina de Reciclagem Soliforte

Fonte: Adaptado de Soliforte Reciclagem Ltda (2019).



Figura 33 - Deposito de Material Bruto RCD - Soliforte

Fonte: Adaptado Google Maps (2019).

³ Soliforte Reciclagem Ltda. Rua Vicente Nalepa, 870 Colônia D. Pedro II CEP 83608 355 Campo Largo • Paraná.



Figura 34 - Etapas do Processamento do RCD na Usina

Fonte: Adaptado de Soliforte Reciclagem Ltda (2019).



Figura 35 – Agregados de RCD. Figura 31A) Areia de RCD; Figura 31B) Pedrisco de RCD.

Fonte: Adaptado de Soliforte Reciclagem Ltda (2019).

A Figura 36 identifica os diferentes materiais que dão origem ao RCD, e do qual é formado a areia e o pedrisco. Na Tabela 5 observa-se as características da areia e do pedrisco processados na usina de reciclagem Solifort.

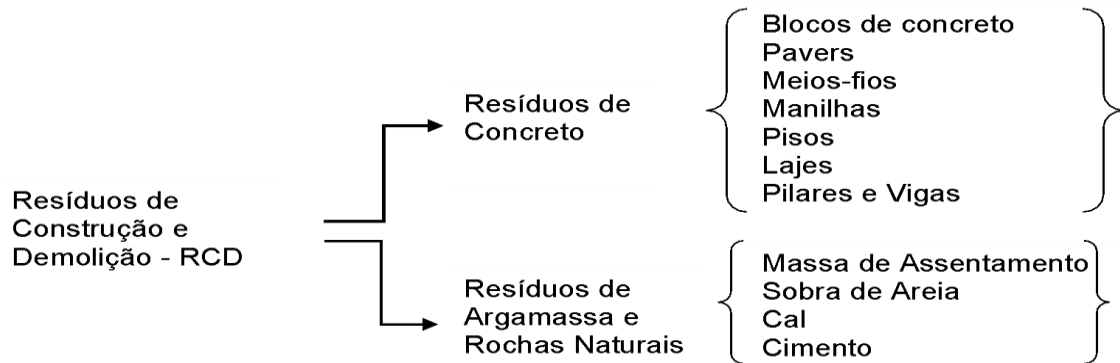


Figura 36 - Componentes do RCD Utilizado na Produção dos Blocos

Fonte: Adaptado de Soliforte Reciclagem Ltda (2019).

Tabela 5 - Propriedades da Areia e do Pedrisco - RCD

Areia	Pedrisco
Dimensão máxima característica < 4,8mm	Dimensão máxima característica < 6,3mm
Sulfatos < 1%	Sulfatos < 1%
Absorção de água < 12%	Teor de fragmentos de cimento e rocha > 90%
Cloretos <1%	Absorção de água < 7%
Materiais não minerais <2%	Cloretos < 1%
Torrões de argila < 2%	Materiais não minerais < 2%
Teor total máximo de contaminantes <3%	Torrões de argila < 2%
Teor de finos passante na malha 0,075mm < 15%	Teor total máximo de contaminantes < 3%
	Teor de finos passante na malha 0,075mm < 10%

Fonte: Adaptado de Soliforte Reciclagem Ltda (2019).

Além do exposto na Tabela 5 foram realizadas algumas análises em laboratório referente a padrões mínimos de qualidade como por exemplo absorção, entre outros que a norma ABNT NBR 15116 (ABNT, 2004) - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – requisitos, determina que sejam seguidos rigorosamente e realizados novamente algumas das análises tanto as supracitadas quanto as que se referem a granulometria dos agregados.

Segundo a Soliforte a usina tem capacidade de processamento instalada de 6.000 m³/mês de resíduos, a empresa contribui ambientalmente em dois aspectos importantes: retirando o resíduo eventualmente depositado clandestinamente em

córregos e terrenos baldios, e reduzindo a extração de matéria prima natural. Desse modo teve-se um fornecedor capaz de suprir as quantidades de RCD necessário para realizar as atividades.

3.2 CARACTERIZAÇÃO

3.2.1 Agregados Areia e Pedrisco - RCD

Após a escolha do insumo como ilustrado na Figura 35, foi realizado os ensaios como descrito no Quadro 3. Alguns dos ensaios são divulgados nas Figuras 37 a 39, é importante citar que sempre quando houve necessidade foi utilizada a estufa para secar os materiais em temperatura a 105°C como ilustra a Figura 40.

Agregado Miúdo - Areia
Distribuição granulométrica – ABNT NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Massa específica – ABNT NBR NM 52 (ABNT, 2009)
Absorção de água – ABNT NBR NM 30 (ABNT, 2001)
Teor de materiais pulverulentos – ABNT NBR NM 46 (ABNT, 2003)
Agregado Graúdo - Pedrisco
Distribuição granulométrica – ABNT NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Massa específica – ABNT NBR NM 53 (ABNT, 2009)
Absorção de água – ABNT NBR NM 53 (ABNT, 2009)
Teor de materiais pulverulentos – ABNT NBR NM 46 (ABNT, 2003)

Quadro 3 - Ensaio e Normas Utilizados para Caracterização do RCD

Fonte: Autoria Própria (2019).



Figura 37 - Ensaio de Distribuição Granulométrica

Fonte: Autoria Própria (2019).



Figura 38 - Ensaio de Massa Específica

Fonte: Autoria Própria (2019).



Figura 39 - Ensaio de Teor de Material Pulverulentos

Fonte: Autoria Própria (2019).



Figura 40 - Estufa 105°C

Fonte: Autoria Própria (2019).

3.2.2 Cimento CPV - ARI

O cimento utilizado nesta pesquisa foi o Cimento CPV-ARI, Cimento Portland da classe ARI (Alta Resistência Inicial), atendendo aos requisitos mínimos da ABNT NBR 16697 (ABNT, 2018). Tais como:

- ✓ Resistência à compressão axial aos 7 dias maior ou igual a 34 MPa.
- ✓ Tempo de início de pega maior ou igual a 60 minutos.
- ✓ Tempo de fim de pega menor ou igual a 600 minutos.

3.3 DOSAGEM

Após a seleção e caracterização dos agregados, foi criada várias composições de traços, com o objetivo de chegar a um traço que atendesse aos critérios de resistência à compressão axial dos blocos de concreto conforme a Tabela 3 na classe C, cuja finalidade é a produção de blocos de vedação.

Nesta etapa foi constatado uma elevada porcentagem de materiais passante na peneira 4,8mm o que ultrapassa ao recomendado, mas essa situação já era esperada tendo em vista a natureza dos agregados uma vez que estes possuem uma camada superficial que no ato do processamento da mistura em betoneira acabam desagregando e gerando ainda mais material fino, tal fato se justifica pela alta composição de partículas de cimento presentes conforme Tabela 5 supracitada e pelo método de peneiramento e estocagem do material triturado e peneirado na usina de reciclagem. O estoque fica a céu aberto e devido à chuva e umidade as partículas mais finas aderem-se as maiores formando assim uma camada superficial com baixa adesão, mas suficiente para manter-se aderida até o ato do processamento da mistura cimento, agregados e água.

Apesar dessas particularidades dos agregados foi mantida suas características, ou seja, não foi executado lavagem e peneiramento, haja vista que caso o material seja utilizado no dia a dia das obras não passará por esses procedimentos, assim foi mantida as etapas mais próximas possível do que seria realizado na prática.

Os agregados utilizados na fabricação dos blocos são inteiramente de RCD, assim as técnicas vigentes como por exemplo, métodos de dosagem da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) não se adequam como ocorre para agregados naturais devido a especificidade dos reciclados. Desta forma foi utilizada o método supracitado, porém seguido de uma série de testes predecessores para

chegar a melhor composição, tendo em vista que no ato da moldagem do bloco na vibro prensa a mistura perde boa parte de seu potencial de resistência devido as características da máquina pois esta é semiautomática, além de apresentar em alguns momentos descontinuidade de operação. Na Figura 41 observa-se amostra de traços preliminares e ensaio de compressão axial aos 28 dias do concreto para fabricação dos blocos.

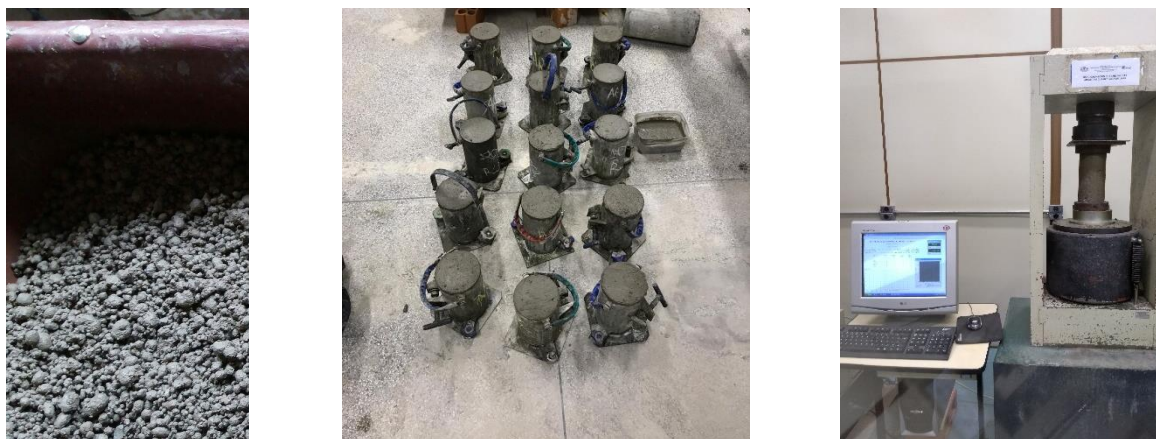


Figura 41 - Composições de Traços Iniciais e Testes de Compressão Axial

Fonte: Autoria Própria (2019).

3.4 MOLDAGEM

Anteriormente a preparação de cada mistura foi realizado testes para encontrar a umidade dos agregados, com isso padronizar as misturas no que tange a parcela de água na composição dos traços, tendo em vista que quanto maior a relação água cimento menor será a resistência a compressão axial. Após selecionar o melhor traço através de ensaios de corpo de prova cilíndricos 10x20cm e realizados os ensaios de compressão axial dos blocos, inclusive teste de absorção de água, após verificado o atendimento aos parâmetros mínimos requeridos por norma como cita a Tabela 3, foi realizada a produção dos blocos de concreto para os testes na câmara acústica. Os ensaios referentes aos concretos baseiam-se conforme a ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014).

Os ensaios realizados antes do ato de processar a massa na vibro prensa, ou seja, com o concreto no estado fresco foi o ensaio de trabalhabilidade *Slump test* ABNT NBR NM 67 (ABNT, 1998) e ensaio VeBe, contudo esses ensaios não se mostraram tão eficazes devido à natureza da massa ser seca com aspecto de “farofa”,

e tendo os ensaios apresentado valores muito baixo, em muitos casos insignificativos. A mistura de concreto em laboratório foi referenciada pela ABNT NBR 12821 (ABNT, 2009) que discorre sobre: Preparação de concreto em laboratório – Procedimento, através de betoneira de eixo inclinado conforme Figura 42.



Figura 42 - Mistura do Concreto em Betoneira e Ensaio Slump Test

Fonte: Aatoria Própria (2019).

Os ensaios que trata do estado endurecido do concreto como o teste de resistência à compressão axial foi realizado com base na ABNT NBR 5739 (ABNT, 2018) - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. A Figura 43 ilustra os ensaios tanto do corpo de prova cilíndrico 10x20cm, quanto de blocos de concreto. O ensaio foi realizado em corpos de prova saturados de água, utilizando uma máquina universal de ensaios (EMIC, modelo PC200) com velocidade de aplicação de carga igual a 0,5 MPa/s conforme Figura 43.



Figura 43 - Ensaio de Resistência à Compressão Axial

Fonte: Aatoria Própria (2019).

Em sequência e com os traços definidos executou-se a fabricação dos blocos por meio da vibro prensa como indica a Figura 44. Os blocos fabricados possuem as seguintes dimensões 14x19x39cm, no ato da moldagem convencionou-se uma vibração de 60s, e 6 prensagens com duração de 30s para cada camada de concreto inserida na prensa. Na Figura 45 observa-se blocos de concreto recém-fabricados e blocos em processo de capeamento, ou seja, realização de acabamento na parte superior e inferior dos blocos para posteriormente ser executado o ensaio de compressão axial.



Figura 44 - Aplicação de Desmoldante nas Formas e Moldagem dos Blocos

Fonte: Autoria Própria (2019).



Figura 45 - Blocos em Cura e Execução de Cabeamento

Fonte: Autoria Própria (2019).

Nas Figuras 46 observa-se os blocos no laboratório para realização do ensaio de resistência à compressão, a Figura 47 ilustra o ensaio de absorção de água. Já na Figura 48 os blocos estão em estoque aguardando a montagem da parede na câmara acústica.



Figura 46 - Blocos Capeados para Ensaio de Compressão e Pesagem à Direita

Fonte: Autoria Própria (2019).



Figura 47 - Ensaio de Absorção de Água

Fonte: Autoria Própria (2019).



Figura 48 - Blocos em Estoque Aguardando Montagem da Parede

Fonte: Autoria Própria (2019).

3.5 ENSAIO ACÚSTICO

Os ensaios acústicos foram realizados após a montagem das paredes de concreto com agregados reciclados, como observa-se na Figura 49. A câmara acústica possui no térreo uma Sala Fonte (emissão) e Sala de Recepção (receptora), com volumes de 57,02 m³ e 51,84 m³ respectivamente. A parede de bloco para o ensaio tem área de 9,66 m² e perímetro de 13 m.



Figura 49 - Montagem da Parede com Bloco de Concreto - Agregados de RCD

Fonte: Aatoria Própria (2019).

Para os ensaios de isolamento acústico foram utilizados os seguintes equipamentos e software:

- ✓ Fonte sonora omnidirecional dodecaédrica e acessórios, conforme Figura 50 a 55. DDC-100 é uma fonte sonora omnidirecional de banda larga, construído a partir de 12 alto-falantes dispostos na forma de dodecaedro regular, desenvolvido pela GROM para atender às exigências de espectro e direcionalidade das normas da série ISO 140 e da ABNT NBR 15575 (ABNT, 2013). Os alto-falantes são de alta performance e baixa distorção harmônica, interligados eletricamente em fase. Diâmetro nominal (entre vértices): 330 mm. Peso: 13,2 Kg. Impedância nominal: 5,4 Ω . Sensibilidade (1Vrms @ 1m) – SPL (ruído branco 40Hz – 8kHz): 82 dB. Potência máxima (AES): 720 W. Potência de trabalho com o amplificador Hypex PSC2.400: 300 W RMS. Potência sonora (re 1pW): 109 dB. Nível de entrada no PAA100 igual 0,9Vrms e ajuste de ganho no máximo. Hypex PSC2.400: Amplificador digital de 500W (1,5kg) com equalização.

	DDC-100	Dodecaedro – fonte sonora omnidirecional com potência de 300W.
	PSC2.400	Amplificador digital
	PAA-100	Pré-amplificador de sinal
	CBO-001	Cabo de áudio Speakon Macho – Speakon Macho. Conecta a saída amplificada do PSC2.400 ao DDC-100. Fornecido com 10m de comprimento
	CBO-002	Cabo de força PowerCon-ABNT 14316 de 10A. Fornecido com 5m de comprimento

Figura 50 - Dodecaedro e Acessórios

Fonte: Adaptado de GROM – Manual Dodecaedro (2019).



Figura 51 - Dodecaedro

Fonte: Adaptado de GROM – Manual Dodecaedro (2019).






	CBO-003	Cabo de sinal de áudio P2-P10, para conectar o gerador de sinal ao pré-amplificador. Fornecido com 5m de comprimento
	CBO-004	Cabo XLR Macho - XLR Fêmea, Conecta a saída do pré-amplificador à entrada do PSC2.400. Fornecido com 0,5 m de comprimento
	CUSB	Cabo USB A-B. Para programação do PSC2.400. Fornecido com 1,5m de comprimento
	TRP01-DDC-100	Tripé de alumínio de altura 195 / 105 cm e capacidade de 30 Kg
	CCS03-DDC-100	Case de três volumes

Figura 52 - Dodecaedro e Acessórios

Fonte: Adaptado de GROM – Manual Dodecaedro (2019).



Figura 53 - Amplificador PSC2 - 400

Fonte: Adaptado de GROM – Manual Dodecaedro (2019).



Figura 54 - Dodecaedro e Amplificador

Fonte: Aatoria Própria (2019).



Figura 55 - Esquema de Montagem do Sistema

Fonte: Adaptado de GROM – Manual Dodecaedro (2019).

- ✓ Microfone GRAS 46AZ 1/2" CCP Free-field Standard Microphone Set, Low Frequency. Freq range (± 3 dB): 0.5 Hz to 20 kHz. Dyn range: 17 dB(A) to 138 dB. Sensitivity: 50 mV/Pa. Conforme Figura 56.

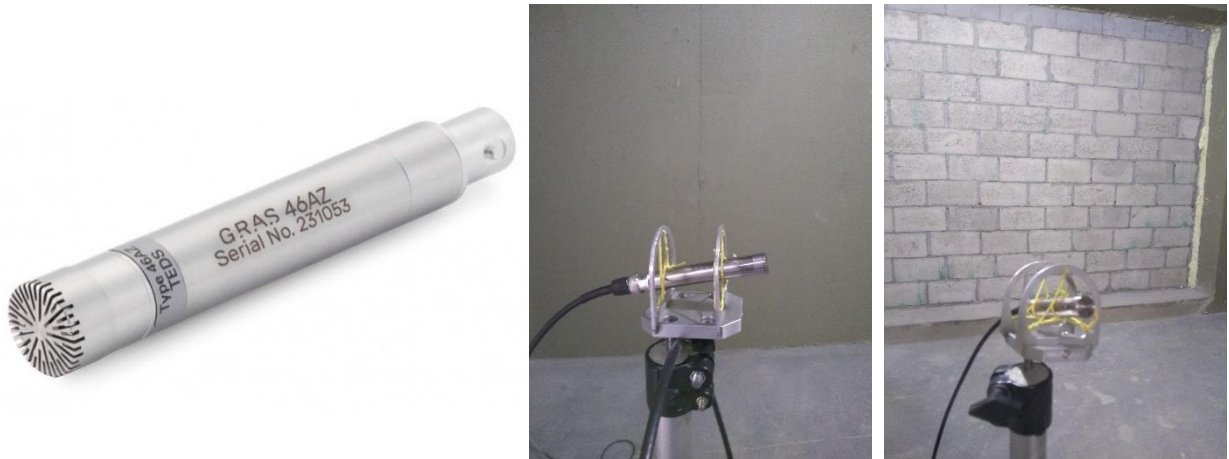


Figura 56 – Microfone GRAS

Fonte: Adaptado de GRAS Sound & Vibration⁴ (2019) e Aatoria Própria⁵ (2019)

- ✓ Medidor de Nível Sonoro Type 2250 LIGHT, conforme Figura 57. Esse analisador de mão é um medidor de nível sonoro de classe 1. Ele vem com o pacote de aplicativos básicos para o Tipo 2250 Light como Software de Medidor de nível sonoro BZ-7130 e um microfone. Observa-se na Figura 58 o esquema de transferência de dados para o software do analisador no computador.



Figura 57 - Analisador - Medidor de Nível Sonoro Type 2250 Light

Fonte: Aatoria Própria (2019).

⁴ Imagem do Microfone a esquerda.

⁵ As duas imagens a direita.

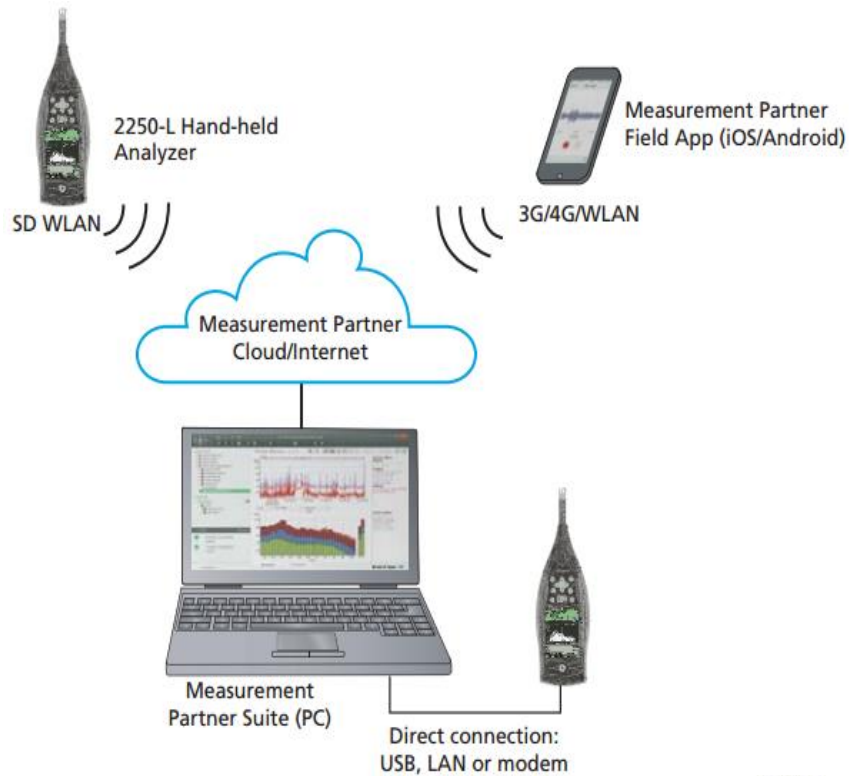


Figura 58 - Esquema de Transferência de Dados do Analisador

Fonte: Adaptado de *Brüel & Kjaer* – Manual Analisador (2019).

- ✓ Na Figura 59 é ilustrado um computador para processamento dos dados registrado pelo microfone e oriundo do dodecaedro, um condicionador de sinal de microfone ao centro e uma interface de áudio a direita.



Figura 59 - Amplificador e Computador para Análise dos Dados

Fonte: Autoria Própria (2019).

Na Figura 60 observa-se um condicionador de sinal para microfone do tipo *GRAS 12AL 1-Channel CCP Power Module with A-weighting filter*. Este instrumento converte um sinal de entrada elétrico ou mecânico, em outro sinal de saída, objetivando amplificar e converter o sinal em uma forma mais precisa e fácil de analisar no programa de processamento no computador que receberá os dados.



Figura 60 - Condicionador de Sinal para Microfone

Fonte: Adaptado de *GRAS Sound & Vibration – Manual Analisador (2019)*.

Já na Figura 61 e 62 é ilustrado um hardware que atua como interface entre a saída de sinal bruto e a unidade de aquisição de dados ou dispositivo de medição, logo essa interface melhora o desempenho e a confiabilidade da cadeia de medição. Descrição: QUAD-CAPTURE interface de áudio usb 2.0.



Figura 61 - Interface de Áudio para Microfone – Vista Frontal

Fonte: Adaptado de Roland (2019).



Figura 62 - Interface de Áudio para Microfone – Vista Posterior

Fonte: Adaptado de Roland (2019).

Software Matlab e ITA Toolbox (Toolbox pro MATLAB) - MATLAB 2014b or newer. Conforme Figura 63, o software faz o tratamento dos dados coletados pelo microfone e pelo analisador de frequência.

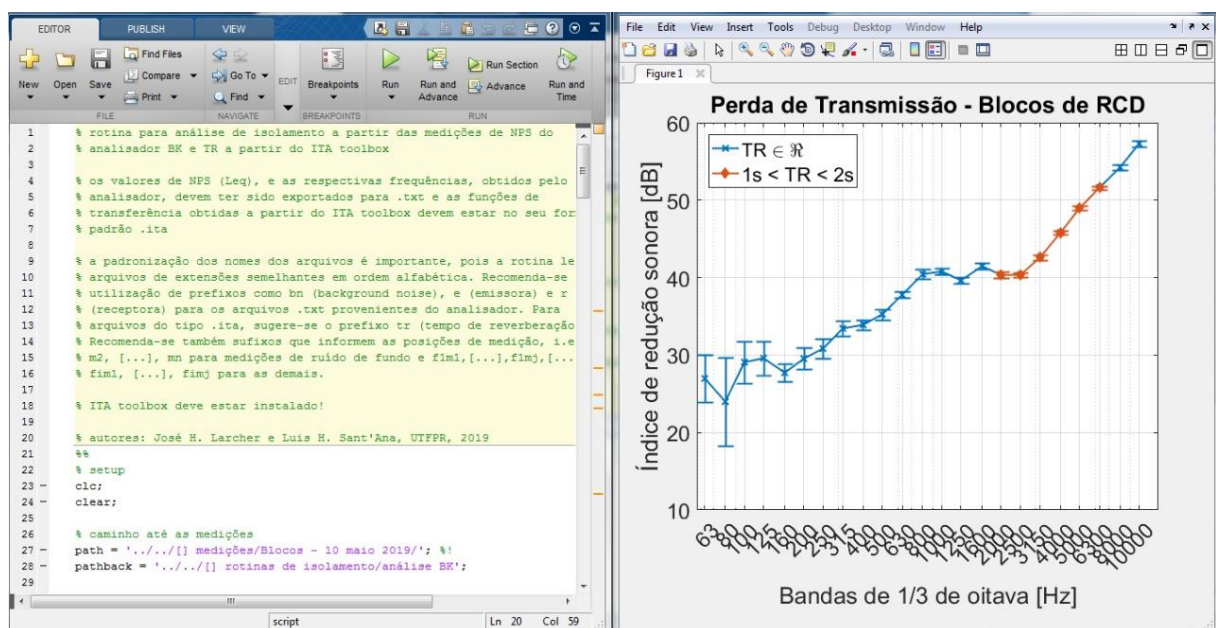


Figura 63 - Software⁶ Utilizado na Modelagem dos Dados do Ensaio

Fonte: Autoria Própria (2019).

⁶ ITA - *Institute of Technical Acoustics* (2019).

3.5.1 Metodologia do Ensaio

A metodologia do ensaio de isolamento acústico da parede de bloco de concreto baseia-se na *International Organization for Standardization – ISO 10140*. Todavia as partes principais da ISO que trata do assunto são a dois, quatro e cinco, conforme Quadro 4. Na Figura 64 observa-se as etapas de medição do ruído de fundo e do tempo de reverberação que antecedem ao ensaio de medição do isolamento acústico provocado pela presença da parede de blocos de concreto que separam as salas de emissão e de recepção da câmara acústica, as definições são com base em Sprorowski et al. (2018).

ISO 10140-2 (2010)	Dá um procedimento completo para medições de isolamento de som no ar de acordo com a norma ISO 10140-4 e ISO 10140-5. Para produtos sem regras de aplicação específicos, é suficientemente completa e geral para a execução das medidas. No entanto, para produtos com regras específicas da aplicação, as medidas são levadas a cabo de acordo com a norma ISO 10140-1, se disponível.
ISO 10140-4 (2010)	Dá todas as técnicas de medição de base e processos para a medição de acordo com a norma ISO 10140-2 e ISO 10140-3 ou qualificações instalação, de acordo com a norma ISO 10140-5. Grande parte do conteúdo é implementado em software.
ISO 10140-5 (2014)	Ele especifica todas as informações necessárias para projetar, construir e qualificar as instalações de laboratório, seus acessórios adicionais e equipamentos de medição (hardware).

Quadro 4 - Principais Objetivos, Conteúdo e Uso da ISO 10140

Fonte: Adaptado de ISO 10140 – 2 (2010).



Aquisição do Ruído de Fundo: trata-se do ruído externo à câmara, mas que apresenta-se no interior dela devido falhas de vedação. É utilizado como base para definir a potência sonora transmitida pelo dodecaedro (fonte) no que tange ao cálculo do tempo de reverberação.



Cálculo do Tempo de Reverberação: definido como o tempo em segundos necessário para redução da pressão sonora emitido pela fonte em 60dB depois que é interrompido a emissão de ruído na fonte. Ele é importante pois reflete no tempo em que o som apresenta-se audível em um determinado local.



Cálculo do Isolamento Acústico da Parede: compreendido como a capacidade que os blocos de concreto tem para bloquear o som oriundo da fonte, quando comparado diferentes ambientes (câmara de emissão e recepção).

Figura 64 - Etapas do Ensaio de Medição do Isolamento Acústico

Fonte: Imagens de Autoria Própria (2019).

Na Figura 65 observa-se o mapeamento dos pontos de coleta de dados no ensaio de isolamento acústico da parede dos blocos de concreto.

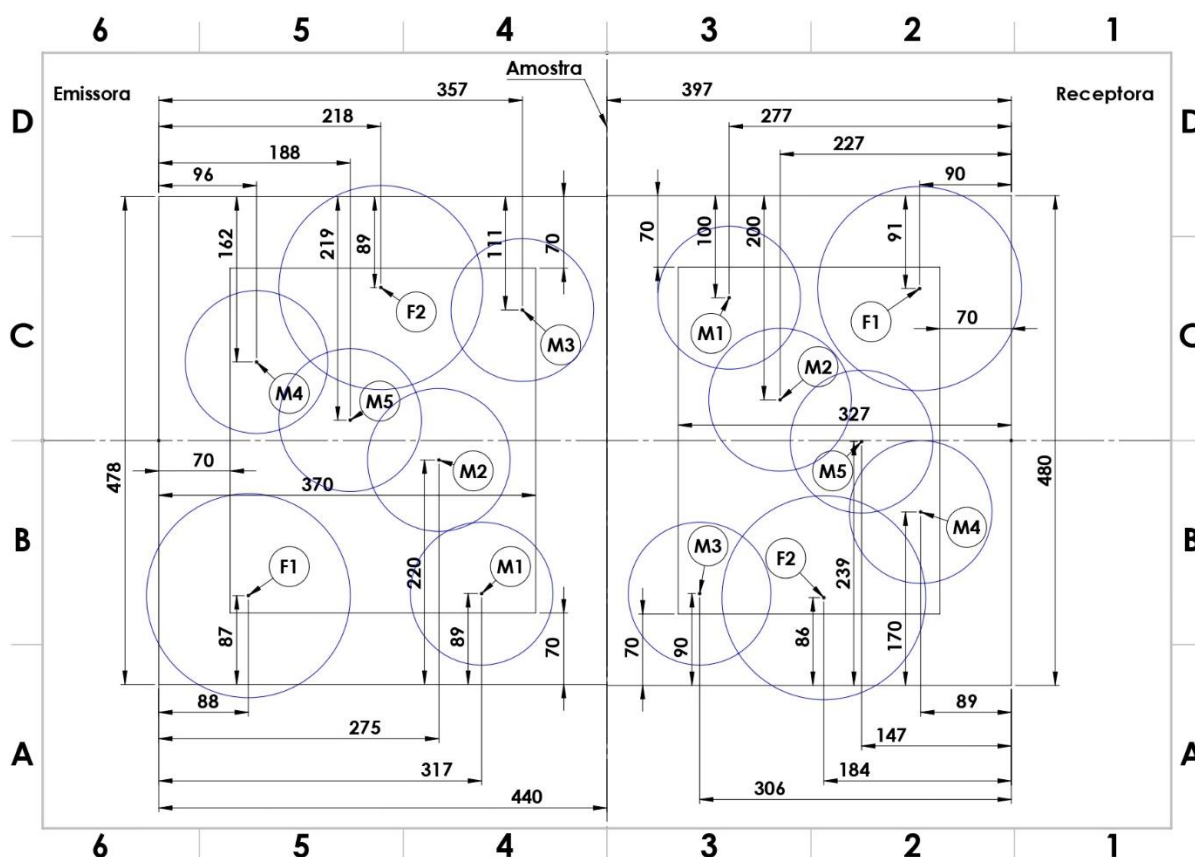


Figura 65 - Mapeamento dos Pontos de Coleta de Dados do Ensaio Acústico

Fonte: Autoria Própria (2019).

É ilustrado no mapeamento dos pontos duas salas: a emissora e a receptora. Observa-se também coordenadas de posicionamento (A, B, C e D no eixo das ordenadas e 1 a 6 no eixo das abcissas) para adequar o ensaio conforme a ISO 10140, além de abreviaturas como por exemplo, M1 e F1 que significam respectivamente local de posicionamento do analisador (inclui também local para posicionar o microfone) e do dodecaedro.

O procedimento de ensaio consiste nos seguintes passos:

1. Posicionou-se o analisador no ponto M1, mantendo todas as portas da câmara reverberante fechadas, procedeu-se com a medição do ruído de fundo. Foram feitas 5 medições de 15s com o analisador no ponto M1.
2. Repetiu-se o mesmo procedimento do passo anterior, para os pontos M2, M3, M4 e M5 na sala receptora.

3. Os passos 1 e 2 foram repetidos na sala emissora. O local de utilização do analisador até este passo foi em ambas as salas.
4. Novamente foi executado o passo 1 e 2, contudo ao invés de colocar o analisador, este foi substituído pelo microfone que foi posicionado na sala receptora. Na mesma sala receptora foi posto o dodecaedro (fonte de ruído branco, sendo este um sinal acústico aleatório com intensidade igual em diferentes frequências) na posição F1. O sinal de ruído branco foi transmitido ao dodecaedro pelo celular, onde este ficou fora da sala emissora, mas transmitindo o sinal pelos cabos de conexão conforme Figuras 50, 52, 55 e 64. Com o dodecaedro na posição F1 da sala receptora e o microfone registrando 5 vezes de 15s a emissão do ruído na posição M1 da mesma sala, os dados foram registrados no programa ITA conforme Figura 56, 59, 63 e 64. Em sequência foi transferido o microfone para as posições M2, M3, M4 e M5, mantendo o dodecaedro ainda no ponto F1 e registrando em cada ponto 5 medições de 15s cada.
5. Posteriormente com o dodecaedro no ponto F2 e posicionando o microfone novamente no ponto M1, M2, M3, M4 e M5, ainda na sala receptora e efetuando as medições cinco vezes de 15s cada. Assim finalizou o registro das emissões de ruído do dodecaedro nas posições F1 e F2, e alterando as posições do microfone com o objetivo de encontrar o tempo de reverberação gerado e divulgado a partir do programa ITA. O local de utilização do microfone foi somente na sala receptora.
6. Para a análise do isolamento da parede repetiu-se os passos 4 e 5, porém substituindo o microfone pelo analisador. O analisador foi posto na sala receptora e o dodecaedro também, e efetuado os registros.
7. Após o passo 6, o dodecaedro foi transferido para a sala de emissão e repetido o passo 6, com o dodecaedro nas posições F1 e F2 na sala de emissão. O analisador permaneceu na sala receptora e alternando a posição de M1 a M5.
8. Concluído o passo 7, foi a vez do analisador ser transferido para a sala de emissão repetindo o que foi realizado no passo 7. Ficando os dois instrumentos na mesma sala, contudo mudando apenas as posições.

É importante frisar que o programa ITA usa os dados registrado no microfone na sala receptora, os dados do analisador referente ao ruído de fundo encontrados nos

passos 1 a 3, e os registros do analisador referente aos passos 6 a 8, e gerando os gráficos e tabelas com as frequências e as diferenças padronizadas de nível (dB). Para melhor entendimento nas Figuras 66 a 75 é ilustrado o que ocorre no passo sete, pois é nessa etapa que ocorre definitivamente a coleta do isolamento acústico da parede de blocos de concreto.

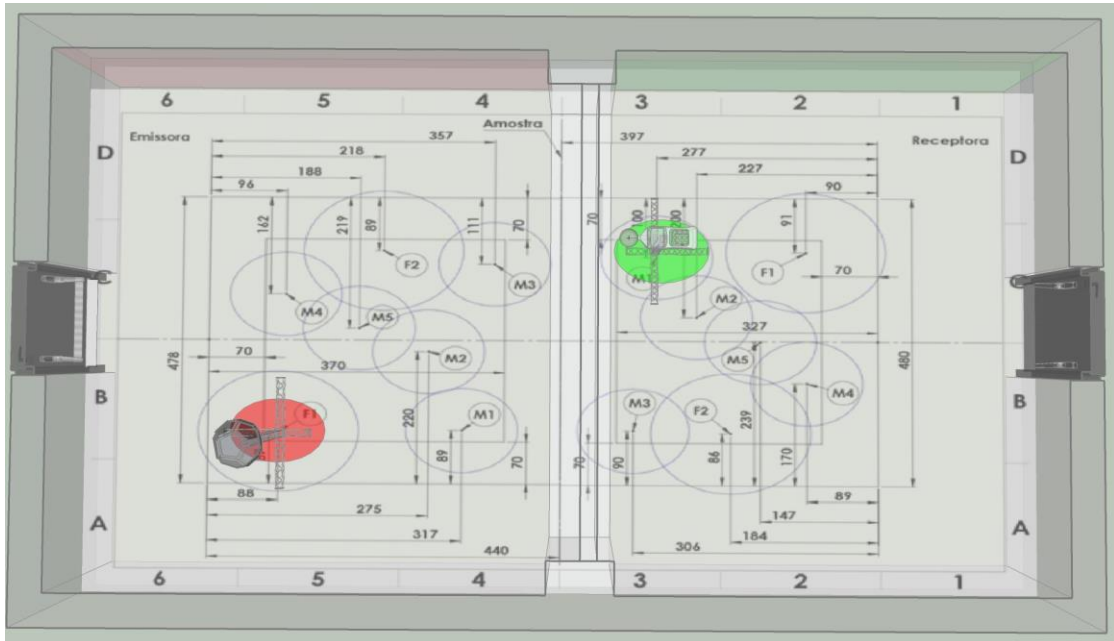


Figura 66 – Dodecaedro na posição F1 (emissão) e o analisador na posição M1 (recepção)

Fonte: Autoria Própria (2019).

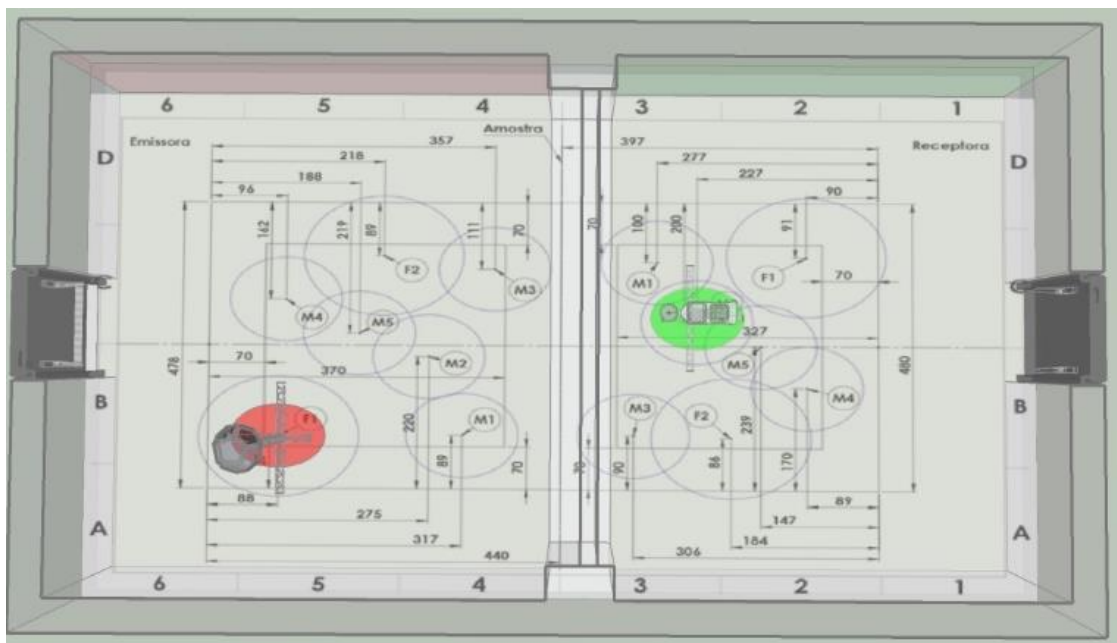


Figura 67 – Dodecaedro na posição F1 (emissão) e o analisador na posição M2 (recepção)

Fonte: Autoria Própria (2019).

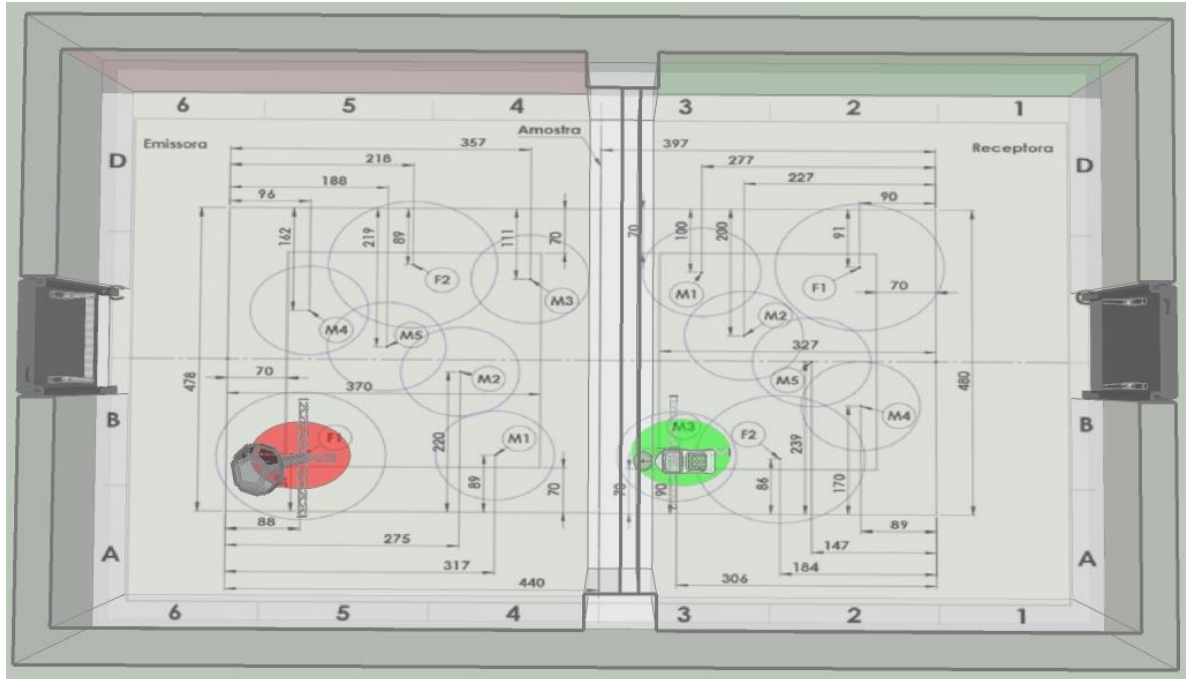


Figura 68 – Dodecaedro na posição F1 (emissão) e o analisador na posição M3 (recepção)

Fonte: Autoria Própria (2019).

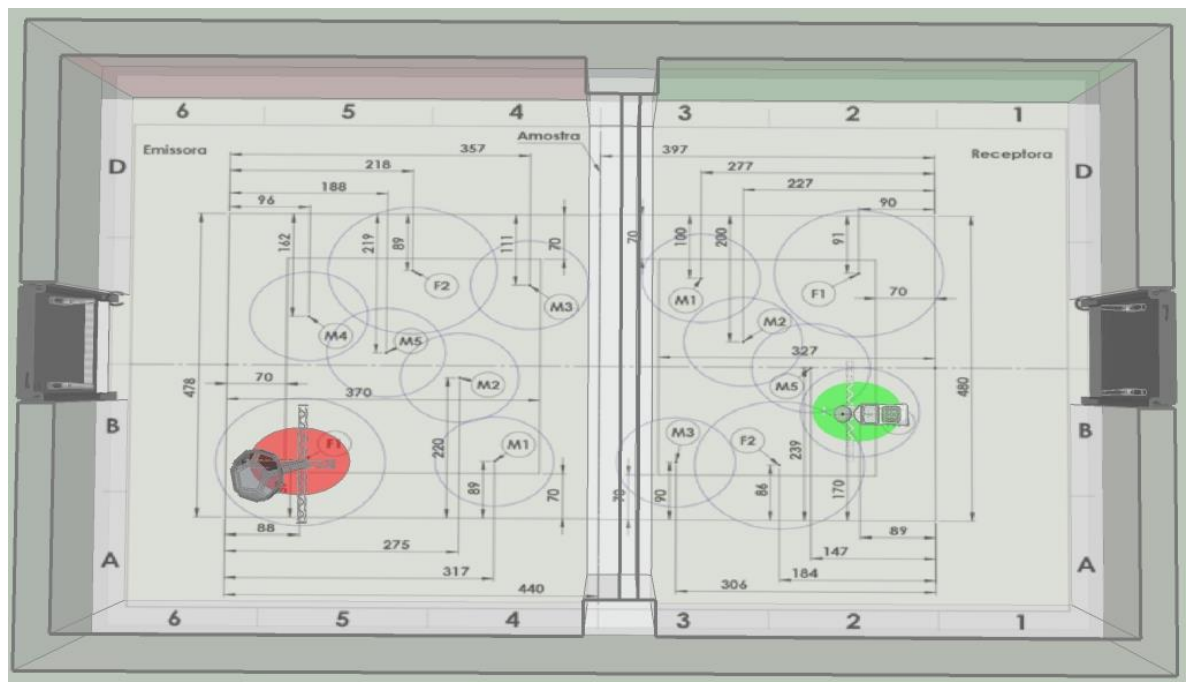


Figura 69 – Dodecaedro na posição F1 (emissão) e o analisador na posição M4 (recepção)

Fonte: Autoria Própria (2019).

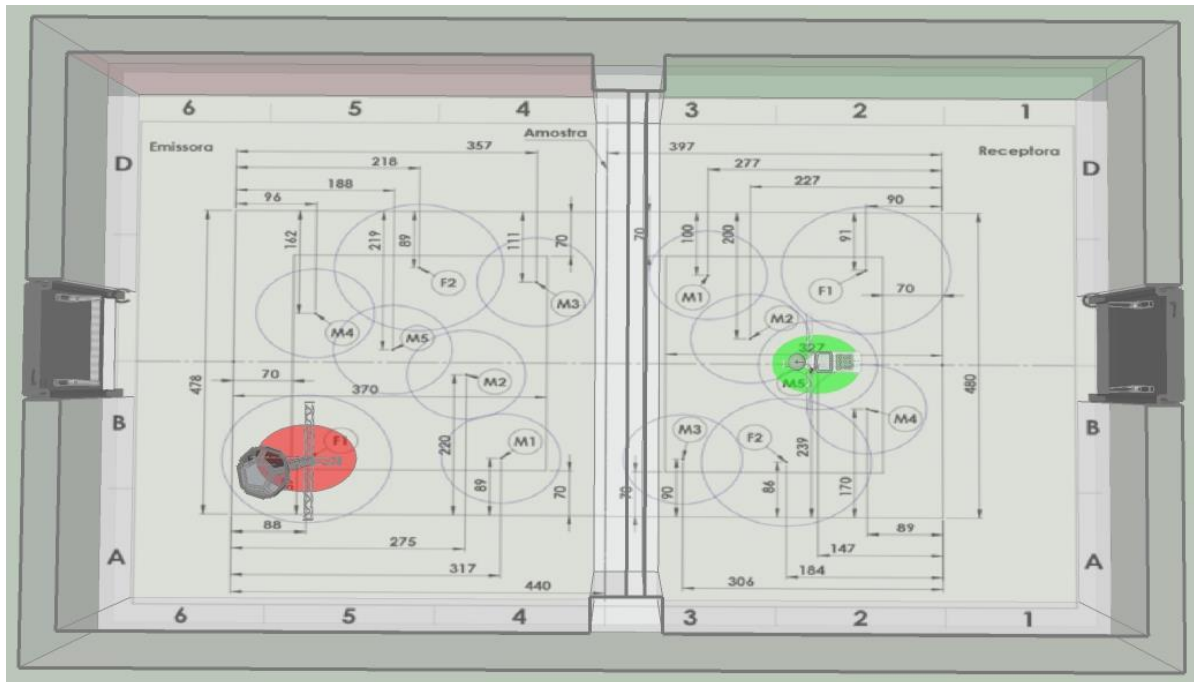


Figura 70 – Dodecaedro na posição F1 (emissão) e o analisador na posição M5 (recepção)

Fonte: Autoria Própria (2019).

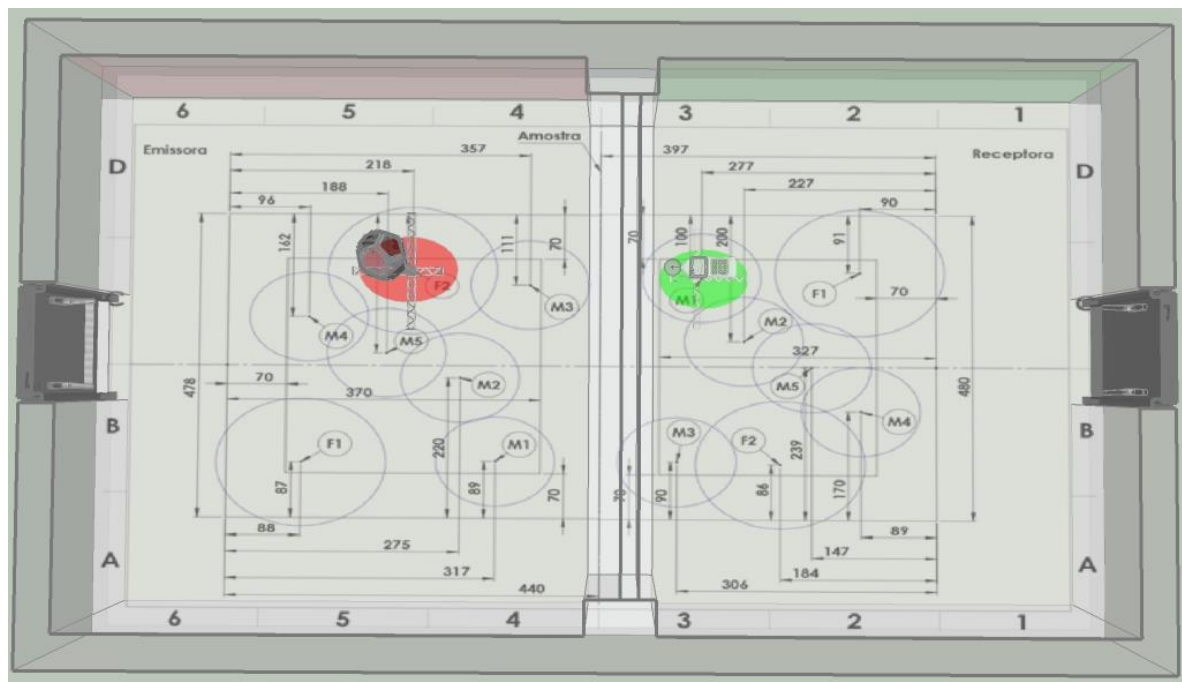


Figura 71 – Dodecaedro na posição F2 (emissão) e o analisador na posição M1 (recepção)

Fonte: Autoria Própria (2019).

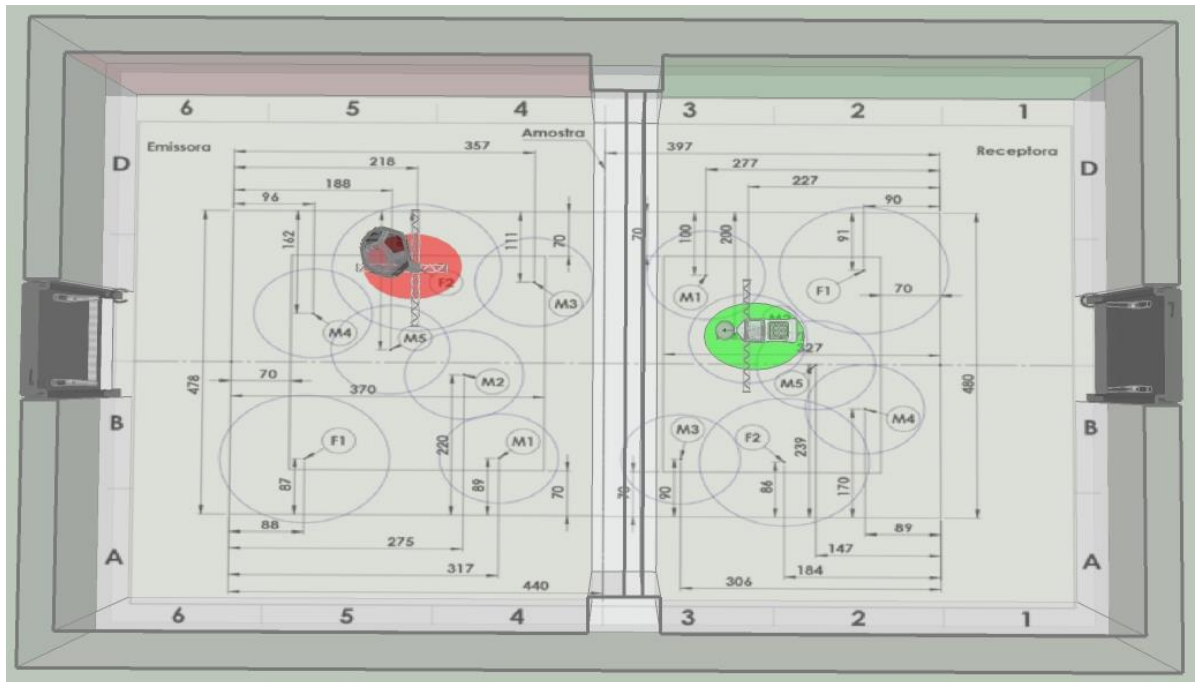


Figura 72 – Dodecaedro na posição F2 (emissão) e o analisador na posição M2 (recepção)

Fonte: Autoria Própria (2019).

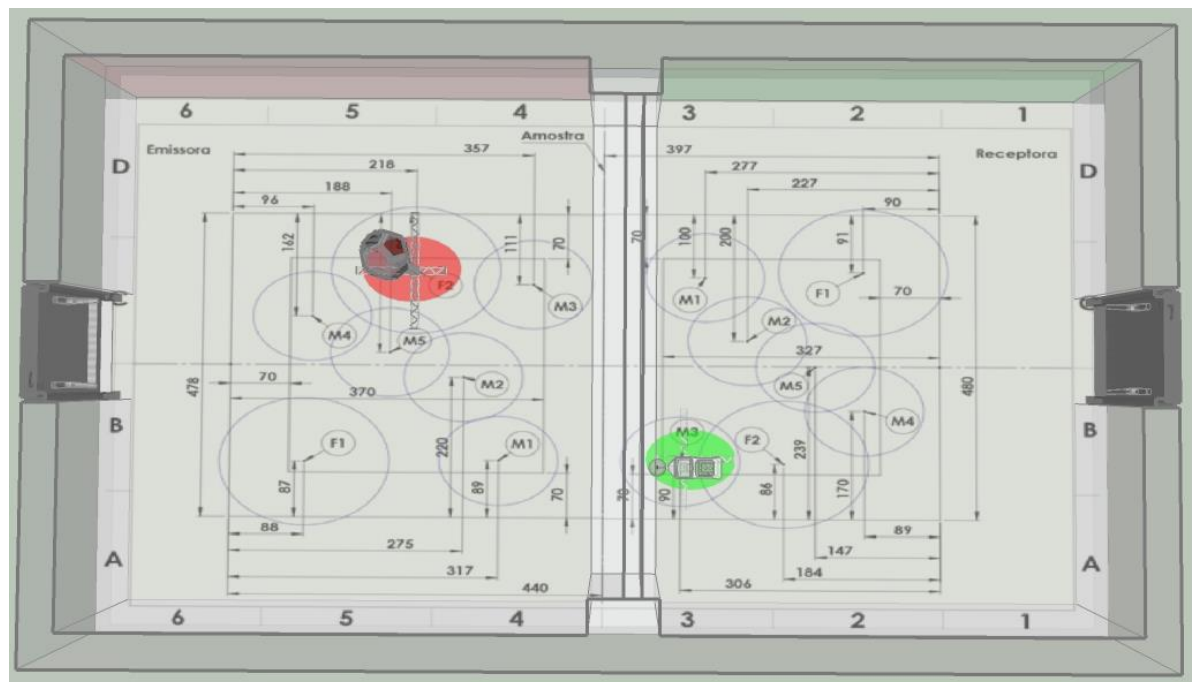


Figura 73 – Dodecaedro na posição F2 (emissão) e o analisador na posição M3 (recepção)

Fonte: Autoria Própria (2019).

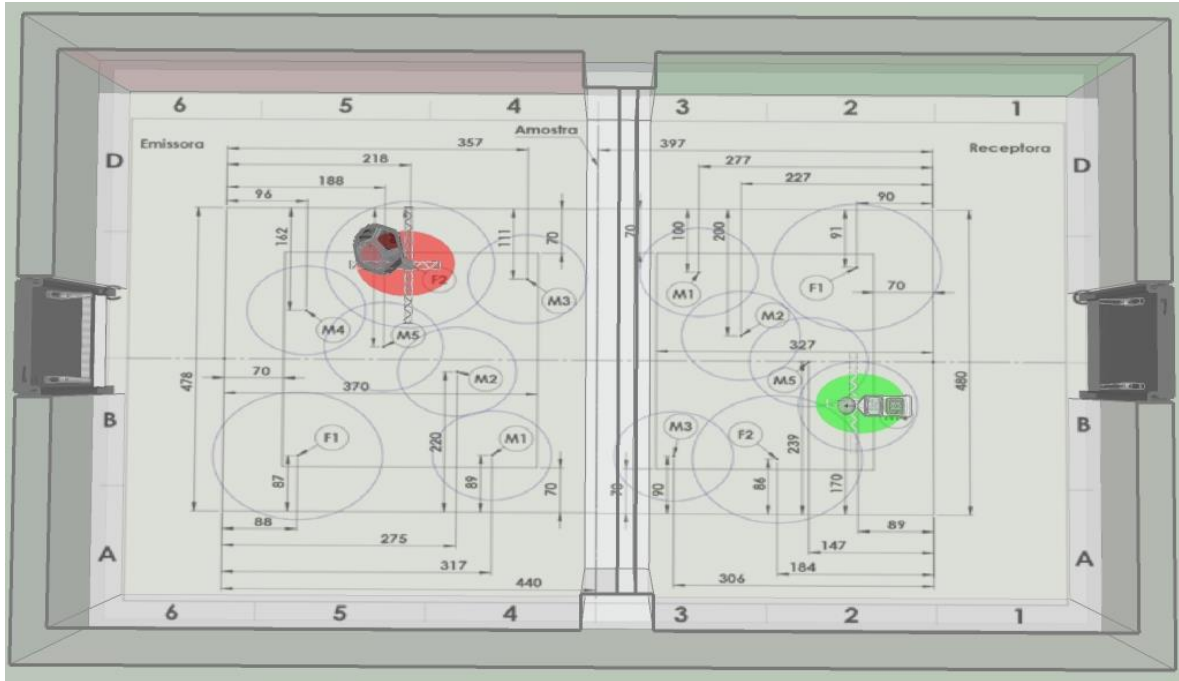


Figura 74 – Dodecaedro na posição F2 (emissão) e o analisador na posição M4 (recepção)

Fonte: Autoria Própria (2019).

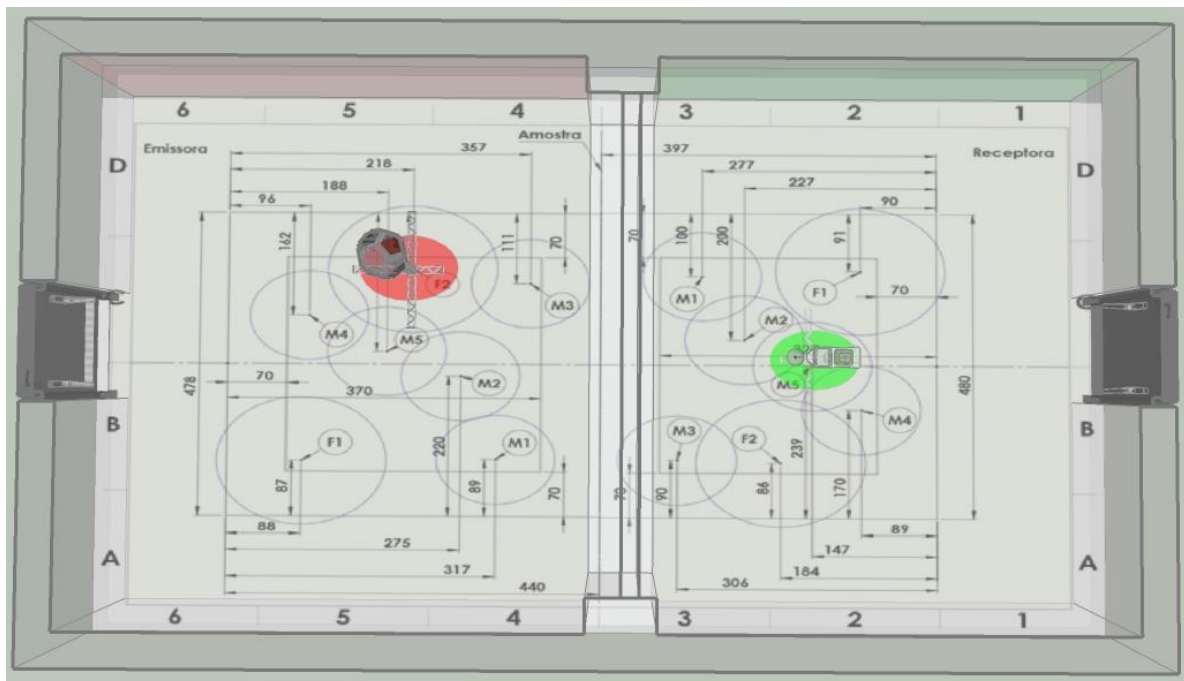


Figura 75 – Dodecaedro na posição F2 (emissão) e o analisador na posição M5 (recepção)

Fonte: Autoria Própria (2019).

Na Figura 76 observa-se a síntese do que foi descrito nos passos supracitados, o analisador sempre ficará posicionado nos pontos M, e a fonte de ruído, ou seja, o dodecaedro nos pontos F, na última coluna a direita entende-se que o analisador ficou na sala receptora mudando de posição e o dodecaedro na sala emissora onde mudou duas vezes de posição, nesta coluna é mostrado o ensaio de isolamento propriamente dito, tendo em vista que ambos os instrumentos ficam separados pela parede de blocos de concreto. O plano de execução do ensaio descrito na Figura 76 ocorre da direita para a esquerda.

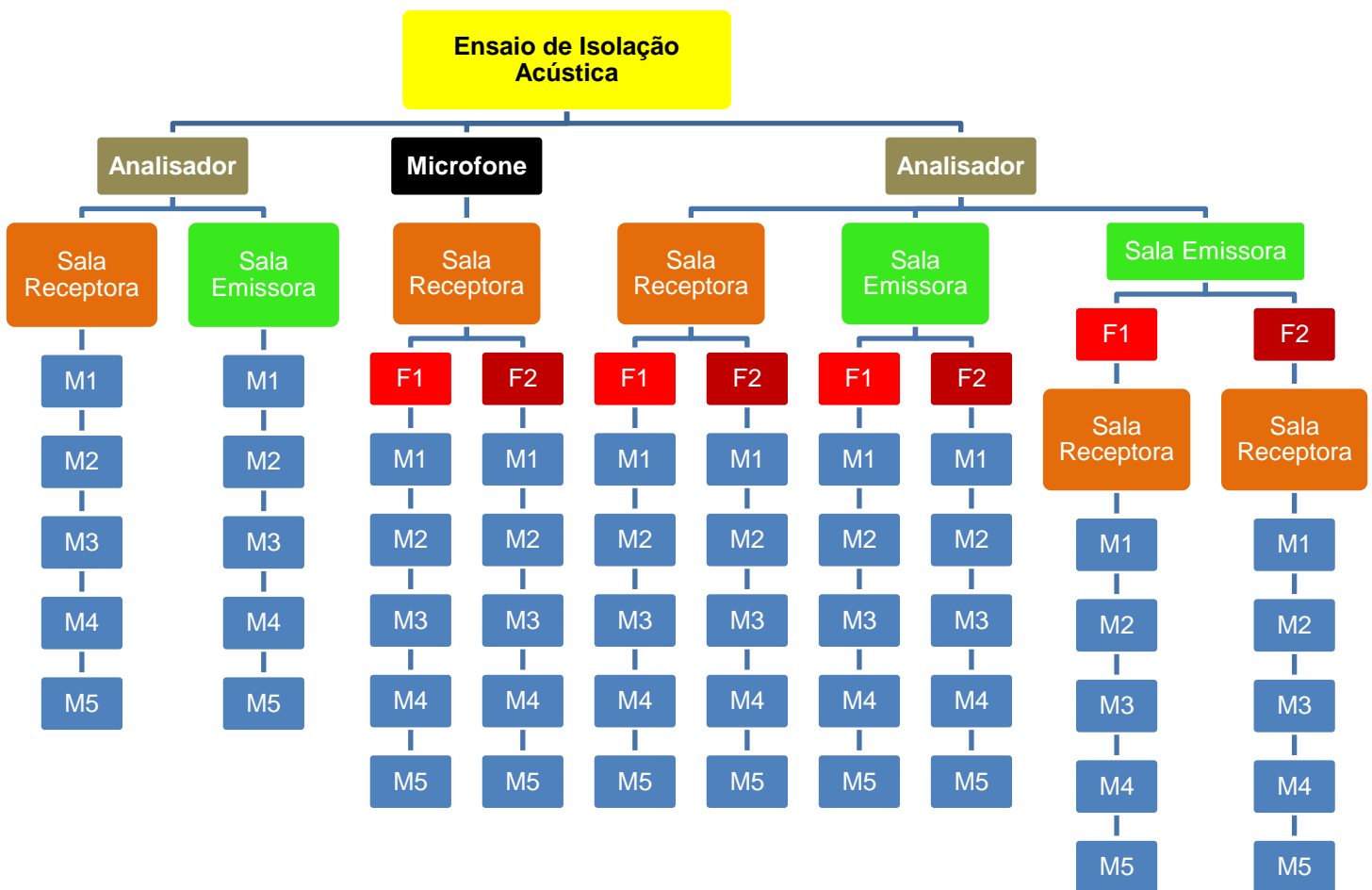


Figura 76 - Síntese Gráfica das Etapas do Ensaio Acústico

Fonte: Autoria Própria (2019).

4 RESULTADOS

Com base nas análises de caracterização dos blocos quanto a resistência à compressão axial, absorção, e inclusive a mais importante que compreende aos ensaios acústicos na câmara reverberante no que se refere a isolamento de fontes sonoras, estimou-se por meio de ensaios padronizados o desempenho de blocos de concretos produzidos com agregado de resíduo da construção e demolição, na atenuação de ruídos oriundos de uma fonte padrão em diferentes frequência, com isso analisando os níveis de pressão sonora equivalente atenuada entre o ambiente onde esteve a fonte e o receptor de ruído.

Neste tópico estão apresentados os resultados e discussões a respeito de todo o estudo experimental realizado durante a pesquisa com base nos objetivos propostos.

4.1 DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS

4.1.1 Distribuição Granulométrica Agregado Miúdo de RCD

Na Figura 77 destaca-se a curva granulométrica da areia de resíduo de construção e demolição. Além dos procedimentos para execução do ensaio disposto na ABNT NM 248/2003 conforme Quadro 3, devem ser atendidas de forma complementar as recomendações da ABNT NBR 7211 (ABNT, 2009) que trata dos requisitos exigíveis para recepção e produção dos agregados miúdos e graúdos destinados à produção de concretos de cimento Portland. Todavia a norma mais importante no que se refere aos agregados reciclados e da qual deve ser seguido os critérios para melhor utilização dos resíduos é a ABNT NBR 15116 (ABNT, 2004) - Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil – Utilização em Pavimentação e Preparo de Concreto sem Função Estrutural – Requisitos.

Observa-se que o agregado miúdo atende todas as exigências das normas supracitadas, de acordo com a Tabela 5 e com a Figura 77. Ela é mais predominante entre os limites superiores ótimo e utilizável. Como apresentado na curva granulométrica, a areia apresenta bastante material fino, o que torna o agregado com uma elevada absorção de água devido sua maior área de contato, e por esse fato no seu item 7.2.3 da ABNT NBR 15116 (ABNT, 2004), ela recomenda uma pré-molhagem dos agregados, contribuindo para que a relação de água cimento torna-se maior.

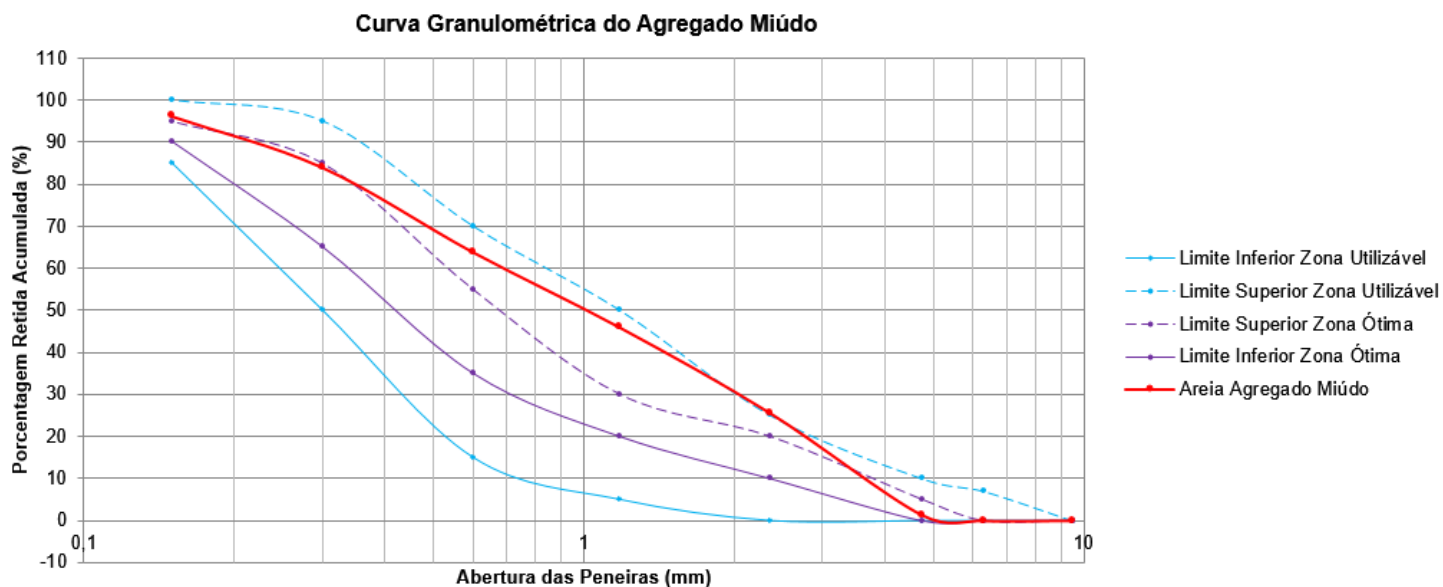


Figura 77 - Distribuição Granulométrica do Agregado Miúdo de RCD

Fonte: Autoria Própria (2019).

Ainda com referência a curva granulométrica da areia no que tange a quantidade de finos do material, esse teor impacta na mistura do concreto, e gera um efeito em cadeia em todo o traço. Além de requerer mais água, exige também mais cimento para a produção do concreto com a finalidade de atender aos critérios de resistências à compressão axial. Outro efeito observado no ato da moldagem dos blocos de concreto se refere ao menor tempo disponível para moldar os blocos haja vista que o concreto endurece muito rápido, inclusive interferindo na trabalhabilidade do concreto.

A partir do agregado miúdo obteve-se um módulo de finura de 3,17 e uma dimensão máxima característica de 4,75mm. Massa específica encontrada foi de 2,53 g/cm³, e uma absorção de água contabilizada em 16%, o que ficou um pouco acima do recomendado de 12%.

4.1.2 Distribuição Granulométrica Agregado Graúdo de RCD

Com referência a Figura 78 que apresenta a curva granulométrica do agregado graúdo de RCD este também atende os dispostos nas normas supracitadas da seção 4.1.1, na Tabela 5 e no Quadro 3, exceto no que se refere a porcentagem retida acumulada de 27% o que ficou 7 % acima do recomendado pela ABNT NBR 7211 (ABNT, 2009) e devido a esse fato foi necessário realizar ajustes na composição do traço, de forma que não comprometesse a qualidade do concreto. O agregado graúdo, ou seja, o pedrisco se enquadrou como brita 0.

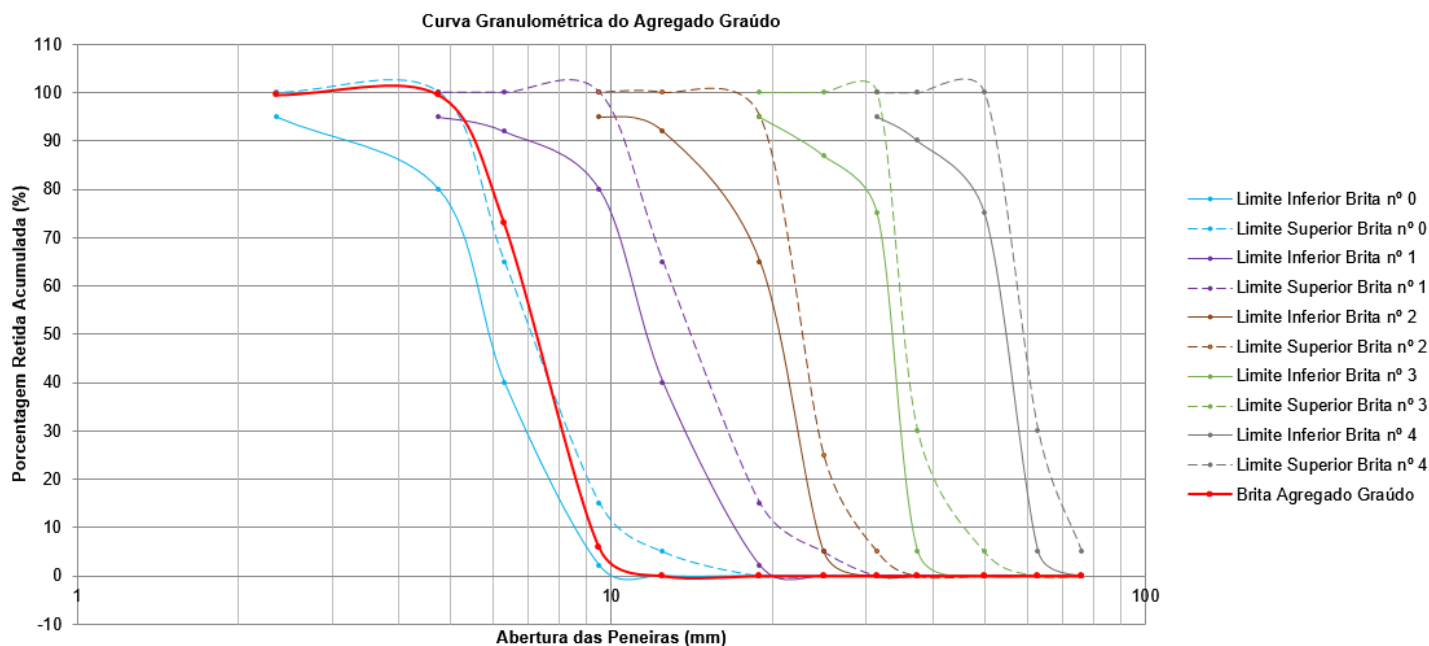


Figura 78 - Distribuição Granulométrica do Agregado Graúdo de RCD

Fonte: Autoria Própria (2019).

O fato de o agregado graúdo gerar uma porcentagem significativa de materiais finos se dá devido a adesão de partículas mais finas na superfície dele, e a causa dessa ligação dos finos ocorre pelo estoque se encontrar exposto a sol e chuva e pela alta concentração de material cimentício na composição do resíduo.

Todavia quando o agregado graúdo é submetido a movimentação com atrito a ponte de ligação entre as partículas mais finas e o pedrisco se rompe gerando mais materiais finos, esse mesmo fato ocorre na areia de resíduo.

Esse fenômeno de desagregação é mais recorrente no ato da mistura dos componentes do concreto na betoneira. Desta forma é preciso levar essa ocorrência em consideração na etapa de definir o traço do concreto no que se refere ao empacotamento das partículas, ou seja, para que não haja uma quantidade de finos elevada e uma quantidade de pedrisco baixa o que tornaria o concreto com uma resistência menor e uma maior absorção de água.

O agregado graúdo forneceu um módulo de finura de 6,02 e uma dimensão máxima característica de 12,5mm. Massa específica encontrada foi de 2,65 g/cm³, e uma absorção de água contabilizada em 10%, o que também ficou um pouco acima do recomendado de 7%. Os teores de material pulverulentos tanto da areia quanto do pedrisco se enquadraram dentro do exposto na Tabela 5.

4.2 ENSAIOS DE AMOSTRAS

4.2.1 Corpos de Prova de Amostras Preliminares e Definitivas

Para a produção de blocos de concreto na vibro prensa é necessário fazer uma série de testes preliminares objetivando obter uma composição mais adequada possível e que possa atender aos dispostos em normas. Esses ensaios foram feitos com base em corpos de prova de 10x20cm e posteriormente em blocos moldados na vibro prensa seguindo as recomendações das normas descritas no Quadro 5.

Norma Mercosul NM 101/1996	Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos
Norma Mercosul NM 77/1996	Concreto - Preparação das bases dos corpos de prova e testemunhos cilíndricos para ensaio de compressão
ABNT NBR 5738/2016	Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova
ABNT NBR 16522/2016	Alvenaria de blocos de concreto — Métodos de Ensaios
ABNT NBR 12118/2014	Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Métodos de ensaio

Quadro 5 - Normas para Ensaios de Corpos de Prova

Fonte: Autoria Própria (2019).

Observa-se na Tabela 6 vários traços ensaiados em corpos de prova, contudo o que se mostrou mais viável e o qual foi utilizado para produzir os blocos finais para serem instalados na câmara reverberante foi o D, destacado em negrito. No traço D significa da esquerda para direita quantidades proporcionais de cimento, areia, pedrisco e água. Lembrando que houve uma pré-molhagem conforme disposto na seção 4.1.1 por isso a relação água cimento ficou em 0,63 atendendo ao recomendado pela ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014).

Tabela 6 - Traços do Concreto para Produção dos Blocos

Tipo	Traço	Tipo	Traço	Tipo	Traço
A	1:5:4:0,55	E	1:4:5,5:1,25	I	1:7:1,58:0,4
B	1:3,5:1,5:1,31	F	1:2:3:0,65	J	1:3,48:3,96:0,5
C	1:5,38:2,57:0,63	G	1:2,5:3,5:0,4:	K	1:5:4:1
D	1:3,5:1,5:0,63	H	1:4:2:0,4		

Fonte: Autoria Própria (2019).

4.2.2 Corpos de Prova de Amostras de Blocos de Concreto

Nos testes de resistência à compressão axial, os blocos de concreto de RCD com as dimensões 14x19x39cm atingiram uma média de 3,05 MPa o que o torna adequado para utilização como bloco de vedação, sendo esta a finalidade do estudo, com peso médio de 11,85 kg, massa específica média de 2.018,84 kg/m³, e taxa de absorção de 14,49%. Todos esses resultados atendem a norma ABNT NBR 6136 (ABNT, 2016).

4.3 ISOLAÇÃO ACÚSTICA EM PAREDE DE BLOCOS DE CONCRETO

Na Figura 79 observa-se o desempenho acústico do bloco de concreto com RCD. O isolamento de ruído, fornecido por paredes é apenas uma maneira de atenuar a transmissão de energia sonora de um ambiente para outro. Os testes foram realizados com base em ruído branco nas frequências de 100 Hz a 8.000 Hz em bandas de 1/3 de oitava, de acordo com o disposto na seção 3.5.1 que referênciam as normas no Quadro 4. Os níveis de ruído branco foram medidos em decibéis (dB) com o analisador operando no circuito sem ponderação em frequência linear com resposta lenta (SLOW).

A norma ISO 10140-5 (2010) estabelece que o tempo de reverberação deve ficar entre 1 e 2s a partir da frequência de 100Hz, o que não foi observado nas medições, conforme mostra a Figura 79. Percebe-se, ainda, que tal condição ocorre nas frequências de 2000Hz a 6300Hz, apenas. A correção, nesse caso, seria por meio da inclusão de difusores ou modificações nas salas. Serão utilizados os valores medidos, mesmo estando fora dos padrões da norma internacional citada. Outro fator significativo na adoção do intervalo de frequência se dá devido a audição humana captar apenas frequências entre 20 a 20.000 Hz.

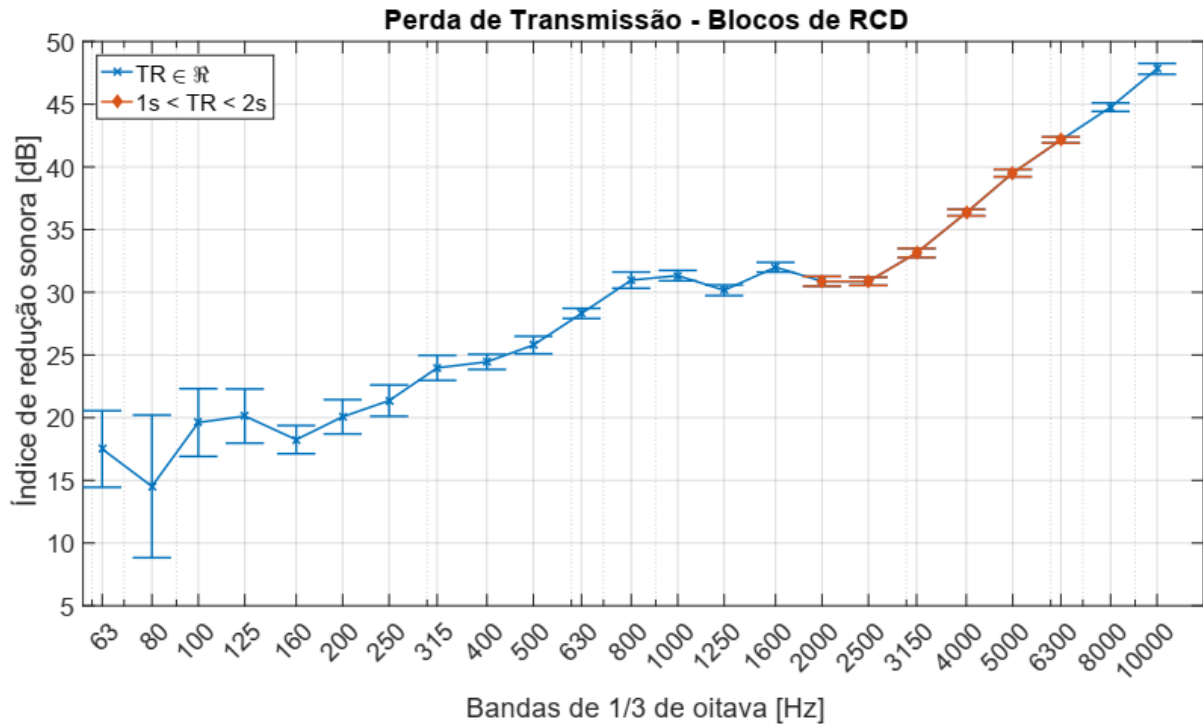


Figura 79 - Perda de Transmissão nos Blocos de Concreto com RCD

Fonte: Autoria Própria (2019).

O índice de redução sonora em decibéis (dB), pode ser entendido como a diferença entre a densidade de energia sonora que incide sobre a parede de blocos de concreto e a parcela transmitida para o outro lado do anteparo, ou seja, a parede de blocos.

Em suma, quando a fonte emissora de ruído (dodecaedro) emite as ondas sonoras, estas chocam-se sobre o anteparo, onde é definida como energia sonora incidente, e dela é gerado uma parcela que ao tocar na parede reflete e propaga-se no interior da sala emissora. Outra parte é absorvida pelo material que compõe a parede, no caso os blocos de concreto e em seguida a terceira e última parcela é dita como transmitida, à qual chega até o outro compartimento da câmara reverberante onde serão registrados os dados no analisador. Por outro lado, é justamente nesse momento que o nível de pressão sonora desse último compartimento terá um registro menor de pressão sonora em comparação com a sala fonte de geração de ruído, com base nessa sequência é então definido o nível de isolamento do anteparo compreendido como a diferença entre os níveis de ruído.

Além disso outras variáveis são computadas a fim de corrigir possíveis imperfeições e desta forma que se justifica efetuar todas as análises preliminares, a saber: registro de ruído de fundo, tempo de reverberação, entre outros aspectos espaciais da câmara como dimensões e volumes e todos esses dados são inseridos no programa ITA que por sua vez gera os resultados almejados.

Frisa-se ainda que os procedimentos de ensaio, métodos de cálculos e equações para geração dos resultados podem ser consultados nas normas ISO 10140 descrita no Quadro 4 na seção 3.5.1, na ABNT 15.575-4, entre outras citadas ao longo do trabalho e descritas na seção de referências.

Falar em adequação, ou melhor, em atendimento aos parâmetros acústicos da norma ABNT NBR 15575-4 (ABNT, 2013) é algo que dependerá do que se deseja averiguar, tendo em vista que o índice de redução sonora varia de acordo com a frequência do ruído emitido, além do tipo de elemento construtivo entre outros parâmetros.

O índice de redução sonora ponderado (R_w) é um número único que retrata a isolamento de uma vedação vertical medida em uma câmara reverberante. O valor é determinado com o deslocamento de uma curva padrão de 1dB em 1dB sobre o a curva de valores medidos para os índices de reduções sonoras. O deslocamento é realizado até que a soma dos desvios desfavoráveis seja máxima, porém inferior à 32dB. Após isso, o valor de R_w é o valor da curva deslocada à 500Hz. Todo o processo é descrito pela norma ISO 717-1:2013.

A Tabela 7 apresenta o índice de redução sonora ponderado (R_w) no que tange aos níveis de desempenho em componentes de fachada para ensaio em laboratório.

Tabela 7 - Índice de Redução Sonora Ponderado, R_w , de Fachadas

Classe de Ruído	Localização da Habitação	R_w dB ^a	Nível de Desempenho
I	1.Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	≥25	M
		≥30	I
		≥35	S
II	2.Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥30	M
		≥35	I
		≥40	S
III	3.Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	≥35	M
		≥40	I
		≥45	S

NOTA Os valores de desempenho de isolamento acústico medidos no campo ($D_{nT,w}$ e $D_{2m,nT,w}$) tipicamente são inferiores aos obtidos em laboratório (R_w). A diferença entres estes resultados depende das condições de contorno e execução dos sistemas (ver ISO 15712 e EN 12354).

^a R_w com valores aproximados

M (Mínimo) – I (Intermediário) – S (Superior).

Fonte: Adaptado ABNT NBR 15.575 – 4 Anexo F (ABNT, 2013).

A Tabela 8 sintetiza o desempenho dos blocos de concreto com RCD e informa se eles atendem ou não aos requisitos mínimos recomendados por norma. São apresentados valores de referência, considerando ensaios realizados em laboratório em componentes, elementos e sistemas construtivos utilizados para fachadas. Observa-se que os blocos tiveram um bom desempenho, comprovando assim que realmente em baixas frequências os níveis de isolamento sonora são menores.

Tabela 8 - Síntese da Análise do Atendimento aos Requisitos Mínimo

Freq.	RCD	Nível de Desempenho			
		R _w (dB)	1	2	3
(Hz)	R (dB)				
100	19,68				
125	20,25				
160	18,19				
200	20,09				
250	21,35				
315	23,98				
400	24,40				
500	25,79				
630	28,32				
800	30,97	30	I	M	Não
1000	31,34				
1250	30,16				
1600	32,01				
2000	30,88				
2500	30,87				
3150	33,14				
4000	36,36				
5000	39,51				
6300	42,16				
8000	44,77				

RCD = Bloco de concreto com agregados reciclados

Freq. = Frequências

M = Atende ao mínimo, I = Atende ao intermediário &

Não = Não atende ao mínimo com referência à Tabela 8

Fonte: Autoria Própria (2019).

A Figura 80 que segue traz os resultados de reduções sonoras e a curva padrão deslocada com o respectivo valor de R_w, cuja somatória dos desvios desfavoráveis foi igual à 30,77 dB.

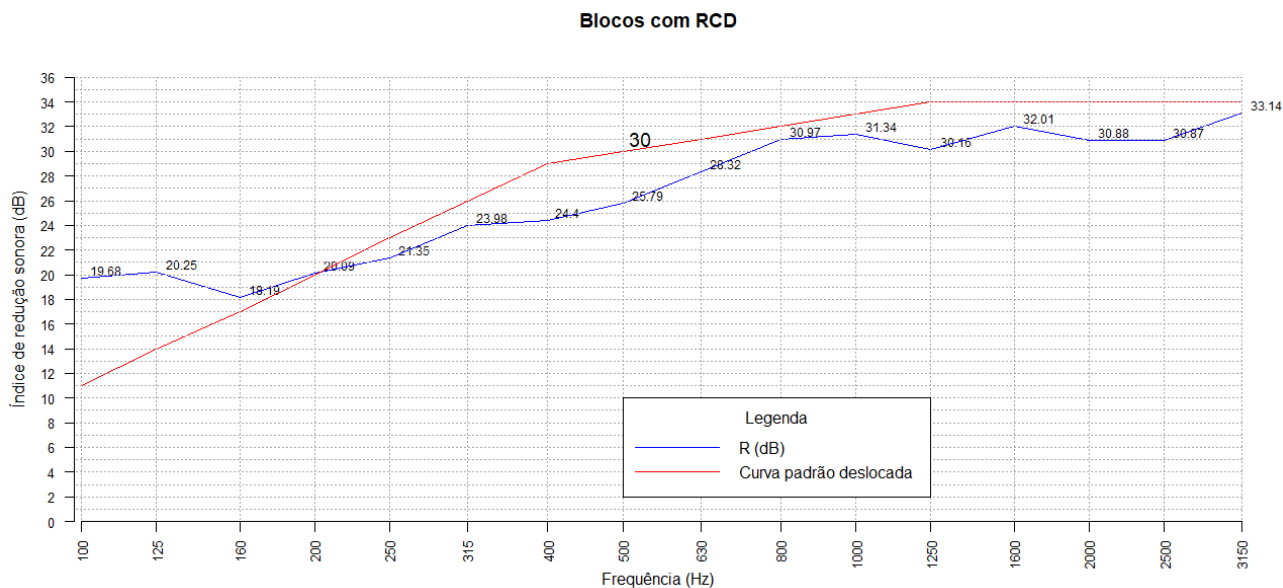


Figura 80 – Determinação do R_w , conforme a norma ISO 717-1:2013

Fonte: Autoria Própria (2019).

A Tabela 9 possui a mesma finalidade do exposto na Tabela 7, porém diferindo desta por apresentar índice de redução sonora ponderado, R_w , de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes. Logo, diante do descrito na Tabela 9 pode se declarar que o bloco de concreto com RCD não atende aos requisitos mínimos dos elementos. Frisa-se ainda que essas recomendações são para ensaios realizados em laboratório, do qual se trata o presente trabalho. Tendo em vista que os valores recomendados pela ABNT NBR 15575 – 4 (ABNT, 2013) podem variar em 5 dB quando o ensaio é feito em campo.

Estes resultados demonstram que os blocos construídos com resíduos, além de terem elevado apelo ambiental e serem mais baratos, podem gerar uma atenuação acústica adequada em fachadas para classes de ruídos I e II e bom atendimento as propriedades mecânicas. Uma sugestão para trabalhos futuros é a possibilidade de incluir mesclagem de agregados naturais e resíduos nas composições do concreto.

Tabela 9 - Índice de Redução Sonora Ponderado, R_w , de Componentes Construtivos Utilizados nas Vedações entre Ambientes

Elemento	R_w dB ^a	Nível de Desempenho
1.Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
2.Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥ 60	S
3.Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
4.Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos	35 a 39	M
	40 a 44	I
	≥ 45	S
5.Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥ 60	S
6.Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo <i>hall</i>	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S

NOTA Os valores de desempenho de isolamento acústico medidos no campo ($D_{nT,w}$ e $D_{2m,nT,w}$) tipicamente são inferiores aos obtidos em laboratório (R_w). A diferença entre estes resultados depende das condições de contorno e execução dos sistemas (ver ISO 15712 e EN 12354).

^a R_w com valores aproximados.

M (Mínimo) – I (Intermediário) – S (Superior).

Fonte: Adaptado ABNT NBR 15.575 – 4 Anexo F da seção F.6.2.1 (ABNT, 2013).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados aferidos com base nas referências normativas tanto nacionais quanto internacionais, trará de benefício para o meio científico ou para sociedade parâmetros do desempenho de blocos de concreto produzido com RCD, disponibilizando assim novos conhecimentos científicos, divulgando as vantagens de reciclar resíduos da construção e utilizá-los como agregados na produção de blocos, uma vez que foi verificado o atendimento de alguns dos requisitos de resistência quanto ao conforto acústicos para ambientes onde pessoas irão habitar, como também reaproveitando este tipo de resíduo, reduzindo assim os altos níveis de poluição do meio ambiente provocado pelo descarte inadequado.

Frisa-se que o grande problema deste resíduo é o seu difícil reaproveitamento, tornando-se quase sempre entulho e sendo depositado em lugares várias vezes impróprios. Diante desta realidade, espera-se que com essa pesquisa, não só as construtoras, mas também a sociedade brasileira possa ter parâmetros importantes quanto à confecção de blocos de concreto a partir de resíduos, principalmente os parâmetros acústicos, o que pode tornar o ambiente familiar muito mais silencioso, com a escolha correta do tipo de bloco a ser utilizado em um empreendimento e ainda, com um custo muitas vezes inferior ao atual.

Conclui-se que a utilização de RCD na construção de blocos de vedação é admissível e que pode ser uma forma eficiente de se reaproveitar este tipo de resíduo reduzindo assim os altos níveis de poluição do meio ambiente provocado pelo descarte inadequado. Salienta-se que mesmo o bloco sendo poroso e possuindo uma menor massa específica, ele ainda apresenta níveis satisfatório de desempenho no isolamento de ruído, principalmente se a utilização deste for acompanhada de acabamento das paredes como chapisco, emboço e reboco o que o tornará ainda mais eficiente.

Todavia, é recomendado que em estudos futuros seja dada uma maior atenção a porosidade do bloco reduzindo os níveis de agregado graúdo e minimizando ao máximo a presença de partes pulverulentas, uma vez que estas requerem o acréscimo de água, e por consequência interferindo na relação água/cimento do concreto. Ainda, recomenda-se adotar uma composição de traço que substitua uma porcentagem de agregados naturais, o que equilibraria uma possível deficiência quanto a uma maior

isolação de ruído, como também averiguar os demais requisitos da ABNT NBR 15575 (ABNT, 2013).

O trabalho cumpriu os seus objetivos, pois todas as metas deste foram executadas, onde ressalta-se a busca da implementação de resíduos de construção civil em blocos de concreto que buscaram atender o desempenho acústico de acordo com o que preconiza a ABNT NBR 15575-4 (ABNT, 2013), enfatizando o caráter socioambiental deste projeto.

Após a análise dos resultados, destaca-se que a utilização de RCD na construção de blocos de vedação é viável tecnicamente, tendo em vista que atendeu aos requisitos mínimos para fachadas.

REFERÊNCIAS

ABRECON (2017). Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. **Mercado de Resíduos da Construção e Demolição**. Acesso em 26 de Outubro de 2018, disponível em Abrecon: <<https://abrecon.org.br/>>

ABRELPE (2017). Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. Acesso em 23 de Outubro de 2018, disponível em Site da ABRELPE: <http://www.abrelpe.org.br/panorama_edicoes.cfm>

ABREU, R., AZRAK, R., LOPES, R., & A. E., S. (20 de Maio de 2009). **Blocos de Vedação com Entulho**. 2nd International Workshop | Advances in Cleaner Productio. São Paulo.

ALBUQUERQUE, S. (2005). **Estudo para uso de agregado de resíduos de construção e demolição em blocos de concreto para alvenaria**. Dissertação de Mestrado em habitação planejamento e tecnologia. Instituto de Pesquisas tecnológicas do Estado de São Paulo.

ANGULO, S. (2005). Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo. . **Caracterização de agregados de resíduo da construção e demolição e a influência de suas caracterisiticas no comportamento mecânico dos concretos**. São Paulo - SP.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004). ABNT NBR 15116: **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (29 de Abril de 2009). ABNT NBR 7211: **Agregados para concreto – Especificação** (3 ed.). Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2013). ABNT NBR 15575 - **Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas** — SVVIE. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2013). ABNT NBR 12118: **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (3 de Novembro de 2016). ABNT NBR 6136: **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos** (5 ed.). Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1998). ABNT NBR NM 67: Concreto - **Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2001). ABNT NBR NM 30: Agregado miúdo - **Determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2003). ABNT NBR 46: Agregados - **Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (3 de Novembro de 2003). ABNT NBR NM 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2009). ABNT NBR 12821: **Preparação de concreto em laboratório – Procedimento**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2009). ABNT NBR 52: **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2014). ABNT NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2018). ABNT NBR 16697: **Cimentos Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). ABNT NBR 16522: **Alvenaria de blocos de concreto — Métodos de Ensaio**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016). ABNT NBR 5738: **Concreto — Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova**. Rio de Janeiro.

NORMA MERCOSUL (1996). NM 101: **Concreto - Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos.**

NORMA MERCOSUL (1996). NM 77: **Concreto - Preparação das Bases dos Corpos de Prova e Testemunhos Cilíndricos para Ensaio de Compressão.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2018). ANBT NBR 5739: **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro.

AZEVEDO, G., KIPERSTOK, A., & MORAES, L. (2006). **Resíduos da construção civil em Salvador: os caminhos para uma gestão sustentável.** Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal da Bahia.

BARBOSA, C. (2004). **Resistência e deformabilidade de blocos vazados de concreto e suas.** Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos - SP.

BARROS, H., CATAI, R. E., & Teixeira, C. (15 - 19 de Novembro de 2006). **Bloco de vedação ecologicamente correto.** 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais.

BISPO, A., OITICICA, M., & TELES, V. (2005). **Qualidade acústica em um teatro – estudo de caso.** ENCAC - ELAC 2005 Maceió, Alagoas, Brasil - 5 a 7 de outubro 2005.

BISTAFA, S. (2011). **Acústica aplicada no controle do ruído** (2 ed.). São Paulo: Blucher.

CHR ACUSTICA (2019). **Tempo de Reverberação.** Acesso em 12 de junho de 2019, disponível em http://chracustica.zip.net/arch2008-08-24_2008-08-30.html

BRASIL (2 de Agosto de 2010). Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010: **Política Nacional de Resíduos Sólidos.**

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). (5 de Julho de 2002). Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002: Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.**

BRÜEL & KJAER - BEYOUND MEASURE (2019). **Analisador - Medido de Nível Sonoro Type 2250 Light - Manual**. Acesso em 20 de junho de 2019, disponível em *Brüel & Kjaer*. <https://www.bksv.com/pt-BR/products/sound-and-vibration-meters/sound-level-meters-and-vibration-meters/2250-series/Type-2250-L#>

BUTTLER, A. (13 de Junho de 2007). **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural**. Tese de Doutorado.

CARVALHO, R. (2010). **Acústica Arquitetônica** (2 ed.). Brasília - DF: Thesaurus.

CASTRO, R. (21 de Agosto de 2012). **Blocos para vedação a partir de resíduos de construção de gesso e de concreto: um estudo de caso na Região Metropolitana de Goiânia**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás.

CATAI, R., PENTEADO, A., & DALBELLO, P. (2006). **Materiais, técnicas e processos para isolamento acústico**. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais.

CBIC (2019). **Câmara Brasileira da Indústria da Construção**. Acesso em 17 de junho de 2019, disponível em Bando de Dados: <http://www.cbicdados.com.br/home/>

CELESTINO, Pedro H. M., CARASEK, Helena, CASCUDO, Oswaldo . (Julho de 2014). **Produção de blocos de concreto em obra com utilização de resíduo cimentício como agregado - um exercício de sustentabilidade**. São Paulo, SP, Brasil.

COELHO, A., & BRITO, J. (2013). **Economic Viability Analysis of a Construction and Demolition Waste Recycling Plant in Portugal**. Journal of Cleaner Production.

CORRÊA, M. R., BUTTLER, A. M., & RAMALHO, M. A. (2009). **Reciclagem de materiais de construção**. Artigo Científico Revista Técnica. São Paulo - SP.

FRANÇA, E., QUEIROZ, E., RABUSKE, F., SOUZA, L., & COSTA, J. (2013). **Blocos de concreto produzidos com agregados de resíduos de construção e demolição – RCD: processo de produção**. Jornada de Pesquisa e Extensão.

FRASSON JUNIOR, A. (26 de Maio de 2000). **Proposta de metodologia de dosagem e controle do processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural**. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil Universidade Federal de Santa Catarina Florianópolis - UFSC.

GOOGLE (2019). www.google.com/maps. Acesso em 11 de 4 de 2019, disponível em Google Maps: https://www.google.com/maps/@-25.43071,-49.4120174,3a,33y,250.66h,85.99t/data=!3m6!1e1!3m4!1se_PS33acLcUev7MREncWAg!2e0!7i13312!8i6656

GRAS Sound & Vibration. (2019). **Measurement Microphone Sets**. Acesso em 23 de junho de 2019, disponível em <https://www.gras.dk/products/measurement-microphone-sets/constant-current-power-ccp/product/692-46az>

GRUM ACÚSTICA & VIBRAÇÃO (2019). **Acústica e Vibração - Acústica de Salas e Edificações - Manual Dodecaedro**. Fonte: www.grom.com.br.

IBGE (17 de junho de 2019). **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Acesso em 17 de junho de 2019, disponível em Estatísticas da População Série Históricas: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9663-censo-demografico-2000.html?edicao=9773&t=series-historicas>

ISO 10140 - 2. (2010). *Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements - Part 2: **Measurement of airborne sound insulation***. International Organization for Standardization.

ISO 10140 - 4. (2010). *Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements - Part 4: **Measurement procedures and requirements***. International Organization for Standardization .

ISO 717-1. (2013). *Acoustics — Rating of sound insulation in buildings and of building elements - **Part 1: Airborne sound insulation***. International Organization for Standardization.

ISO 10140 - 5. (2014 Errata/Emenda). *Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements - Part 5: **Requirements for test facilities and equipment***. International Organization for Standardization .

ITA - **Institute of Technical Acoustics**. (2019). <http://www.ita-toolbox.org/download.php>. Fonte: Institute of Technical Acoustics.

KIBERT, C. (1994). **Concrete/Masonry Recycling Progress in the USA**. INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM.

LAMOUNIER, M. (2008). **Critérios para seleção de materiais acústicos utilizados em recintos fechados para diferentes tipologias**. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto - MG. Universidade Federal de Ouro Preto.

LANZELLOTTI, R., LUZ, A., & TOREM, M. (2004). ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E MINERALOGIA EXTRATIVA. **Desenvolvimento de Fluxograma de Beneficiamento Mineral para Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Florianópolis - SC.

LATTERZA, L. (1998). **Concreto com Agregado Graúdo Proveniente da Reciclagem de Resíduos de Construção e Um Novo Material para Fabricação de Painéis Leves de Vedação**. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

LEITE, M. (2001). **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

MACHADO, N. (2019). **AULAS DE FÍSICA E QUÍMICA**. Acesso em 30 de junho de 2019, disponível em SOM E LUZ: http://www.aulas-fisica-quimica.com/8f_07.html

MARINS, C., & RAAD, H. (s.d.). **Alvenaria modular: concepção de um novo sistema**. XXV Encontro de engenharia de produção. Porto Alegre, 2005.

MEDEIROS, J. (1993). **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo - USP.

MEHTA, P. (1994). **Concreto: estrutura, propriedade e materiais**. SÃO PAULO - SP: Pini.

MIRANDA, L., ANGULO, S., & CARELI, E. (2009). **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008**. Ambiente construído, Porto Alegre.

MYMRIN, V., RIBEIRO, R., ALEKSEEV, K., ZELINSKAYA, E., TOLMACHEVA, N., & CATAI, R. (Fevereiro de 2014). **Environment friendly ceramics from hazardous industrial wastes**. ScienceDirect Ceramics International, Philadelphia.

NOSSOS DOUTORES. (2019). **Perda Auditiva: você pode estar ficando surdo, sem nem saber**. Acesso em 1 de julho de 2019, disponível em Blog Nossos Doutores: <https://blog.nossosdoutores.com.br/perda-auditiva/>

CATAI, R. (Fevereiro de 2014). **Environment friendly ceramics from hazardous industrial wastes**. ScienceDirect Ceramics International, Philadelphia.

NAGALLI, A. (2016). **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. São Paulo: Oficina de textos.

PAULA, P. (2010). **Utilização dos resíduos da construção civil na produção de blocos de argamassa sem função estrutural**. Dissertação de Mestrado. Universidade Católica de Pernambuco - UCP.

PINTO, M. (2012). **Caracterização acústica de grandes auditórios**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto - FEUP.

PRATES, C. (2008). **Alvenaria: Como projetar Modulação. Alvenaria com blocos de concreto**. São Paulo - SP.

SACHS, Ana. (20 de Dezembro de 2012). **Demolição Reciclada**. Gestão de Resíduos. São Paulo - SP.

SANDES , V. (2008). **Estudo sobre a qualidade dos blocos de concreto**. Monografia - Universidade Estadual de Feira de Santana.

SANTOS, C. (2004). **Investigação dos metodos de determinação de potencia sonora visando programas para etiquetagem de furadeiras eletricas de uso domestico**. Tese de Mestrado, FEC/UNICAMP, Campinas, Brasil. .

SANTOS, C., & BEROLI, S. (2008). **Construção de câmara reverberante em escala para realização de ensaios acústicos** . VI Congresso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008. Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008.

SANTOS, F., & POMPEU, R. (2014). **Logística reversa de resíduos da construção civil: análise de viabilidade econômica**. Revista Tecnológica Fatec Americana.

SINDUSCON-CE. (Agosto de 2011). Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado do Ceará. **Manual sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil**. (A. E. Bezerra Cabral, & K. M. de Vasconcelos Moreira, Eds.) Acesso em 2 de Outubro de 2018, disponível em Site do Sinduscon - CE: <<http://www.ibere.org.br/anexos/325/2664/manual-de-gestao-de-residuos-solidos---ce-pdf>>

SOUZA, J. (2001). **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto – aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília. Brasília - DF.

SPROROWSKI, A. I., & ALBERTS, M. (2018). **Avaliação da Qualidade do Campo Acústico de uma Câmara Reverberante**. Trabalho de Conclusão de Curso II - Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR.

TANGO, C. (1984). **Blocos de Concreto: Dosagem, Produção e Controle de Qualidade** (1 ed., Vol. 1). São Paulo.

UNIÃO EUROPEIA . (2008). **Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de novembro de 2008 relativa aos resíduos e que revoga certas diretivas**.

ZANNIN, P. (2010). **Acoustics Performance of Buildings – Measurements and Simulations of Façade Sound Insulation, Sound Insulation Between Rooms and Impact Sound Insulation, Measurement of Sound Insulation Through Sound Intensity**. Nova Science Publishers.