

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR – CCTA
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL – UACTA

MAELLE GUEDES PASSOS

ANÁLISE COMPARATIVA DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE
MINERAÇÃO EM ARGAMASSA AUTONIVELANTE

POMBAL – PB

2021

MAELLE GUEDES PASSOS

**ANÁLISE COMPARATIVA DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE
MINERAÇÃO EM ARGAMASSA AUTONIVELANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a Universidade Federal de Campina Grande – UFCG Campus Pombal, como parte das exigências para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Me. Valter Ferreira de Sousa Neto

Coorientador (a): Eng. Civil Raquel Ferreira do Nascimento

POMBAL - PB

2021

P289a

Passos, Maelle Guedes.

Análise comparativa do potencial de utilização de resíduo de mineração em argamassa autonivelante. / Maelle Guedes Passos. Pombal, 2021.

65 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2021.

"Orientação: Prof. Me. Valter Ferreira de Sousa Neto; Coorientação: Eng. Civil Raquel Ferreira do Nascimento ."

Referências.

1. Argamassa. 2. Mineração. 3. Mineração - resíduo. 4. Argamassa autonivelante. 5. Mineração - argamassa - autonivelante. I. Sousa Neto, Valter Ferreira de. II. Nascimento, Raquel Ferreira do. III. Título.

CDU 691.53(043)

MAELLE GUEDES PASSOS

**ANÁLISE COMPARATIVA DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE
MINERAÇÃO EM ARGAMASSA AUTONIVELANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado a Universidade Federal de
Campina Grande – UFCG Campus
Pombal, como parte das exigências para a
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.

Aprovado em: 14 de maio de 2021.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Valter Ferreira de Sousa Neto

Orientador
UACTA/UFCG



Raquel Ferreira do Nascimento

Coorientadora
Engenheira Civil



Prof. Me. Eduardo Morais de Medeiros

Examinador Interno
UACTA/UFCG



Prof^a. Ma. Hélykan Berliet dos Santos

Monteiro Examinador Externo
FSM

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, por ter me dado forças para chegar até aqui e à minha família, por ser sempre minha base e suporte.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, por ter permitido eu chegar até aqui, abrindo portas e guiando meus caminhos. Por ser minha rocha e fortaleza nos momentos mais difíceis que passei na graduação e na vida. Por ser meu escudo nos tempos mais obscuros e por estar sempre presente.

À minha família, meu irmão Marcos Anderson, minha cunhada Jerssica e em especial à minha mãe Ilma Guedes, meu irmão Gilberto Junior e minha sobrinha Ana Beatriz, por serem a minha base e por sempre estarem ao meu lado, me apoiando e aconselhando em todas as etapas da minha vida, sendo meu suporte quando precisei. Sou muito grata a vocês, Deus os abençoe.

Aos meus amigos que a UFCG me deu, Denn's Santana, Igor Guilherme e Thomas Maick, por todos momentos de descontração, conversas, aprendizado e apoio nos momentos complicados da graduação. A Maria Beatriz, pelas conversas e apoio dado.

Em especial, quero agradecer a Deus por colocar duas maravilhosas pessoas no meu caminho, minhas amigas irmãs Damares Ramalho e Nayla Oliveira, por todas as situações e momentos que passamos juntas, por todo apoio, pela amizade verdadeira, palavras de conforto e exortação quando necessário e pela confiança recíproca que há entre nós.

Ao meu namorado Danilo Leandro, por toda paciência e apoio nos momentos que mais precisei. Pelas conversas e aprendizados. Você foi de suma importância para a concretização deste estudo. Te amo.

Ao meu orientador Prof. Me. Valter Neto, por aceitar me orientar nas circunstâncias que estávamos, por todo apoio dado para que conseguisse concluir a pesquisa.

À minha coorientadora Eng. Civil Raquel Ferreira, por toda parceria, conhecimento e aprendizado passado, por todas as vezes que precisei e sempre me auxiliou e me guiou para obter as respostas das inúmeras dúvidas que surgiram ao longo da pesquisa, por todas as conversas e descontrações. Se tornou uma grande amiga.

À Prof^a. Ma. Fernanda Karolline por todo apoio dado para o início deste projeto. À Eudes Medeiros e Emanuel Farias, técnicos do laboratório onde realizei os experimentos.

À UFCG, por possibilitar minha formação e execução deste trabalho. Á todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa, meu muito obrigada.

“Consagre ao Senhor tudo o que você faz e os seus planos serão bem-sucedidos.” (Provérbios 16:3).

RESUMO

O setor da mineração é de suma importância para o Brasil, pois promove a geração de empregos e crescimento econômico do país. Em contrapartida, é um dos setores que mais poluem o meio ambiente, causando inúmeros problemas nas esferas socioambientais. Por outro lado, a construção civil é um dos setores que mais consomem recursos naturais e por esse motivo, estudos que visam a incorporação dos rejeitos da indústria mineradora em materiais de construção vêm se expandindo, bem como os estudos a respeito do aumento da produtividade nos canteiros de obras, que é o caso das argamassas autonivelantes, devido sua alta fluidez e capacidade de se modelar de acordo com o substrato ao qual será assentado. Pensando nisso, este trabalho tem como objetivo estudar os efeitos da incorporação resíduo de mineração pó de quartzo em argamassas autonivelantes, substituindo parcialmente o agregado miúdo em porcentagens de 15%, 30% e 50%, com idades de cura de 7, 14 e 28 dias. Para a realização do estudo, primeiramente foi feita a caracterização física da areia, do quartzo e do cimento, através dos ensaios de granulometria, massa específica e unitária e módulo de finura. Em seguida foram definidos os traços e a porcentagem do aditivo superplastificante e do modificador de viscosidade, escolhidos a partir do estudo da bibliografia, e feito o ensaio do *mini-slump* no estado fresco, obtendo, dessa forma, a dosagem ótima da argamassa. Posteriormente, foram feitos os ensaios no estado endurecido de resistência à compressão, absorção e massa específica. Os resultados mostraram que o aumento da porcentagem do pó de quartzo foi diretamente proporcional a resistência à compressão e inversamente proporcional à absorção de água, ou seja, a argamassa autonivelante com substituição de 50% obteve uma maior resistência à compressão e conseqüentemente menor absorção de água, quando comparada com a convencional. De acordo com o ensaio de densidade aparente no estado endurecido, quanto maior a porcentagem de substituição, mais pesada foi a argamassa, fato explicado pela diferença da massa unitária da areia e do pó de quartzo, sendo o resíduo mais pesado que a areia natural. Dessa forma, segundo a NBR 13.281 a argamassa autonivelante com 50% de substituição da areia natural pelo resíduo é classificada como P6, ou seja, argamassas de alta resistência e todas foram classificadas como M6, argamassas maiores que 1800 Kg/cm³.

Palavras – chave: Mineração; Resíduos; Argamassa autonivelante

ABSTRACT

The mining sector is of paramount importance to Brazil, as it promotes job creation and economic growth in the country. On the other hand, it is one of the sectors that most pollute the environment, causing numerous problems in the social and environmental spheres. On the other hand, civil construction is one of the sectors that most consume natural resources and, for this reason, studies aiming at incorporating the tailings of the mining industry in construction materials have been expanding, as well as studies regarding the increase in productivity in construction sites, which is the case of self-levelling mortars, due to its high fluidity and capacity to model itself according to the substrate to which it will be laid. With this in mind, this work aims to study the effects of incorporating quartz powder mining residue into self-leveling mortars, partially replacing the fine aggregate in percentages of 15%, 30% and 50%, with curing ages of 7, 14 and 28 days. In order to carry out the study, the physical characterization of the sand, quartz and cement was first carried out through the tests of granulometry, specific and unitary mass and fineness modulus. Then, the traces and the percentage of the superplasticizer additive and viscosity modifier were defined, chosen from the bibliography study, and the mini-slump test was performed in the fresh state, thus obtaining the optimum mortar dosage. Subsequently, tests were carried out in the hardened state of resistance to compression, absorption and specific gravity. The results showed that the increase in the percentage of quartz powder was directly proportional to the compressive strength and inversely proportional to the water absorption, that is, the 50% replacement self-levelling mortar obtained greater compressive strength and consequently lower water absorption, when compared to the conventional one. According to the apparent density test in the hardened state, the higher the percentage of substitution, the heavier the mortar was, a fact explained by the difference in unit mass of sand and quartz powder, the residue being heavier than natural sand. Thus, according to NBR 13,281, the self-leveling mortar with 50% replacement of natural sand by the residue is classified as P6, that is, high-strength mortars and all were classified as M6, mortars greater than 1800 Kg / cm³.

Keywords: Mining; Waste; Self-leveling mortar

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Detalhamento do sistema de piso	25
Figura 2 - Posicionamento das niveletas	27
Figura 3 - Lançamento da argamassa autonivelante	28
Figura 4 - Rolo dentado, rolo fura bolhas e régua "T"	29
Figura 5 - Fluxograma das atividades realizadas	31
Figura 6 – Box do resíduo de quartzo na Armil Mineração	32
Figura 7 - Quarteamento da areia	32
Figura 8 - Agitador mecânico	33
Figura 9 - Composição granulométrica da areia e pó de quartzo	34
Figura 11 - Tabela utilizada para escolha do traço	35
Figura 12 - Teste de dosagens com diferentes aditivos	35
Figura 13 - Produção da argamassa	36
Figura 14 - Mini Slump de Kantro	37
Figura 15 - Análise da espessura das bordas. (a) Bordas espessas, sem tendência à segregação. (b) Bordas líquidas, com tendência à segregação	38
Figura 16 - Análise visual da borda: Tendência à segregação	38
Figura 17 – (a)Argamassa sem escoamento;(b)Argamassa exsudada;(c)Argamassa ótima	38
Figura 18 - Medição do espalhamento da argamassa	39
Figura 19 - Moldagem dos corpos de prova	41
Figura 20 - Corpos de prova danificados	42
Figura 21 – (a) Ensaio de resistência à compressão; (b) Corpo de prova rompido	43
Figura 22 - Corpos de prova na cura úmida com 2/3 do volume imersos	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo da composição das argamassas	21
Tabela 2 - Classificação da areia quanto ao diâmetro dos grãos	22
Tabela 3 - Comparação dos tipos de argamassas	26
Tabela 4 - Classes de argamassas de acordo com a resistência à compressão	43
Tabela 5 - Densidade de massa aparente no estado endurecido	45
Tabela 6 - Resultados obtidos da porcentagem passante da areia e resíduo	47
Tabela 7 – Características físicas dos materiais	49
Tabela 8 - Resultados obtidos de porcentagem retida acumulada da areia e resíduo	50
Tabela 9 - Módulo de finura	50
Tabela 10 - Classificação do agregado quanto ao módulo de finura	50
Tabela 11 - Relação de a/c para as substituições estudadas	51
Tabela 12 - Cálculo do Consumo para cada corpo de prova (g)	51
Tabela 13 - Espalhamento da argamassa autonivelante	51
Tabela 14 - Espalhamentos obtidos nos testes de dosagem realizados	52
Tabela 15 - Resultados do ensaio de resistência à compressão (MPa)	53
Tabela 16 - Resultados do ensaio de absorção de água	55
Tabela 17 - Ensaio de Densidade Aparente (Kg/m ³)	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva granulométrica do agregado miúdo in natura	45
Gráfico 2 - Curva granulométrica do resíduo pó de quartzo	47
Gráfico 3 - Comparativo das curvas granulométricas após o beneficiamento	48
Gráfico 4 - Resistência à compressão das argamassas	54
Gráfico 5 - Resultados do ensaio de absorção de água	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo Geral	18
2.2	Objetivos Específicos	18
3	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	19
4	REFERENCIAL TEÓRICO	20
4.1	Impactos ambientais	20
4.2	Quartzo	21
4.2	Aglomerante	22
4.3	Argamassa	23
4.3.1	Argamassa autonivelante	23
4.3.2	Agregado miúdo	24
4.3.3	Aditivos	26
4.3.4	Mini – Slump	27
4.3.5	Estudo do traço	29
4.4	Execução do contrapiso autonivelante	30
5	MATERIAIS E MÉTODOS	35
5.2	MÉTODOS	36
5.2.1	Coleta e beneficiamento dos agregados miúdos	36
5.2.2	Caracterização física	37
5.2.2.1	Módulo de finura, massa unitária e específica	37
5.2.2.2	Análise granulométrica	38
5.2.3	Estudos de dosagem	39
5.2.3.1	Materiais e métodos utilizados para o mini-slump	41
5.2.4	Moldagem e cura dos corpos de prova	42
5.2.5	Ensaio mecânicos	44
5.2.5.1	Ensaio de resistência à compressão	44
5.2.5.2	Absorção de água	45
5.2.6	Densidade de massa aparente no estado endurecido	46
6	Resultados e Discussões	47
6.1	Caracterização física dos materiais	47
6.1.1	Análise granulométrica	47
6.3.2	Massa específica e massa unitária	50

6.3.3	Módulo de finura	51
6.3	Definição do traço e dosagem	52
6.3.1	Ensaio do mini-slump	53
6.4	Ensaio mecânicos	54
6.4.1	Resistência à compressão	54
6.4.2	Absorção de água	56
6.5	Densidade de massa aparente da argamassa autonivelante no estado endurecido	57
7	Conclusão	58
	Referências Bibliográficas	60

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é detentor de um enorme patrimônio mineral, bem como um dos maiores produtores e exportadores de minérios. O setor da mineração é de suma importância para o país, possuindo influência significativa no PIB, bem como na geração de empregos. A lavra garimpeira e a lapidação, por serem processos rudimentares, necessitam de muita mão de obra, sendo essa de pouca especialização. Sendo assim, alavancando a geração de empregos na área contemplada (CHAVES, 2017).

De acordo com o relatório técnico 37 do Ministério de Minas e Energia (MME) (2009), dentre esse enorme patrimônio mineral encontra-se o mineral quartzo, sendo este o segundo mineral mais abundante da Terra, obtido de forma natural ou cultivado. As reservas brasileiras de cristais naturais deste mineral são as maiores do mundo, se destacando na produção brasileira o pequeno minerador ou o minerador informal. Ocorrem geralmente de duas formas: pegmatitas graníticas e veios hidrotermais.

O quartzo fundido, proveniente de quartzo de pegmatitos, possui um mercado bastante sofisticado, compreendendo uma linha de produtos da maior relevância: indústria óptica, indústria de equipamentos elétricos, indústria química de base, equipamentos e aparelhagem científica e de precisão, fibra óptica (MME, 2009).

Assim como a extração do quartzo, a extração de areia também é uma importante atividade minerária para o setor. A mineração de agregados para a construção civil gera grandes volumes de produção, apresenta beneficiamento simples e, para melhor economicidade, necessita ser explorada no entorno do local de consumo, geralmente áreas urbanas, devido ao baixo valor unitário (OLIVEIRA, 2020). O principal mercado consumidor de areia no Brasil é a construção civil, diretamente (62%) e todos os seus subsetores, tais como construção/manutenção de estradas (3.66%), artefatos de cimento (1.25%) e aterro (0.96%) (VIEIRA e REZENDE, 2015).

É indubitável a importância do setor mineral para o crescimento da economia, porém vale salientar que esta atividade é igualmente responsável pela geração de grandes quantidades de resíduos que causam impactos ambientais e sociais.

A maior parte dos efeitos da mineração atinge primeiramente o meio físico, sendo os impactos sobre os meios bióticos e socioeconômicos muitas vezes decorrentes dos primeiros, ou seja, são impactos indiretos (DIAS, 2001). De acordo com Pinto (2018), os impactos ambientais negativos previstos nestes meios são: alteração da qualidade do ar, dos níveis de

pressão sonora, da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, assoreamento de cursos d'água, afugentamento e perturbações da fauna, aumento da ocorrência de infecções por doenças tropicais.

Assim, o processo de extração da areia natural também ocasiona sérios problemas ambientais nos corpos hídricos dos rios e seus biomas. Portanto, é importante o surgimento de novas tecnologias para a incorporação desses rejeitos em outras cadeias produtivas, diminuindo o uso do agregado natural, contribuindo dessa maneira para o desenvolvimento sustentável.

Neste cenário, o setor da construção civil é um dos maiores consumidores de bens naturais e um dos maiores geradores de resíduos também. Porém, é uma indústria que tem a capacidade de incorporar rejeitos de outras atividades em sua cadeia produtiva e sempre surgem novas tecnologias e produtos para tentar mitigar os impactos causados pela mesma e/ou aumentar a produtividade de seus processos. Dentre essas novas tecnologias se encontra a argamassa autonivelante. O uso desse tipo de argamassa é relativamente novo no Brasil e a sua principal característica é a elevada fluidez (GAMA, 2017).

Devido à industrialização e à modernização dos sistemas construtivos, esse produto se insere no setor da construção com a promessa de reabilitar, regularizar e nivelar contrapisos novos e antigos, substituindo os convencionais métodos de execução, feitos com argamassa dosada em obra (RUBIN, 2015). A argamassa autonivelante pode ainda reduzir custos com mão-de-obra, prazos e transportes de materiais até os pavimentos da edificação em que está sendo aplicada, além de oferecer alta planicidade, aumento da produtividade e qualidade superior à das argamassas convencionais (HOUANG, 2013; GUGELMIN, 2013).

A aplicação desse tipo de material é executada com a ajuda de uma mangueira que espalha a argamassa em formas, moldes ou em lonas plásticas, sem a necessidade de uma energia de espalhamento (MARTINS, 2009). Dessa forma, exige menos esforço e técnica do operador para atingir um piso bem nivelado, pois o processo é relativamente simples, uma vez que a moldagem da argamassa é feita pela ação da gravidade, extinguindo os defeitos oriundos de falhas de execução.

No que diz respeito aos materiais, Martins (2009) ainda afirma que a argamassa autonivelante não requer nenhum tipo de material especial, porém, os materiais devem possuir características específicas e teores na mistura que proporcionem a fluidez adequada sem haver segregação da mesma e, quanto os equipamentos e procedimentos de dosagens, ainda não foram normatizados, por esse motivo exigem estudos mais detalhados.

Dessa forma, este estudo visa auxiliar o avanço da pesquisa de incorporação de resíduos provenientes da indústria mineradora em produtos da construção civil, com o intuito de estudar o melhoramento das propriedades mecânicas dessas argamassas com diferentes proporções de substituições de resíduos de pó de quartzo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar o potencial de utilização de resíduos de mineração de quartzo em substituição parcial do agregado miúdo natural, em diferentes proporções, incorporando aditivo superplastificante (SP) e modificador de viscosidade (VMA) em proporções pré-definidas.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar a caracterização física dos resíduos e dos materiais convencionais.
- Realizar um estudo das características e propriedades mecânicas de resistência à compressão e absorção de água da argamassa quando se substitui o resíduo e adiciona os aditivos SP e VMA.
- Alcançar a dosagem ótima para se ter uma argamassa autonivelante com alta fluidez, sem tendência à exsudação e segregação do contrapiso.
- Propor uma destinação ambientalmente adequada ao resíduo de quartzo gerado pela mineração.

3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

O uso de argamassas autonivelantes ainda é pouco difundido no Brasil, apesar de possuir justificativas nos âmbitos tecnológico, econômico e ambiental para sua utilização. Em se tratando do primeiro, Nakakura (1997) e Tutikian et al. (2004) citam algumas, como por exemplo:

- A espessura do piso/contrapiso pode ser reduzida a apenas 5,0 mm a 10 mm, o que significa uma ótima redução no peso próprio e no consumo de cimento (diferente do que as empresas locais costumam utilizar como espessura mínima, que é de 25mm);
- A tendência à fissuração também é reduzida praticamente a zero, com o acréscimo de aditivos químicos retentores de água e fibras orgânicas;
- Na questão de produtividade, a argamassa autonivelante também tem vantagem sobre a argamassa convencional, já que o material é considerado fluido e sua aplicação consiste em literalmente “esguichar” esse material sobre o substrato ou a lona plástica sem a necessidade de desempenar e ainda garantindo a total horizontalidade do contrapiso.

Já do ponto de vista econômico, a argamassa autonivelante se destaca na economia por metro quadrado acabado em relação aos métodos tradicionais como é demonstrado no estudo feito por Ortega (2003), onde foi analisado a eficiência da argamassa autonivelante em relação a argamassas tradicionais com relação a custos.

Para o âmbito ambiental, sabe-se que a mineração é um dos setores básicos da economia do Brasil, porém é um dos setores que mais geram resíduos em suas atividades. Tendo em vista que a construção civil também é um setor que gera muitos resíduos, mas que também possibilita a incorporação de outros rejeitos em seus materiais construtivos, a incorporação dos resíduos de mineração se torna viável dentro deste setor, aliando assim um melhoramento da argamassa com a sustentabilidade.

Além da importância ambiental da incorporação dos rejeitos em outras cadeias produtivas, como por exemplo a construção civil, estes resíduos também devem possuir características que beneficiariam as propriedades dos materiais estudados.

No caso do quartzo, além da escolha pela questão ambiental, é um mineral de alta dureza (7 na escala de Mohs) além de possuir uma estrutura cristalina tridimensional, estável e fortemente unida. Os grãos da areia são formados essencialmente por quartzo, sendo a forma de seus grãos similares, ou seja, grãos angulosos, diferenciando se a areia utilizada tiver sido transportada por grandes distâncias da rocha fonte.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Impactos ambientais

Por mais essencial que a indústria extrativa mineral seja para o crescimento econômico do país, este setor possui uma dualidade que o distancia de ser visto com um caráter sustentável. De acordo com Bermann (2016), os impactos ambientais negativos da extração mineral estão associados desde a fase inicial da lavra até o transporte e beneficiamento do minério e, desta forma, altera de forma desmoderada o meio físico, provocando desmatamentos, erosão, contaminação dos corpos hídricos, alterações na paisagem e etc.

Vale ressaltar, que os impactos ambientais gerados pela atividade mineradora atingem substancialmente às populações, de forma que estes impactos sobre a vida dessas pessoas não prevalecem somente durante o tempo de vida útil de uma mina, mas podem perdurar por dezenas de anos ou mesmo por séculos. A mina se esgota, a empresa transfere suas atividades para outra localidade, e à população restam escavações abandonadas, pilhas de rejeitos, contaminação do ar, do solo, dos rios e dos lençóis freáticos, além de doenças, decadência econômica e empobrecimento (ARAÚJO; OLIVIERI; FERNANDES, 2014).

4.1.1 Problemática ambiental da areia natural

De acordo com a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil (ANEPAC) (2021), “os agregados respondem por mais de 2/3 do total da produção mineral mundial, ou seja, cerca de 50 bilhões de toneladas. No Brasil, como ocorre no mundo, os agregados são os bens minerais mais produzidos e consumidos.” A substância que lidera o número de minas no Brasil é a areia, com cerca de 4.600 unidades produtoras e produção de 250 milhões de toneladas em 2019 (IBRAM, 2020).

O uso da areia para construção acha-se dividido entre os subsectores de revenda (lojas de materiais de construção), concreto pré-misturado, fabrico de pré-moldados de concreto, argamassa, concreto asfáltico e material para compor a base/sub-base de rodovias (KULAIIF, 2013). A ANEPAC (2015) afirma que o consumo de areia está dividido em 35% para argamassa, 20% concreteiras, 15% construtoras, 10% pré-fabricados, 10% revendedores/lojas, 5% pavimentadoras/usinas de asfalto, 3% órgãos públicos e 2% outros.

A produção de areia é um setor básico na cadeia da indústria da construção civil, tem faturamento importante e gera muitos empregos. A atividade econômica de produção de areia caracteriza-se por grandes volumes produzidos. As restrições ambientais à utilização de várzeas

e leitos de rios para extração de areia criam sérios problemas para as lavras em operação. Em consequência, novas áreas de extração estão cada vez mais distantes dos locais de consumo, encarecendo o preço final dos produtos (RAMADON, 2016).

De acordo com Santos (2017), outro fator que causa afeta o custo final da areia natural é o transporte, devido ao aumento das distâncias entre o centro de extração e o centro de consumo. Outra questão importante é a problemática que o setor da construção civil vem enfrentando nesses últimos anos: a escassez do agregado miúdo em vários locais.

De acordo com Kulaif (2013) a areia natural é um recurso abundante de forma global, sendo que sua escassez, ocorre apenas localmente ou regionalmente, quando há uma grande demanda por este material, geralmente ocorre em regiões metropolitanas e grandes cidades, estão se tornando cada vez mais comuns. Então, quando ocorre a escassez deste recurso, é necessário buscar alternativas para a substituição deste agregado que estão disponíveis em locais próximos ao mercado de consumo (SANTOS, 2017).

Para Teodoro (2013), o aumento no consumo da areia natural na produção de concreto e argamassa, com maior decorrência nos grandes centros, culminando com o elevado custo e escassez deste agregado nestas regiões, faz com que o mercado consumidor busque alternativas viáveis para esta questão.

4.2 Quartzo

O quartzo ocorre praticamente no mundo todo e está retido no interior de quase todos os tipos de rocha. Ele pode ser encontrado em rochas ígneas (granito, riolito e pegmatito granítico), metamórficas (gnaisses e xistos, formando os quartzitos) e sedimentares (acúmulo de grãos de quartzo formando arenito). Nas rochas graníticas, o quartzo encontra-se associado principalmente ao feldspato e a mica (CORREA, 2010).

Apesar do quartzo ser um dos minerais mais abundantes na crosta terrestre e existir praticamente no mundo todo, sua ocorrência como reserva (de extração mais fácil e viável) é mais restrita, ocorrendo apenas em alguns países. O Brasil é um país favorecido em termos da matéria-prima quartzo, pois concentra quase que a totalidade das reservas desse mineral existente no mundo (ARCOVERDE, SCHOBENHAUS, 1997 apud MORAIS 2007).

O quartzo é uma matéria-prima básica para diversos setores da indústria, cujo uso é função de sua impureza, defeitos ou outra especificação. O quartzo de melhor qualidade é empregado em segmentos de alta tecnologia, dentre outras: eletrônica, indústria óptica,

equipamentos de instrumentação, fibras ópticas. Aquele com qualidade inferior é utilizado como: abrasivos, cerâmicas, metalurgia, indústria civil e outras (MARQUES, 2013).

O pó de quartzo deve apresentar um grau de pureza acima de 99% para que o vidro produzido apresente maior qualidade. Uma alternativa para se reduzir os teores de impurezas do pó de quartzo, quando o quartzo natural não apresenta uma pureza tão elevada, é o tratamento químico, sendo obtido empregando-se diversos tipos de beneficiamento (FERREIRA, 2018).

O pó de quartzo de elevada pureza é usado em larga escala na produção de vidros especiais, bem como na indústria óptica e de semicondutores, com destaque para a sílica vítrea, um material fundamental para indústria de alta tecnologia devido às suas propriedades únicas (SILVA et al, 2015).

O quartzo natural é utilizado em diversos segmentos, desde aplicações convencionais, onde o mineral é utilizado diretamente após algum processamento primário, como britagem, moagem, lavagem ou classificação, até as aplicações que requerem um grande conhecimento tecnológico para processá-lo. Ele está em uso há muitos anos e a demanda por essa matéria prima é improvável de diminuir, pois o quartzo e o silício são utilizados para fins que se tornaram fundamentais para o ser humano, como telecomunicações, energia, computadores, etc. (GUZZO, 2008, PLATIAS; VATALIS; CHARALABIDIS, 2013).

4.2 Aglomerante

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2017), o cimento pode ser definido como um pó fino, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água. O mercado nacional dispõe de 8 opções, sendo diferenciados por suas propriedades, características e usos.

1. Cimento Portland Comum (CPI);
 - a. CP I –Cimento Portland Comum;
 - b. CP I-S –Cimento Portland Comum com Adição;
2. Cimento Portland Composto (CP II);
 - a. CP II-E –Cimento Portland Composto com Escória;
 - b. CP II-Z –Cimento Portland Composto com Pozolana;
 - c. CP II-F –Cimento Portland Composto com Fíler;
3. Cimento Portland de Alto-Forno (CP III);
4. Cimento Portland Pozolânico (CP IV);
5. Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI);

- 6.Cimento Portland Resistente a Sulfatos (RS);
- 7.Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC);
- 8.Cimento Portland Branco (CPB).

4.3 Argamassa

A ABNT NBR 13281/2005, determina a argamassa como “mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).”

Na argamassa a areia representa aproximadamente de 60% a 80% do volume do produto e no concreto sua proporção vai de 50% a 80% do volume final do concreto, cada situação vai de acordo com o objetivo almejado na produção da argamassa e do concreto, no qual a sua granulometria e volume vai influenciar diretamente nas características finais (NBR 14081/2005).

Existem várias classificações para argamassa, porém neste trabalho será utilizada a classificação descrita por Amorim (2015) que enfatiza apenas as argamassas de cimento e areia por serem predominantes no Brasil, classificando-as conforme a sua plasticidade em:

- argamassa plástica: são argamassas com teor de umidade entre 20% e 25%, semelhante à argamassa de revestimento de alvenaria;
- argamassa semisseca: é a argamassa também de cimento e areia, porém, com teor de umidade baixo (por volta de 12%). Esse baixo teor de água facilita a compactação e reduz a retração da camada de contrapiso durante a secagem da argamassa.
- argamassa fluida: é a argamassa composta por cimento, areia, água e aditivos químicos, podendo ter ou não aditivos minerais. A principal característica desta argamassa é a alta fluidez, sendo que seu espalhamento acontece naturalmente e não há a necessidade da compactação, fato que torna a execução com essa argamassa mais rápida.

Tabela 1 - Comparativo da composição das argamassas

Composição das Argamassas	Argamassa Fluida	Argamassa Semisseca
Aglomerante	25 a 45%	20 a 25%
Agregado miúdo	40 a 60%	60 a 75%
Água	20 a 30%	7 a 9%
Aditivos	10 a 15%	-

Fonte: Nakakura e Bucher (1997)

4.3.1 Argamassa autonivelante

A argamassa autonivelante é uma mistura de aglomerante, agregados miúdos, água e aditivos, ao qual lhes confere alta fluidez, apresentando, pelo método de Kantro, espalhamento entre 115 mm a 180 mm. Ao ser aplicada ela não necessita de vibração e nem nivelamento, por possuir uma espessura reduzida, oscilando em torno de 30 mm. Esse sistema aceita sobre si todos os tipos de revestimentos como: pisos vinílicos, os amadeirados, os cerâmicos e entre outros (SCHAEFER, 2013).

O contrapiso autonivelante (CPA) chega ao Brasil como uma técnica alternativa para execução de contrapisos ou enchimentos. Já difundido em outros países, no Brasil ainda é usado de forma tímida. Trata-se de uma argamassa autoadensável, muito fluida, desenvolvida e dosada especialmente para servir como contrapiso.

“A granulometria, área superficial e a morfologia das partículas da argamassa influenciam diretamente no escoamento. Quanto mais finas as partículas, tem-se uma área superficial alta, fazendo com que as argamassas tendem a possuir um aumento da tensão de escoamento e da viscosidade. O comportamento quanto à viscosidade da argamassa autonivelante depende diretamente dos agregados que estão na sua composição tanto na sua proporção adicionada quanto às suas formas e granulometria. Dessa forma, quanto maior a quantidade de agregado no traço maior serão os choques entre as partículas dos agregados aumentando a resistência ao escoamento, sendo da mesma forma quando tiver uma granulometria bem graduada e partículas não arredondadas” (MELO, 2015, pág. 21).

Como é um produto novo no mercado, ainda não há normas quanto aos equipamentos e procedimentos de dosagens. Vale à pena ressaltar que os materiais usados para este tipo de argamassa, são capazes de ajudar na sua fluidez, sem que haja qualquer tipo de segregação (MARTINS, 2009).

4.3.2 Agregado miúdo

Segundo a ABNT NBR 9935/2011, agregado é definido como material granular pétreo, sem forma ou volume definido, na maioria das vezes quimicamente inerte, de dimensões e propriedades úteis para uso em obras de engenharia. Quanto à origem, podem ser classificados como naturais - aqueles lavrados diretamente na forma de fragmentos, como areia e pedregulho, e artificiais - os que são submetidos a processos de fragmentação, como pedra e areia britadas.

Em função da granulometria de seus grãos, o agregado pode ser classificado em graúdo e miúdo. De acordo com a ABNT NBR 7211/09, agregado graúdo é definido como o agregado “cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.” Ainda segundo a mesma norma, agregado miúdo é o tipo de “agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm.” Entre os agregados miúdos existentes, o

mais utilizado na construção civil é a areia, cuja granulometria e classificação, segundo Bauer (2008), estão presentes na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação da areia quanto ao diâmetro dos grãos

Classificação	Tamanho dos grãos (mm)
Areia Fina	0,6 a 0,15
Areia Média	2,4 a 0,6
Areia Grossa	4,75 a 2,4

Fonte: Bauer, 2008.

A principal função dos agregados miúdos (como a areia) na argamassa é a de enchimento. No entanto, o tamanho (granulometria) e a geometria dos grãos definem características importantes do material, como a densidade, a resistência e a trabalhabilidade (NASCIMENTO, 2018). Assim, torna-se importante o cuidado com a granulometria dos agregados utilizados e, por isso, neste trabalho a areia será peneirada de acordo com os tamanhos dos grãos descrito na tabela acima (areia fina), ou seja, será descartado o material do fundo e o retido nas peneiras superiores à 0,6 mm.

Para Londero et al. (2017), quando a granulometria do agregado é contínua e bem graduada, contribui para a diminuição do volume de vazios, sendo este efeito de preenchimento conhecido como efeito fíler o qual possibilita a redução da porosidade de um conjunto granular, aumentando a sua densidade de empacotamento. O fenômeno de empacotamento dos agregados está relacionado ao perfeito arranjo de seus grãos a partir da correta proporção e do tamanho adequado dos materiais particulados, de tal modo que os vazios maiores sejam preenchidos com partículas menores, contribuindo, assim, para o aumento da densidade do material (BARBOSA, 2008).

As propriedades físicas e químicas dos agregados e das misturas ligantes são essenciais para a vida das estruturas (obras) em que são usados. São inúmeros os exemplos de falência de estruturas em que é possível chegar-se à conclusão que a causa foi a seleção e o uso inadequado dos agregados (VALVERDE, 2016).

Aproximadamente 3/4 do volume do concreto é ocupado por agregados. Eles não só limitam a resistência do concreto, como também suas propriedades afetam significativamente a durabilidade e o desempenho estrutural do concreto (DOMINGUEZ et al, 2014). A relevância do setor de agregados para a sociedade é destacada por estar diretamente ligada à qualidade de vida da população tais como: a construção de moradias, saneamento básico, pavimentação e construção de rodovias, vias públicas, ferrovias, hidrovias, portos, aeroportos, pontes, viadutos etc. (FERREIRA E FONSECA JUNIOR, 2012). Dos agregados, a areia é ímpar, pois se vincula

ao lazer, a diversos segmentos da indústria, a construção civil, dentre outras atividades (SOUZA, 2012).

4.3.3 Aditivos

A procura por concretos e argamassas cada vez mais resistentes, trabalháveis e a grande exigência em relação ao custo, trouxe ao mercado da construção civil, o desenvolvimento dos aditivos. Inicialmente desenvolvidos no Japão e na Alemanha no início da década de 60, hoje são empregados em larga escala em obras de construção civil em todo o mundo (GRAEFF e FILHO, 2002). Segundo o ACI 212.3R (1996), os aditivos, são produtos químicos utilizados em argamassas e concretos, com a finalidade de modificar suas propriedades no estado fresco e/ou endurecido, tornando-os mais adequado em termos de trabalho, manuseio, custo entre outros (MELO, 2015).

O uso dos aditivos é destinado para garantir elevada fluidez e estabilidade adequada às misturas, evitando a segregação ou exsudação, efeitos indesejáveis decorrentes do emprego de elevadas dosagens de aditivos superplastificantes (MEIRELES, 2009). A classificação dos aditivos é feita a partir da sua função principal e tem como base a ABNT NBR 11768/2011, assim de acordo com Gasparin (2017) os mesmos são classificados como:

- a) Aditivo plastificante (P); tem por finalidade aumentar o índice de consistência do concreto, por conseguinte aumentando a fluidez ou o abatimento, mantendo a quantidade de água de amassamento ou ainda reduzindo até 6% a quantidade da mesma. Essa categoria é subdividida pelas funções que cada aditivo plastificante como, retardador de pega (PR), acelerador de pega (PA), caso não possua uma característica secundária mantém-se então como aditivo plastificante normal (PN).
- b) Aditivo superplastificante (SP); possui grande capacidade de redução de água sem influenciar a consistência, aumentando consideravelmente a fluidez ou abatimento do concreto, também possui características secundárias como a aceleração da pega (SP-A), retardo da pega (SP-R), ou comportar-se sem alteração de sua característica principal (SP-N).
- c) Aditivo Incorporador de Ar (IA); como o nome já define, serve para incorporar ar no interior do concreto fresco através de pequenas bolhas que se mantém no estado endurecido.
- d) Aditivo acelerador de pega (AP); função principal retardar o processo de endurecimento do concreto, ideal para climas mais frios.

- e) Aditivo acelerador de resistência (AR); aumenta o ganho de resistência do concreto nos primeiros dias, podendo influenciar ou não no tempo de pega.
- f) Aditivo retardador de pega (RP); aumenta o processo de início da pega, e a passagem do concreto de plástico para endurecido.
- g) Aditivo Multifuncional; servem como plastificantes e redutores de água, possuem doses maiores que os plastificantes convencionais e atribuem um aumento na trabalhabilidade do concreto fresco.

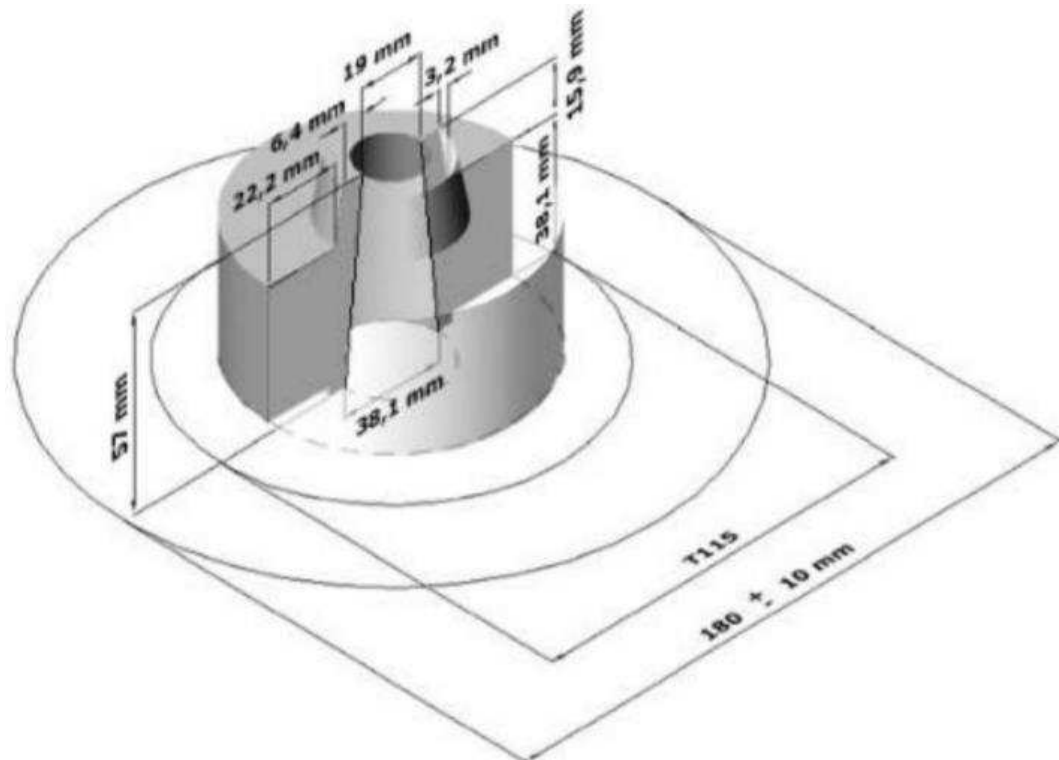
Como no presente estudo será utilizado o aditivo superplastificante, no próximo tópico será caracterizado suas propriedades, bem como seus tipos e aplicações.

4.3.4 Mini – Slump

O teste para encontrar o teor ótimo foi realizado a partir do ensaio do mini slump criado por Kantro (1980), cujo objetivo é avaliar as características da pasta quanto a sua tendência à segregação e exsudação. Segundo Castro (2007), o mini-abatimento demonstra a influência dos aditivos e adições na fluidez e compatibilidade do cimento com aditivo superplastificante. Um dos pontos positivos deste ensaio é que é de fácil execução e utiliza pouco volume de argamassa.

Depois da homogeneização da argamassa, o ensaio se inicia com o enchimento do cone, representado na Figura 14, centralizado numa placa de vidro nivelada com uma folha de papel milimetrado concêntrica referenciada por dois círculos: um com diâmetro mínimo de 115 mm (T115) e outro com diâmetro máximo de 180 mm (T180). Em seguida, puxa-o em ângulo de 90°, medindo o espalhamento final com ajuda de um paquímetro, d_1 e d_2 em direções perpendiculares, tendo como resultado do espalhamento a média dos diâmetros medidos.

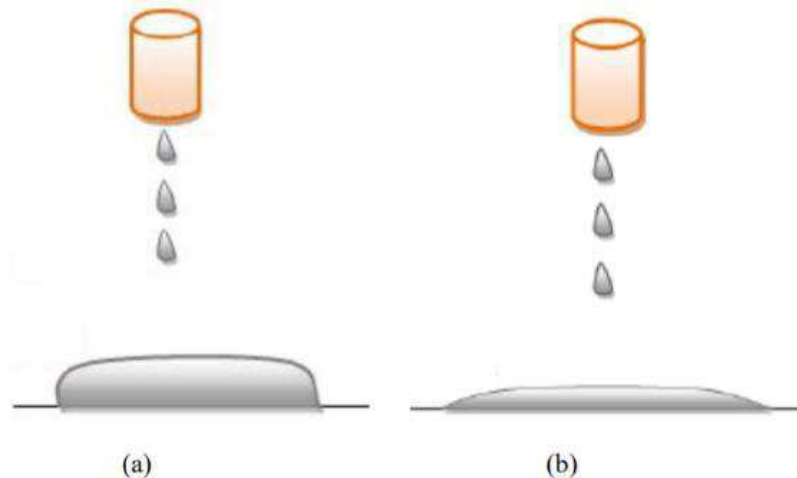
Figura 14 - Mini Slump de Kantro



Fonte: Martins, 2009.

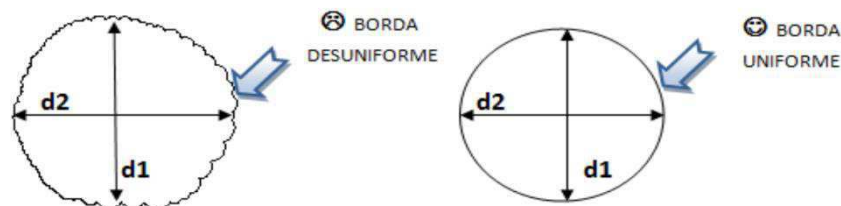
Um ponto importante abordado por Martins (2009) é o aspecto visual das bordas da pasta. A espessura das bordas (Figura 15) e a sua uniformidade (Figura 16) definirão se a pasta segregará ou exsudarará. Quanto mais espessas e uniformes as bordas, mais coesão há entre os materiais e assim não haverá segregação.

Figura 15 - Análise da espessura das bordas. (a) Bordas espessas, sem tendência à segregação. (b) Bordas líquidas, com tendência à segregação



Fonte: Adaptado de Martins (2009).

Figura 16 - Análise visual da borda: Tendência à segregação



Fonte: Martins, 2009.

4.3.5 Estudo do traço

A escolha do traço inicial para realização de estudo da dosagem neste trabalho partiu da análise da Tabela 11 abaixo, a qual resume os traços utilizados por vários autores para a fabricação de argamassas autonivelantes com diferentes tipos de substituições e adições em sua composição.

Figura 11 - Tabela utilizada para escolha do traço

Autor	Molin Filho (2012)	Molin Filho (2012)	Martins (2009)	Souza, Ferreira e Azevedo (2012)	Souza, Ferreira e Azevedo (2012)	Souza, Ferreira e Azevedo (2012)	Souza (2013)	Yang, Zhang e Yan (2016)	Cambaz, Topçu e Atesin (2016)	Carvalho (2015)
Traço C:A:R	1:2:0,5	1:2:0,4	1:0:0,05	1:1,875:0,25	1:1,55:0,05	1:1,25:0,05	1:4,86:0,89	1:1,75:1,25	01:02	01:02
Proporção utilizada	Massa	Massa	Massa (sem areia)	Massa	Massa	Massa	Massa	Volume	Volume	Volume
W/Ms			0,67	0,232	0,220	0,236	0,159	0,042	0,167	0,167
SP	0,5% Policarboxilato	0,4% Policarboxilato	0,5% Policarboxilato	0,9% Policarboxilato	0,9% Policarboxilato	0,4% Policarboxilato	2,29%	-	1%	Variável entre 0,25 e 0,4% Policarboxilato
Resíduo	Cinza de bagaço de cana-de-açúcar	Cinza de bagaço de cana-de-açúcar	Sílica ativa SILMIX	Sílica ativa Tecnosil	Sílica ativa Tecnosil	Sílica ativa Tecnosil	Filer calcário	Filer calcário	-	Adições minerais variáveis entre 10 e 15% em substituição ao CP
MF areia	1,7	1,7	-	1,01	1,01	1,01	2,2	-	-	1,39
Cimento			CP V - ARI	CP V - ARI	CP V - ARI	CP V - ARI	CPII-F-32.	-	-	CP V - ARI
W/C	0,5	0,5	0,7	0,73	0,57	0,54	1,07	0,21	0,5	0,5
AMV	-	-	0,80%	0,94%	0,94%	0,77%	-	-	-	-

C – Cimento; A – Areia; R – Resíduo; W – Água; Ms – Materiais secos; SP – Superplastificante; MF – Módulo de Finura; AMV – Aditivo Modificador de Viscosidade

Fonte: Mendes, 2019.

4.4 Execução do contrapiso autonivelante

De acordo com Souza (2013), o contrapiso autonivelante é um elemento do subsistema piso, constituído de uma única camada de material, lançado sobre uma base (laje estrutural) adequadamente preparada, devendo apresentar características como fluidez, espessura, resistência mecânica e durabilidade adequadas ao atendimento de suas funções principais, que são:

- possibilitar o recebimento do revestimento de piso;
- transmitir à laje suporte as cargas de utilização;
- proporcionar os níveis necessários aos ambientes contíguos, não sendo possível executar desníveis e declividades para os ambientes.

Na Figura 1 está representado as camadas que constituem o sistema de piso.

Figura 1 - Detalhamento do sistema de piso



Fonte: Litwinczik, 2013.

Os cuidados com o substrato de aplicação são sempre importantes em diversos sistemas. Nakakura, et al., chama atenção para a base do contrapiso que deve:

- Estar livre de sujeira, resíduos de construção, obstáculos e materiais, como madeiras, ferros etc.;
- Não apresentar desníveis ou buracos de qualquer dimensão;
- Não conter fissuras ou rachaduras;
- Ter a superfície coesa (sem esfarelar), sem apresentar som cavo quando percutida e alinhada em todas as direções (toda a superfície deve pertencer ao mesmo plano);
- Não apresentar partes soltas ou de má qualidade. Caso houver, a área deve ser refeita;
- Ter a superfície nivelada (utilizar mangueira de nível na aferição).

É bom lembrar ainda da importância que tem a cura neste processo, pois contribui para evitar o fenômeno da fissuração oriunda da retração, que é responsável pelo aparecimento de fissuras e trincas. De acordo com a ABNT NBR 6118 Projeto e execução de obras de concreto armado, deve-se fazer uma proteção nos primeiros 7 dias, contados a partir do lançamento,

molhando continuamente a superfície do concreto (irrigação), ou mantendo uma lâmina d'água sobre a peça concretada (submersão), ou ainda recobrando com plásticos e similares (RIBEIRO, et al., 2006).

A Tabela 3 abaixo apresenta a comparação feita entre três tipos de argamassa de contrapiso, demonstrando as vantagens e desvantagens de cada uma.

Tabela 3 - Comparação dos tipos de argamassas

Argamassa de contrapiso ensacada	Argamassa de contrapiso dosada em central	Argamassa de contrapiso tipo farofa
Não depende de entrega programada.	A entrega precisa ser programada com antecedência.	Não depende de entrega programada.
Necessita de argamassadeira acoplada à bomba.	A argamassa é lançada direto na bomba.	A mistura é feita em betoneira convencional
Necessita de mais mão de obra para transporte e mistura da argamassa.	A mão de obra fica responsável apenas pelo bombeamento e espalhamento da argamassa.	Necessita de mais mão de obra para transporte dos materiais e mistura da argamassa.
Não depende diretamente do mercado das concreteiras.	Mais susceptível a variações de demanda da central em outras áreas do mercado.	Materiais comuns e encontrados com facilidade em depósitos de construção.
Deve-se atentar para a correta dosagem da água de emassamento.	Melhor controle da dosagem.	Deve-se atentar para a correta dosagem dos materiais e da água de emassamento.
A argamassa vai sendo produzida na medida em que será utilizada.	A demora na entrega pode acarretar em perda do material.	A argamassa vai sendo produzida na medida em que será utilizada.
O uso não depende de infraestrutura de usina próxima à obra.	O uso está condicionado à presença de usina próxima à obra.	O uso não depende de infraestrutura de usina próxima à obra.

Fonte: adaptado de SOUZA (2013).

Para a execução do contrapiso autonivelante, é importante seguir algumas etapas e tomar alguns cuidados para evitar problemas posteriores de retração e fissuração da argamassa. Tais etapas são descritas a seguir, de acordo com Melo (2015) e Ramires e Neto (2016):

- I. Após lavagem da base para retirada de todo resto de materiais aderidos, faz-se a delimitação e mapeamento da área a ser trabalhada, através de nível a laser ou de mangueira, obtendo a variação das contas e uma estimativa de quantidade média de argamassa a ser utilizada.

- II. Posteriormente, umedece-se a base e coloca-se juntas de dessolidarização no encontro com a parede para eliminação de possíveis fissuras ou trincas. Podem ser utilizadas placas de isopor, fita de polietileno expandido, dentre outros.
- III. O próximo passo é transferir o nível das cotas para os pontos de referência (paredes, pilares...), utilizando trenas e nível a laser. Logo após, posiciona-se as niveletas espaçadas entre 1m² a 4m², respeitando a espessura mínima e máxima de 3cm e 9cm, respectivamente.

Figura 2 - Posicionamento das niveletas



Fonte: FIGUEROLA (2015).

- IV. Lançamento da argamassa autonivelante. Para as argamassas dosadas na obra, o bombeamento é realizado direto da betoneira para a bomba que propulsiona o material até o local por meio de mangotes, respeitando os níveis das niveletas.

Figura 3 - Lançamento da argamassa autonivelante



Fonte: FIGUEROLA (2015).

- V. Após o lançamento da argamassa, faz-se o acabamento, no qual é realizado com o auxílio de um rolo dentado que é utilizado para o espalhamento; rolo fura bolhas para remoção das bolhas de ar que ficam após o espalhamento; régua "T" para dar um acabamento mais uniforme.

Figura 4 - Rolo dentado, rolo fura bolhas e régua "T"



Fonte: FIGUEROLA (2015).

VI. A última etapa é a cura do contrapiso, iniciando 24 horas depois do início da pega, mantendo o local sempre úmido por, no mínimo, 72 horas. Após 48 horas o contrapiso já pode receber trânsito de pessoas.

Desta forma, percebe-se que o uso da argamassa autonivelante é limitado a locais que precisam de caimentos e desníveis, como é o caso das áreas molhadas (banheiros e cozinhas).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

O programa experimental da pesquisa se dividiu em cinco etapas:

Etapa I – Delimitação da pesquisa: escolha do tema, identificação dos recursos disponíveis, decisão dos ensaios que iriam ser realizados e definição da quantidade e origem do resíduo a ser utilizado.

Etapa II – Revisão bibliográfica: nesta etapa foram realizadas pesquisas e levantamento bibliográfico acerca do tema em questão. Foi definido as porcentagens de substituição do resíduo, bem como do aditivo SP e escolhido o traço a partir da análise de alguns trabalhos.

Etapa III – Caracterização dos materiais: num primeiro momento, fez-se a granulometria da areia e do resíduo adquiridos e percebeu-se que eram muito grossos para o uso em argamassa autonivelante. Portanto, foi escolhido trabalhar com a faixa granulométrica fina descrita por Bauer (2008), representada na Tabela 2, tendo que peneirá-la antes de seu uso.

Etapa IV – Análise do comportamento da pasta: foram realizados vários testes preliminares com a argamassa com o objetivo de ajustar os teores de SP e relação a/c, fixando-os posteriormente para o uso em todas as substituições.

Etapa V – Análise dos resultados: foram feitas as análises e discussões dos resultados obtidos dos ensaios no estado fresco e endurecido, de acordo com a bibliografia estudada.

5.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados para a produção da argamassa foram:

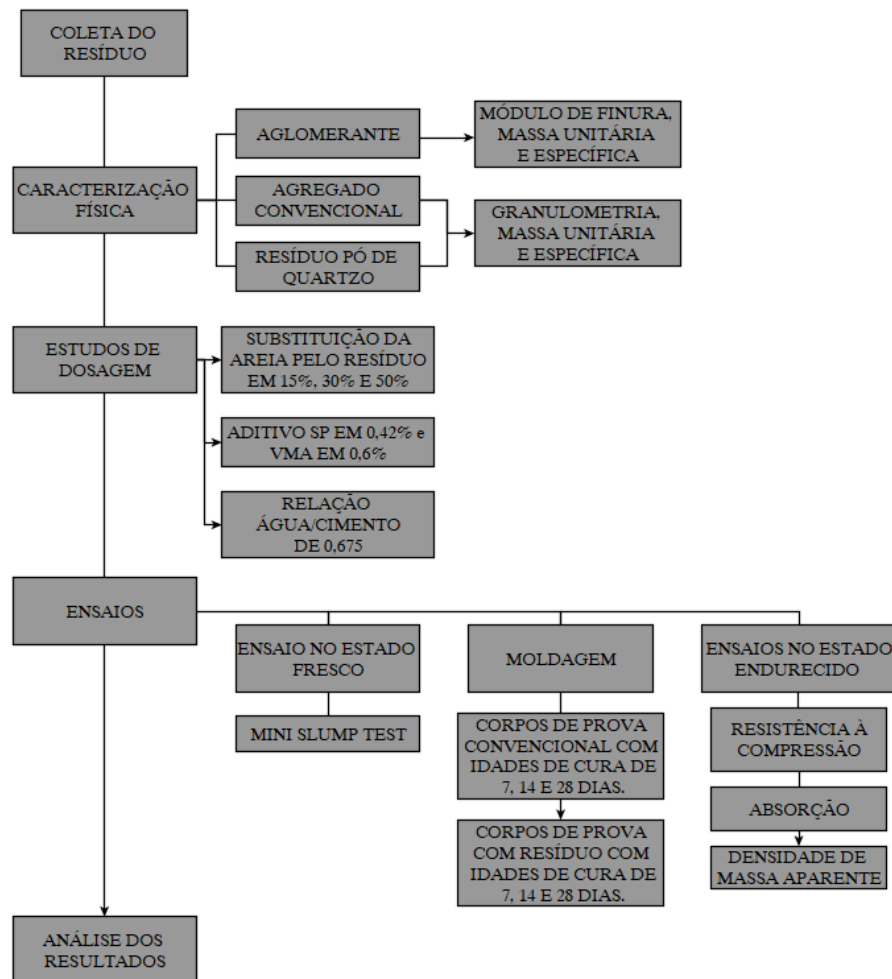
- aglomerante do tipo CP II F 32;
- agregados miúdos (areia média/grossa e pó de quartzo);
- aditivo do tipo superplastificante e modificador de viscosidade;
- água fornecida pela Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA).

A escolha desse tipo de aglomerante foi limitada pela disponibilidade do mercado local, sendo difícil encontrar o CP V- ARI na região onde a pesquisa foi desenvolvida.

5.2 MÉTODOS

Os procedimentos para execução da etapa III descrita anteriormente seguiram a ordem representada no fluxograma da Figura 5 a seguir:

Figura 5 - Fluxograma das atividades realizadas



Fonte: Autor, 2021.

5.2.1 Coleta e beneficiamento dos agregados miúdos

O agregado natural foi adquirido no comércio local de Pombal-PB, bem como o cimento Portland. O resíduo pó de quartzo foi obtido por doação da empresa Armil Mineração da cidade de Parelhas-RN, extraído nas minas da região, como mostra a Figura 6.

Para beneficiamento das matérias primas, primeiramente foi realizado o quarteamento para homogeneização das amostras dos agregados e, logo após, o peneiramento dos mesmos,

sendo utilizado o material passante na peneira de malha 1,2 mm, para a fabricação da argamassa autonivelante.

Figura 6 – Box do resíduo de quartzo na Arnil Mineração



Fonte: Autor, 2021.

5.2.2 Caracterização física

Nesta etapa foram realizados os ensaios de módulo de finura, massa unitária e específica para o aglomerante e determinada a granulometria, massa unitária e específica dos agregados miúdos.

5.2.2.1 Módulo de finura, massa unitária e específica

O módulo de finura do cimento foi determinado de acordo com a ABNT NBR 11579/13. Já sua massa unitária foi feita utilizando a ABNT NBR 45/06 e a massa específica pela ABNT NBR 16605/17, através do frasco volumétrico de Le Chatelier.

A determinação da massa unitária da areia e do pó de quartzo foi feita utilizando a mesma norma utilizada para o cimento. Para realização do procedimento pesa-se três vezes um recipiente de volume conhecido com o material e depois tira a média dos valores obtidos e subtrai o peso do recipiente. A massa unitária é o resultado da divisão da média pelo volume do recipiente. A massa específica dos agregados miúdos foi obtida segundo a DNER – ME 084/95.

5.2.2.2 Análise granulométrica

Para o ensaio de granulometria dos agregados miúdos foi utilizado a ABNT NM 248/2001. A partir da análise da composição granulométrica dos agregados, podem ser feitas a classificação das partículas, através da sua respectiva dimensão, bem como mensurar a quantidade da fração dos grãos correspondentes a cada tamanho presente no material. Este ensaio é de suma importância, pois a composição granulométrica do material influencia em propriedades como a trabalhabilidade e a resistência aos esforços mecânicos.

A fim de obter a curva granulométrica dos agregados utilizados, foi passado o material retirado da estufa no quarteador e posteriormente, pesadas duas amostras de 500gr cada, sendo as mesmas peneiradas nas peneiras das series normais conforme descrita na norma tal, com auxílio do agitador mecânico (Figura 7 e Figura 8). Após esse processo, o material retido em cada peneira foi pesado. O procedimento foi realizado para ambas as amostras e ao final fez uma média de forma que a soma final representasse 100% das mesmas, com tolerância de 0,5% de variação. Posteriormente, com os resultados das massas retidas acumuladas e passante plotou-se o gráfico da curva granulométrica de cada agregado.

A composição granulométrica da areia e do pó de quartzo estão representadas na Figura 9.

Figura 7 - Quarteamento da areia



Fonte: Autor, 2021.

Figura 8 - Agitador mecânico



Fonte: Autor, 2021.

Figura 9 - Composição granulométrica da areia e do pó de quartzo



Fonte: Autor, 2021.

5.2.3 Estudos de dosagem

Na etapa IV da pesquisa, primeiramente foi realizado o estudo das porcentagens de substituição que seriam utilizadas neste trabalho a partir da bibliografia. Assim, foram escolhidas as porcentagens de 15%, 30% e 50% de substituições do agregado miúdo pelo resíduo, para ver como a argamassa se comportava com uma baixa porcentagem de substituição até ter a metade de sua massa substituída pelo pó de quartzo, sendo escolhida também uma porcentagem intermediária para caso a argamassa não respondesse bem à substituição de 50%.

Para a escolha do traço, de início foram testadas as proporções comuns da argamassa tradicional utilizadas na obra, afim de conseguir os mesmos traços na argamassa autonivelante, apenas com a mudança na quantidade de água e aditivo. Dessa forma, foram testados os traços de 1:3, 1:4, 1:5, 1:6 e 1:8. Porém, após várias tentativas de diferentes relações a/c e de aditivo SP, não se chegou à uma dosagem ótima de argamassa autonivelante, pois, para estes traços, as relações de a/c e SP passavam do fator 1, o que causavam a exsudação da argamassa. Assim, foi utilizado um comparativo de dosagens de trabalhos de argamassa autonivelante, e testado os traços de 1:1,5 e 1:2, estabelecendo este último como o traço a se estudar neste trabalho. A Figura 11 mostra a tabela resumo de dosagens de argamassa autonivelante segundo diversos autores feito por Mendes (2019).

Após esta etapa, foram feitos vários testes com este traço para saber qual a melhor relação de a/c e aditivos. Foram testados três tipos de aditivos: um plastificante e um

superplastificante do fabricante A e outro superplastificante do fabricante B. Para cada relação de a/c testou-se diferentes porcentagens de aditivos. Porém, percebeu-se que ainda estava tendo um pouco de exsudação e, dessa forma foi adicionado à argamassa aditivo modificador de viscosidade, procedendo os testes da mesma forma que descritos anteriormente. A figura 12 abaixo mostra a consistência das pastas produzidas com as diferentes porcentagens dos aditivos.

Figura 12 - Teste de dosagens com diferentes aditivos



Fonte: Autor, 2021.

A produção da argamassa autonivelante, a partir do traço acima, seguiu os procedimentos expressos na ASTM C109, na qual indica que a mistura seja feita de forma mecanizada. Para isso, foram utilizados um martetele e um misturador de argamassa, como mostra a Figura 13.

Figura 13 - Produção da argamassa



Fonte: Autor, 2021.

5.2.3.1 Materiais e métodos utilizados para o mini-slump

Os materiais utilizados para realização dos ensaios do mini-slump foram:

- Balança de precisão 0,1g;
- Nível de bolha;
- Bacias;
- Cápsulas de alumínio;
- Recipientes de 500ml;
- Espátulas;
- Placa de vidro de (50x50) cm com marcações das circunferências referentes ao mini cone e diâmetros máximo e mínimo de 115mm e 180mm, respectivamente;
- Paquímetro.

Os ensaios tiveram início com o nivelamento da balança de precisão 0,1g e, posteriormente tirado a tara das cápsulas que foram utilizados para pesar os materiais secos da argamassa, bem como a água, o SP e o VMA. Logo após, misturou-se o cimento com a areia na bacia com a espátula e colocou-se aproximadamente 70% da água, o restante foi misturado com o SP e o VMA adicionado logo em seguida na mistura. Já com o mini cone centralizado na placa, foi adicionado a argamassa autonivelante no mesmo e depois puxando-o à 90°. Após o escoamento cessar, mediu-se os diâmetros de forma ortogonal à placa (d1 e d2). Por fim, todo o material foi lavado para o próximo ensaio. Para a argamassa com a substituição do pó de quartzo, adicionou-o na mistura com o cimento e areia e depois realizado todas as etapas já descritas.

Na Figura 17 estão representados os ensaios do mini-abatimento de cone feitos durante as fases de testes da dosagem, mostrando a argamassa com consistência ainda endurecida, com exsudação e na dosagem ótima. A Figura 18 mostra o diâmetro de espalhamento alcançado pela argamassa na dosagem ótima.

Figura 17 – (a)Argamassa sem escoamento;(b)Argamassa exsudada;(c)Argamassa ótima



Fonte: Autor, 2021.

Figura 18 - Medição do espalhamento da argamassa



Fonte: Autor, 2021.

5.2.4 Moldagem e cura dos corpos de prova

Para a moldagem dos corpos de prova foi utilizada a ABNT NBR 7215/2019, que determina o uso de moldes cilíndricos com dimensões de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. Como foram necessários mais moldes do que o laboratório disponibilizava, foi utilizado tubo PVC de 50 mm e cortados a cada 100 mm, totalizando 60 moldes. Como se trata de um material fluido, não é necessário compactar e/ou adensar.

Foram confeccionados 5 corpos de prova para cada porcentagem de substituição. A fim de comparar o desempenho da argamassa estudada, também foram moldados corpos de prova convencionais, ou seja, sem adição do resíduo. Assim, foram utilizados 5 corpos de prova para cada porcentagem (0%, 15%, 30% e 50%) estudada para realização dos ensaios de resistência à compressão e absorção, 5 para cada, resultando em 120 corpos de prova.

Um fato observado durante a execução da argamassa foi que com o aumento da porcentagem do pó de quartzo, a relação de a/c diminuía. Isto pode ser explicado pela diferença granulométrica dos agregados, na qual o resíduo possui menor quantidade de finos que a areia natural.

A cura escolhida foi a cura úmida regulamentada pela ABNT NBR 7215/2019. Ela informa que os corpos de prova devem ficar em cura inicial ao ar por 24 horas. Terminado este período inicial de cura, foram desmoldados e logo em seguida imersos na água, permanecendo até o momento da realização dos ensaios mecânicos.

Durante esta etapa, percebeu-se que os corpos de prova com substituição de 30% e 50% não estavam prontos para serem desmoldados, tendo que permanecer dentro dos moldes por no mínimo 72 horas para conseguir retirá-los sem danificá-los.

A Figura 19 mostra a execução da moldagem dos corpos de prova, na qual verifica-se a fluidez da argamassa autonivelante confeccionada, bem como a falta de exsudação e segregação já moldada. Como descrito anteriormente, na Figura 20 pode-se observar os danos causados à um corpo de prova com substituição de 50% ao tentar desmoldá-lo depois das 24 horas da cura inicial.

Figura 19 - Moldagem dos corpos de prova



Fonte: Autor, 2021.

Figura 20 - Corpos de prova danificados



Fonte: Autor, 2021.

5.2.5 Ensaios mecânicos

Logo após o período de cura descrito anteriormente, para as idades de 7, 14 e 28 dias, foram realizados os ensaios mecânicos de resistência à compressão e de absorção.

5.2.5.1 Ensaio de resistência à compressão

Para a realização deste ensaio foi seguido os procedimentos descritos na ABNT NBR 7215/2019 e utilizada a prensa hidráulica manual SKAY para o rompimento dos corpos de prova, como mostra a Figura 21.

Figura 21 – (a) Ensaio de resistência à compressão; (b) Corpo de prova rompido



Fonte: Autor, 2021.

Como não se tem normas específicas para ensaios, classificação e execução de argamassa autonivelante, foram utilizadas as normas brasileiras para argamassas convencionais, bem como algumas normas americanas próprias desse tipo de argamassa.

Dessa forma, foi utilizada a ABNT NBR 13281/ 2005 que determina que as argamassas convencionais cumpram os requisitos estabelecidos nesta norma, na qual classifica as argamassas em seis classes, de acordo com suas características e propriedades. Na Tabela 4 está representada as classes da argamassa de acordo com sua resistência à compressão e que foi utilizada para a classificação da argamassa autonivelante produzida.

Tabela 4 - Classes de argamassas de acordo com a resistência à compressão

Classe	Resistencia à compressão (Mpa)	Método de ensaio
P1	≤ 2,0	ABNT NBR 13279
P2	1,5 a 3,0	
P3	2,5 a 4,5	
P4	4,0 a 6,5	
P5	5,5 a 9,0	
P6	> 8,0	

Fonte: ABNT NBR 13281/2005.

5.2.5.2 Absorção de água

Os procedimentos seguidos para a realização do ensaio de absorção de água estão expostos na ABNT NBR 9778/09. Na primeira etapa, os corpos de provas foram colocados na estufa à temperatura de 105°C ±5°C por 48 horas e posteriormente pesados. Após a obtenção da massa seca, os corpos de prova foram colocados em imersão permanecendo com um 1/3 do seu volume imerso nas primeiras 4 h, 2/3 nas 4 h seguintes e completamente imersos nas 40 h restantes, como mostra a Figura 22. Por fim, foram retirados da água, enxugados e pesados.

Para obter os percentuais individuais dos valores de absorção de água, foi utilizado a Equação (1). Quando o corpo de prova é seco em estufa até a constância da massa, ele se torna um corpo sólido poroso que, quando submerso, a água tende a ocupar estes poros. Assim, a diferença entre o incremento de massa após a imersão e a massa seca em estufa representa a taxa de absorção de água do corpo de prova analisado.

$$A = \frac{m - m_s}{m_s} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

A = absorção de água (%)

m_s = massa do corpo de prova seco em estufa (g)

m = massa do corpo de prova saturado (g)

Figura 22 - Corpos de prova na cura úmida com 2/3 do volume imersos



Fonte: Autor, 2021.

5.2.6 Densidade de massa aparente no estado endurecido

De acordo com a ABNT NBR 13280/2005, a massa aparente no estado endurecido é calculada com a seguinte equação:

$$d = \frac{m}{v} \times 1000 \text{ Equação (2)}$$

Onde,

d = densidade de massa (Kg/m^3)

m = massa seca (g)

v = volume do corpo de prova

Para a classificação da argamassa autonivelante estudada quanto sua densidade de massa aparente, foi utilizada a ABNT NBR 13281/ 2005. Na Tabela 5 abaixo está representada a tabela da norma utilizada.

Tabela 5 - Densidade de massa aparente no estado endurecido

Classe	Densidade de massa aparente (Kg/m^3)	Método de ensaio
M1	≤ 1200	ABNT NBR 13280
M2	1000 a 1400	
M3	1200 a 1600	
M4	1400 a 1800	
M5	1600 a 2000	
M6	> 1800	

Fonte: ABNT NBR 13281/2005.

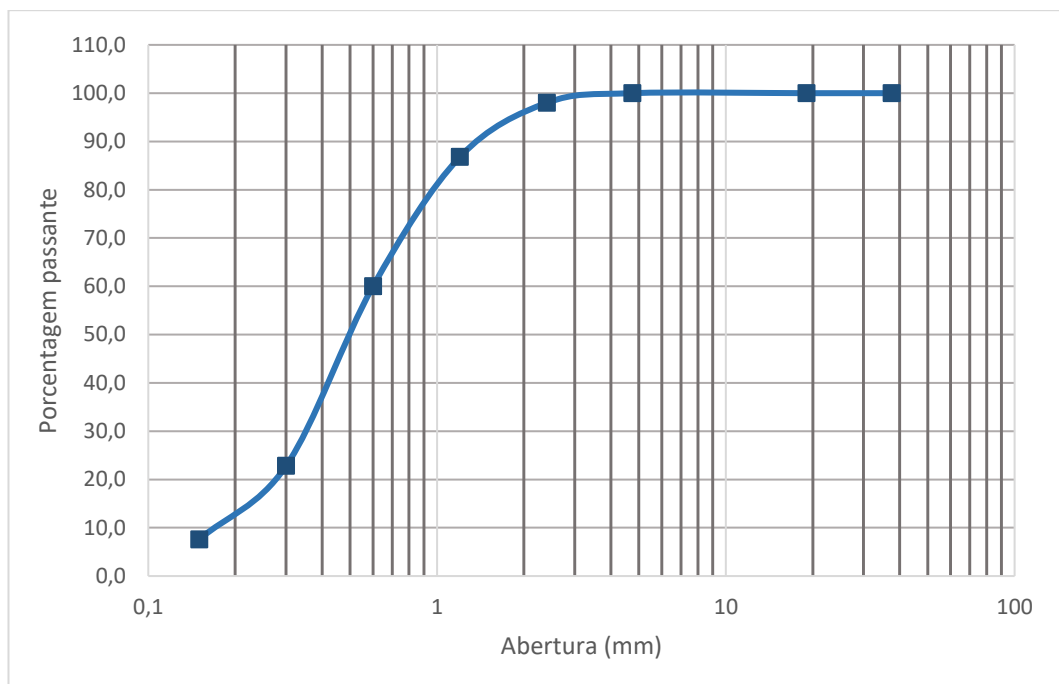
6 Resultados e Discussões

6.1 Caracterização física dos materiais

6.1.1 Análise granulométrica

No Gráfico 1 está representada a curva granulométrica do agregado miúdo natural antes do seu beneficiamento, obtida através do uso da série de peneiras normal descritas na ABNT NBR 7211/2009.

Gráfico 1 - Curva granulométrica do agregado miúdo in natura



Fonte: Autor, 2021.

Para identificar as características de uniformidade e graduação do agregado miúdo, são definidos os seguintes índices: diâmetro efetivo (D_{10}) = 0,17mm; diâmetro D_{30} = 0,35mm e diâmetro D_{60} = 0,6mm. A partir desses valores, calcula-se o grau de uniformidade (U) pela Equação 3 abaixo:

$$U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{Equação 3}$$

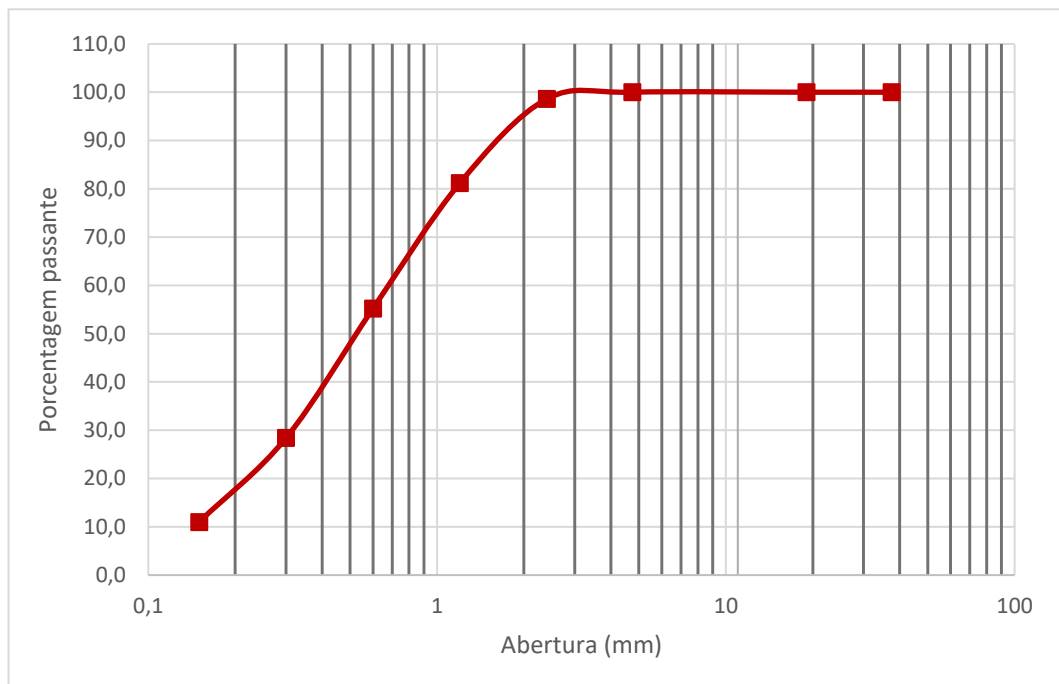
Dessa forma, a uniformidade do agregado miúdo utilizado foi igual a $U = 3,5$, sendo classificado como muito uniforme e mal graduado, grãos com diâmetros próximos, segundo o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS).

Para a fabricação da argamassa, a areia natural passou pelo processo de beneficiamento, através do peneiramento, sendo utilizada a porcentagem passante da peneira com abertura de 1,2mm. Essa escolha partiu da análise da Tabela 2, na qual Bauer (2008) explicita que a granulometria de areias finas está num intervalo de 0,6mm até 0,15mm.

Porém, optou-se por utilizar o fundo por entender que, como este estudo tem objetivo prático, ou seja, estudar uma argamassa autonivelante que possa ser utilizada em obra, não é possível a retirada desta parte fina no local da construção, pois se assim fosse feito, impactaria negativamente a produtividade da mesma.

O Gráfico 2 mostra a curva granulométrica do resíduo pó de quartzo. Nota-se que a maior concentração do resíduo está entre as aberturas de 0,15mm e 1,2mm. Da mesma forma que se procedeu com o agregado miúdo, o resíduo foi peneirado na peneira de abertura 1,2mm, sendo utilizado apenas o material passante, para obter uma granulometria fina de acordo com a Tabela 2.

Gráfico 2 - Curva granulométrica do resíduo pó de quartzo



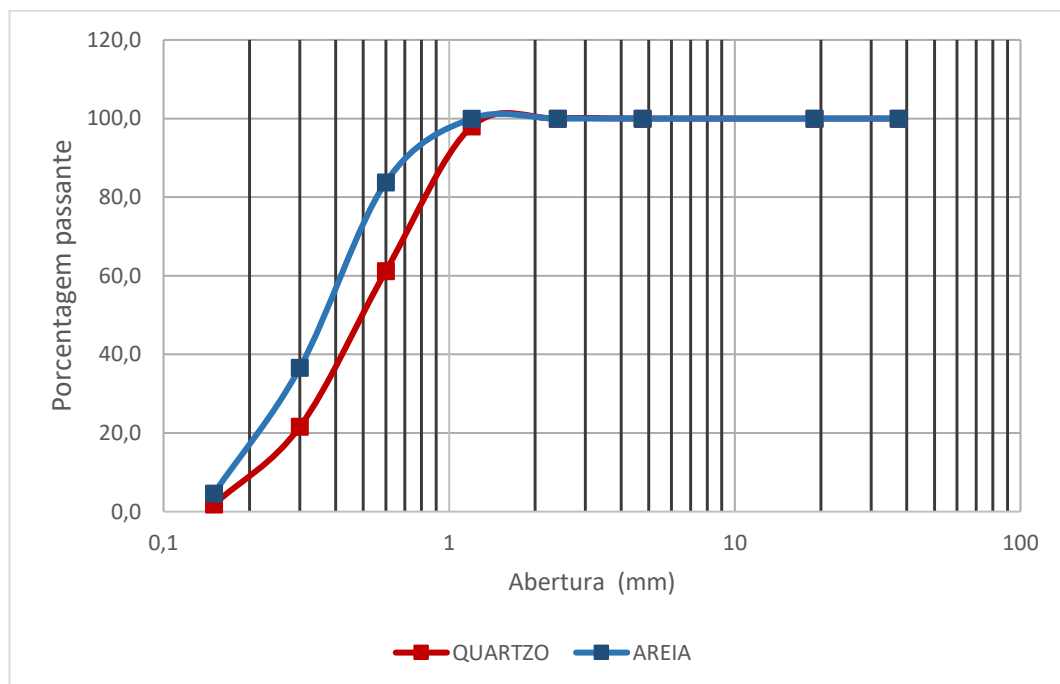
Fonte: Autor, 2021.

A fim de confeccionar o Gráfico 3 para fazer uma comparação das curvas granulométricas da areia natural e resíduo antes do beneficiamento, foram utilizados os dados da Tabela 6, na qual se percebe grande semelhança entre eles.

Tabela 6 - Resultados obtidos da porcentagem passante da areia e resíduo

Abertura (mm)	Porcentagens passantes	
	Areia natural	Pó de quartzo
37,5	100	100
19	100	100
4,75	100	100
2,4	98	98,6
1,2	86,8	81,2
0,6	60	55,2
0,3	22,8	28,4
0,15	7,6	11

Fonte: Autor, 2021.

Gráfico 3 - Comparativo das curvas granulométricas após o beneficiamento

Fonte: Autor, 2021.

Analisando as curvas granulométricas antes (Gráfico 1 e Gráfico 2) e após o beneficiamento (Gráfico 3) do agregado miúdo e do resíduo pó de quartzo, percebe-se que, antes do beneficiamento as curvas granulométricas do rejeito eram semelhantemente do agregado natural, contendo uma maior porcentagem dos grãos no intervalo de 0,15mm a 1,2mm, correspondendo a mais de 80% do total. Após o beneficiamento, verifica-se que a estas curvas se distanciam, observando que a do pó de quartzo possui porcentagem passante menor que da areia, quando comparado com uma mesma abertura de peneira. Outra observação é que os índices D10, D30 e D60, utilizados para obter as características de uniformidade e graduação,

são maiores que os da areia. Assim, percebe-se que em toda faixa granulométrica analisada, há uma menor quantidade de partículas passantes do pó de quartzo, significando que suas partículas são mais grossas que do agregado natural. Dessa forma, constata-se que após o beneficiamento, ou seja, após o peneiramento do material na peneira de abertura 1,2mm, as partículas do quartzo se mostram mais grossas do que a da areia, como mostra o Gráfico 3. Uma maior concentração das partículas nas peneiras menores que 0,3mm, afeta diretamente a quantidade de água usada na argamassa, pois grãos de menores dimensões tendem a absorver mais água, que mesmo aumentando a sua trabalhabilidade e fluidez, diminuem sua resistência. Isso é afirmado por Freitas (2010), que, segundo afirma, a distribuição granulométrica é uma das principais características do agregado e deve ser analisada porque está diretamente relacionada com o desempenho da argamassa, interferindo no consumo de água, no consumo de aglomerantes e na trabalhabilidade da mistura. Como há uma maior concentração de partículas grossas de pó de quartzo que a areia natural no material utilizado, há uma tendência das argamassas com maior proporção de areia ter uma maior relação de água/cimento.

6.3.2 Massa específica e massa unitária

Os resultados da massa específica e massa unitária dos materiais usados para a confecção da argamassa estão dispostos na Tabela 7.

Tabela 7 – Características físicas dos materiais

Material	Massa Específica (g/cm³)	Massa Unitária (g/cm³)
Cimento	3,05	1,42
Areia	2,7	1,36
Quartzo	2,6	1,44

Fonte: Autor, 2021.

A partir da análise dos resultados obtidos, percebe-se que o resíduo é 3,8% mais leve que a areia, visto que sua massa específica é menor. Isso pode ser devido a composição mista da areia, visto que, na sua composição possa ter a presença de outros materiais mais pesados que o quartzo, como por exemplo a mica, que possui uma densidade relativa 15% maior que o quartzo. Uma menor massa específica significa que o resíduo utilizado possui uma superfície específica menor que o da areia, exigindo menor consumo de pasta de cimento. Analisando os valores da massa unitária de ambos materiais, percebe-se que o da areia é 5% menor em relação ao do quartzo, compreendendo que os espaços vazios entre eles são praticamente os mesmos.

6.3.3 Módulo de finura

Para a determinação do módulo de finura, foram somadas as porcentagens retidas acumuladas em massa da areia e do resíduo, obtidas no ensaio da granulometria, e divididas por 100, como mostra a Tabela 8. Através desta tabela, percebe-se que o resíduo possui maior concentração de partículas mais grossas que da areia em todas as faixas granulométricas analisadas. Esta observação é constatada nos resultados obtidos do módulo de finura mostrados na Tabela 9, na qual o modelo de finura do quartzo é maior que o da areia. O módulo de finura é importante para identificar as dimensões dos grãos, sabendo que quanto maior ele for, mais graúdo é o agregado e, conseqüentemente, menor será a quantidade de pasta de cimento necessária para envolver os grãos, bem como a relação *a/c*.

Tabela 8 - Resultados obtidos de porcentagem retida acumulada da areia e resíduo

Abertura (mm)	Porcentagens retidas acumuladas	
	Areia natural	Pó de quartzo
37,5	0,00	0,00
19	0,00	0,00
4,75	0,00	0,00
2,4	0,00	0,00
1,2	0,00	0,00
0,6	16,20	38,80
0,3	63,40	78,40
0,15	95,40	98,20
Fundo	100,00	100,00

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 9 - Módulo de finura

Areia Natural	Pó de Quartzo
1,75	2,15

Fonte: Autor, 2021.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 9 e, de acordo com a Tabela 10, pode-se classificar estes materiais como finos, pois seu módulo de finura é menor que 2,4, como indicado pela norma.

Tabela 10 - Classificação do agregado quanto ao módulo de finura

Agregado	Módulo de Finura
Muito Grosso	$MF \geq 3,90$
Grosso	$3,30 \leq MF < 3,90$
Médio	$2,40 \leq MF < 3,30$
Fino	$MF < 2,40$

Fonte: ABNT NBR 7211, 2009.

6.3 Definição do traço e dosagem

Para a confecção da argamassa autonivelante, foi utilizado o traço unitário em massa de 1:2, sendo usado em massa devido a praticidade de medição no laboratório. Porém, tendo em vista seu uso prático em obra, este traço é transformado para volume, chegando em 1: 1,5.

Inicialmente, após a etapa de caracterização dos materiais, foram estabelecidas as mesmas quantidades de água, aditivos superplastificante e modificador de viscosidade para todas as substituições estudadas. Dessa forma, estas quantidades foram fixadas juntamente com do cimento, variando apenas a proporção de substituição do resíduo. Como era de se esperar, quanto maior a porcentagem do pó de quartzo na argamassa, menos água foi necessária para alcançar a dosagem ótima esperada. A diferença na quantidade de água necessária para se alcançar uma fluidez mínima ($d_m > 115\text{mm}$) entre as proporções com maior substituição de resíduo se encontra na Tabela 11. Após vários testes com diferentes porcentagens de relação a/c, SP e VMA, chegou a dosagem ótima da argamassa com os valores mostrados na Tabela 12. É importante salientar que a argamassa autonivelante não obteve fluidez nas relações de a/c, SP e VMA abaixo de 0,675/0,635, 0,42 e 0,6, respectivamente, bem como houve exsudação em proporções superiores a esta.

Terminado os testes, chegou-se ao seguinte traço em massa de C: A: SP: VMA: A/C:

1: 2: 0,42: 0,6: 0,675

Tabela 11 - Relação de a/c para as substituições estudadas

Porcentagens	a/c
Convencional	0,675
15%	0,675
30%	0,635
50%	0,635

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 12 - Cálculo do Consumo para cada corpo de prova (g)

Materiais/ Porcentagens	Convencional	15%	30%	50%
Cimento	120,0	120,0	120,0	120,0
Areia	240,0	18,0	36,0	60,0
Quartzo	-	102,0	84,0	60,0
Água	81,0	81,0	76,2	76,2
SP	5,04	5,04	5,04	5,04
VMA	7,2	7,2	7,2	7,2

Fonte: Autor, 2021.

6.3.1 Ensaio do mini-slump

Para testar a fluidez da argamassa, foi realizado o ensaio do mini cone de Kantro em todos os testes feitos na determinação da dosagem, pois este ensaio era que determinava se a argamassa tinha alcançado a fluidez mínima para ser considerada autonivelante, ou seja, o espalhamento obtido pela mistura tinha que ser superior a 115mm. Assim, os espalhamentos atingidos pela argamassa nas diferentes substituições estudadas, estão descritos na Tabela 13 e mostrados na Tabela 14.




Tabela 13 - Espalhamento da argamassa autonivelante

Porcentagens	D1 (mm)	D2 (mm)	Diâmetro Médio (mm)
0%	11,5	11,7	11,6
15%	11,6	11,9	11,75
30%	12,3	12,5	12,4
50%	12,6	13	12,8

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 14 - Espalhamentos obtidos nos testes de dosagem realizados

<p>Argamassa com espalhamento de 8,5 cm, menor que o mínimo de 11,5 cm.</p>	
<p>Argamassa com exsudação e um pouco de segregação</p>	
<p>Argamassa de 0% na dosagem ótima, com espalhamento de 11,6 cm</p>	

Argamassa de 15% na dosagem ótima, com espalhamento de 11,75 cm	
Argamassa de 30% na dosagem ótima, com espalhamento de 12,4 cm	
Argamassa de 50% na dosagem ótima, com espalhamento de 12,8 cm	

Fonte: Autor, 2021.

De acordo com a Tabela 13 e Tabela 14, percebe-se que o resíduo do pó de quartzo conferiu à argamassa autonivelante estudada uma maior fluidez e observada uma maior trabalhabilidade da mesma na hora da sua produção.

6.4 Ensaios mecânicos

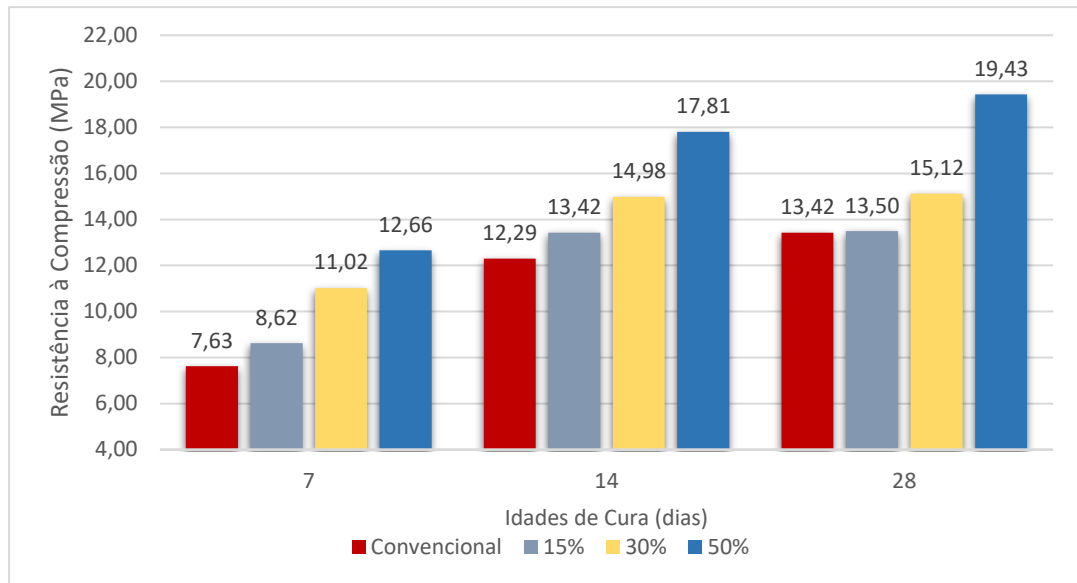
6.4.1 Resistência à compressão

Finalizado os processos feitos no estado fresco da argamassa, foi realizado o ensaio de resistência à compressão nas idades de cura de 7, 14 e 28 dias, de acordo com a ABNT NBR 7215/2019. A Tabela 15 mostra os resultados obtidos deste ensaio, sendo calculado o desvio padrão para cada idade e substituição.

Tabela 15 - Resultados do ensaio de resistência à compressão (MPa)

Porcentagens/Idades de cura	7	14	28
Convencional	7,63 ± 1,7	12,29 ± 0,51	13,42 ± 1,81
15%	8,62 ± 1,69	13,42 ± 2,18	13,50 ± 2,92
30%	11,02 ± 2,71	14,98 ± 1,5	15,12 ± 1,56
50%	12,66 ± 1,31	17,81 ± 1,08	19,43 ± 1,69

Fonte: Autor, 2021.

Gráfico 4 - Resistência à compressão das argamassas

Fonte: Autor, 2021.

O Gráfico 4 foi obtido através dos dados da Tabela 15. Fazendo uma análise do gráfico, percebe-se que a resistência à compressão da argamassa autonivelante é diretamente proporcional ao aumento da substituição do resíduo, em todas as idades de cura. Percebe-se que com 15% de substituição, o aumento da resistência se deu de forma mais tímida quando comparado com as demais porcentagens. Com 30% de substituição, houve um aumento de 44% na resistência aos 7 dias, 22% aos 14 dias e 12% aos 28 dias. A maior diferença está na comparação da argamassa convencional com a argamassa com 50% de substituição. Nesta porcentagem, nos primeiros 7 dias, houve um aumento de 66% de resistência da argamassa, enquanto que nos 14 e 28 dias, este acréscimo se deu de forma igual, com 45% a mais. Uma maior resistência da argamassa autonivelante com substituição do pó de quartzo já era esperada, pois como o mineral quartzo possui elevada dureza, sua incorporação melhoraria sua resistência.

Por outro lado, percebeu-se que o aumento da porcentagem do pó de quartzo aumentou o tempo de pega da argamassa, sendo desmoldado após 72 horas, diferentemente das substituições de 0% e 15%, que ocorreram 24 depois da moldagem. Nos estudos realizados por Rubin (2015), as argamassas autonivelantes apresentaram comportamento semelhante as argamassas farofas, no que diz respeito a tempos de início e fim de pega. O fenômeno de hidratação é resultante não só de um processo químico entre os compostos constituintes das argamassas, mas também de um processo físico, que varia em função da composição e propriedades dos materiais de cada mistura (MENDES, 2019). Dessa forma, o aumento do

tempo de pega com o aumento da porcentagem do resíduo pode ter como uma das possíveis causas, a diferença da composição física e química entre os materiais estudados.

6.4.2 Absorção de água

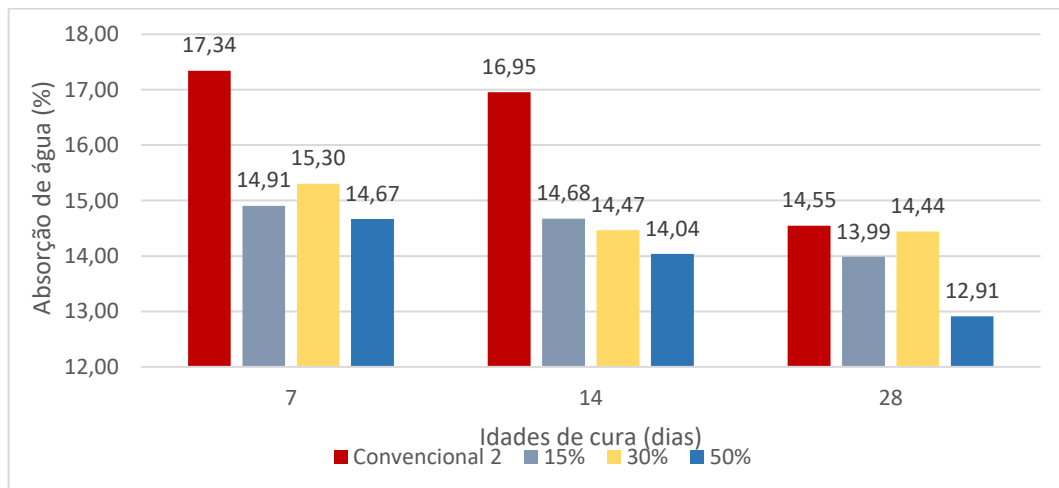
Os procedimentos para obtenção da absorção de água nas diferentes substituições de pó de quartzo, foram feitos de acordo com a ABNT NBR 9778/09. O Gráfico 5 mostra os resultados obtidos após o ensaio, no qual percebe-se que a absorção de água com o aumento da quantidade do resíduo sofre um decréscimo, tendo a substituição de 50% menor valor entre eles. A argamassa convencional obteve os maiores valores de absorção de água, sendo este fato explicado pela maior quantidade de finos presentes na areia natural que no resíduo pó de quartzo. Uma menor absorção de água está relacionada à maior resistência, isso porque, quanto maior a quantidade de água absorvida, maior o teor de vazios na argamassa, o que reduz sua compactidade e por consequência, sua resistência (NASCIMENTO, 2018). Este fato é comprovado quando se compara os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão na Tabela 15 com os resultados do ensaio de absorção na Tabela 16, percebe-se que são inversamente proporcionais, ou seja, quanto menor a resistência maior a absorção de água.

Tabela 16 - Resultados do ensaio de absorção de água

Porcentagens/Idades de cura	7	14	28
Convencional	17,34 ± 0,77	16,95 ± 0,84	14,55 ± 0,97
15%	14,91 ± 1,04	14,68 ± 0,81	13,99 ± 1,72
30%	15,30 ± 0,76	14,47 ± 1,02	14,44 ± 1,05
50%	14,67 ± 0,51	14,04 ± 0,9	12,91 ± 1,19

Fonte: Autor, 2021.

Gráfico 5 - Resultados do ensaio de absorção de água



Fonte: Autor, 2021.

6.5 Densidade de massa aparente da argamassa autonivelante no estado endurecido

Na Tabela 17 estão apresentados os resultados médios obtidos da densidade de massa aparente, calculada pela Equação (2).

Tabela 17 - Ensaio de Densidade Aparente (Kg/m³)

Porcentagens/Idades de cura	7	14	28
Convencional	1794,49	1790,64	1902,08
15%	1855,97	1832,91	1862,88
30%	1871,34	1844,44	1873,26
50%	1882,87	1877,10	2017,36

Fonte: Autor, 2021.

Percebe-se que as argamassas com as maiores porcentagens de substituição do pó de quartzo possuem densidade de massa maiores do que o de referência. Tal fator é explicado observando o valor da massa unitária de cada material representados na Tabela 7, na qual o resíduo pó de quartzo possui massa unitária maior do que o da areia, resultando em uma argamassa mais pesada que a convencional. Como todos os resultados são superiores a 1800 Kg/m³, as argamassas são do tipo M6, como visto na Tabela 5.

7 Conclusão

Após os resultados das propriedades da argamassa autonivelante obtidas através do estudo da substituição parcial do agregado miúdo pelo resíduo de mineração pó de quartzo, conclui-se que:

- O resíduo possui uma granulometria mais grossa que a areia, influenciando na quantidade de água necessária para alcançar a fluidez mínima exigida pelo ensaio do mini cone de Kantro. Como a areia possui partículas mais finas que o quartzo, as argamassas convencionais obtiveram maior relação de a/c, pois, partículas mais finas tendem a absorver mais água. Esta diferença entre a granulometria destes materiais é importante, visto que beneficiam o empacotamento dos grãos e aumentam a compacidade da argamassa.

- Mediante análise das massas específicas e unitárias, percebeu-se que o resíduo é mais pesado que a areia, explicando o porquê das argamassas autonivelantes com maior teor de pó de quartzo possuir uma maior densidade de massa aparente. Porém, quando comparado a absorção de água das argamassas, pôde-se observar que de acordo com o aumento da porcentagem do resíduo, menor a absorção. Esta propriedade está ligada com a resistência mecânica do material, mostrando que como as argamassas produzidas com 50% de resíduo, tiveram menor absorção de água e conseqüentemente, maior resistência. De acordo com a literatura, o acréscimo de água afeta diretamente a resistência do material, explicando, dessa forma, a maior resistência da argamassa com substituição de 50%.

- Através do ensaio do mini cone, foi possível chegar a dosagem ótima, obtendo uma argamassa fluida, sem segregação ou exsudação aparente. As proporções utilizadas para a produção da argamassa foram embasadas na literatura, que descrevem o traço da argamassa autonivelante com menor relação de cimento e agregado, porém com maior relação de a/c e acréscimo de aditivos que diminuem a quantidade de água necessária para se ter um material autonivelante, bem como modificadores de viscosidade para aumentar a coesão entre as partículas, diminuindo possível segregação do material.

- Na desmoldagem dos corpos de prova, percebeu-se que de acordo com aumento da quantidade do pó de quartzo na mistura, maior o seu tempo de cura. Isso poderia ser estudado futuramente, para saber se com o acréscimo de aditivos aceleradores de pega, este fato poderia ser corrigido.

Diante do exposto, pode-se dizer que a argamassa autonivelante com pó de quartzo é satisfatória para o uso em contrapisos que necessitem de resistências até 18Mpa, pois atingiu os requisitos mínimos de aceitabilidade das normas brasileiras para este tipo de aplicação. Além

da argamassa autonivelante com a substituição do resíduo mineral obter aprovação das propriedades mecânicas necessárias para serem utilizadas na construção civil, possuindo benefícios da redução de desperdícios e alta produtividade, também proporcionará benefícios ambientais ao utilizar um resíduo antes sem valor comercial e o inserindo em uma nova cadeia produtiva, mitigando, dessa forma, os impactos ambientais gerados por esta atividade.

7.1 Sugestões para trabalhos futuros

Devido a impossibilidade de realização de outros tipos de ensaios e um estudo mais aprofundado sobre a argamassa autonivelante devido a excepcionalidade da pandemia do Covid-19, sugere-se que os trabalhos futuros desenvolvam os seguintes estudos complementares:

- Realizar o ensaio de retração para análise do comportamento da argamassa após o processo de cura no substrato, ou seja, após a execução do contrapiso autonivelante.
- Realizar ensaios de determinação do tempo de fluxo da argamassa, como por exemplo, funil V, cilindro espanhol e outros que caracterizem melhor o comportamento da argamassa autonivelante no estado fresco;
- Tentar alcançar proporções maiores do agregado em relação ao cimento, afim de se obter uma dosagem mais econômica;
- Realizar ensaios de determinação da tração na flexão (NBR 13279/2005), determinação da resistência de aderência a tração (NBR 13528/1998) que caracterizem o comportamento da argamassa autonivelante no estado endurecido;
- Fazer um estudo da viabilidade econômica da argamassa autonivelante com porcentagens de substituição da areia pelo pó de quartzo, já que um fator importante para a incorporação dos resíduos de mineração em materiais da construção civil é seu transporte do local da mina para a concreteira ou obra que deseje seu uso.

Referências Bibliográficas

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM C 305-06**: Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency. EUA, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Versatilidade do cimento brasileiro**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/tipos/a-versatilidade-do-cimento-brasileiro>>. Acesso em: mai/2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para Assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR 6118** Projeto e execução de obras de concreto armado — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____. **NBR 9935**: Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

_____. **NBR 11579**: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente.** 2009

ALMEIDA, S. L. M.; LUZ, A. B. **Manual de Agregados para a Construção Civil.** 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012. 432p.

AMORIM, J. R. R. **Contrapiso de edifícios executado com argamassa fluida: parâmetros para desenvolvimento de projeto, execução de obra e controle de qualidade.** 2015. 155 p. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) –Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 2015.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL (ANEPAC). **O Faturamento da Indústria.** Revista areia e brita, São Paulo, ed. 69, 20p., 2016a.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL (ANEPAC). **A Importância da Mineração de Agregados Para a Economia Do Brasil.** Disponível em: <<http://www.anepac.org.br/relacionamento/noticias/item/478-a-importancia-da-mineracao-de-agregados-para-a-economia-do-brasil>>. Acesso em: mai/2021.

ARAÚJO, E. R.; OLIVIERI, R. D.; FERNANDES, F. R. C. **Atividade mineradora gera riqueza e impactos negativos nas comunidades e no meio ambiente.** In: Recursos minerais e sociedade: impactos humanos - socioambientais - econômicos. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL (ANEPAC). **Informações Gerais.** Disponível em: <<http://anepac.org.br/>> Acesso em: mai/2020.

BARBOSA, M. P. **Concreto fresco: influência do empacotamento de partículas e outros fatores. Introdução à ciência dos materiais aplicados à engenharia civil.** UNESP Ilha Solteira, 2008.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção.** 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2008. 538 p.

BERMANN, C. **O projeto da Usina Hidrelétrica Belo Monte: a autocracia energética como paradigma.** Novos Cadernos NAEA, v. 15, n. 1, p. 5-23, 2012.

CHAVES, I. O. **Beneficiamento De Gemas De Quartzo Na Região De Inimutaba, Minas Gerais. Monografia.** 35f. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG. Araxá. 2017.

CORREA, M. **Variedades Gemológicas de Quartzo na Bahia, Geologia, Mineralogia, Causas de Cor, e Técnicas de Tratamento.** 2010. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

DIAS E. G. C. S. **Avaliação De Impacto Ambiental De Projetos De Mineração No Estado De São Paulo: A Etapa De Acompanhamento.** Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2001.

DOMINGUEZ, J. S.; WILSON, R. E.; CHARLES, V. S.; CARVALHO, G. de; ASSIS, J. T. **Determinação do Percentual de Agregado Graúdo no Concreto Utilizando Processamento de Imagens Digitais Obtidas por Escâner Comercial.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 21º, 2014, Cuiabá, MT.

FERREIRA, G. E.; FONSECA JUNIOR, C. A. F. **Mercado de Agregados no Brasil.** Capítulo 2. Manual de Agregados para a Construção Civil. 433p. 2012.

FIGUEROLA, V. **Revestimento de argamassa: A execução de um bom revestimento de argamassa exige cuidados.** 2015. Disponível em: <<http://www.equipedebra.com.br/construcao-reforma/8/artigo36169-1.asp>>. Acesso em: abr/21.

FREITAS, C. **Argamassa de Revestimento com Agregados de Britagem da Região Metropolitana de Curitiba: Propriedades no Estado Fresco e Endurecido.** 135p. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010

GAMA, H. M. A. **Desenvolvimento de Contrapiso Autonivelante com Adição de Metacaulim, Aditivo Polifuncional e Aditivo Modificador de Viscosidade.** 86f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2017.

GASPARIN, L. **Avaliação Da Influência Do Aditivo Plastificante Multifuncional Redutor De Água na Resistência Mecânica Do Concreto dosado Pelo Método ABCP.** Monografia.

71f. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas - Centro Universitário Univates. Lajeado – RS. 2017.

GRAEFF, A. G.; SILVA FILHO, L. C. P. **Análise E Comparação Das Propriedades De Aditivos Superplastificantes**. In: XVII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, 2002, Passo Fundo - RS. CRICTE 2002.

GUGELMIN, L. A. M. **Contrapiso Autonivelante**. X SBTA -Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa. Fortaleza, 2013.

GUZZO, Pedro Luiz. Quartzo. In: LUZ, Adão Benvindo da; LINS, Fernando Antonio Freitas (Ed.). ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS: USOS E ESPECIFICAÇÕES. 2. ed. Rio de Janeiro: Cetem-mct, 2008. Cap. 31. p. 681-721.

HOUANG, P. **Estágio de Desenvolvimento de Contra Pisos Autonivelantes**. X SBTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa. Fortaleza, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Informação Sobre a Economia Mineral Brasileira 2020 – Ano Base 2019**. 1.ed. – Brasília: IBRAM, 2020.80f.

LITWINCZIK, V. **Acústica De Edificações**. 1ª Edição. ed. Santa Catarina: Anima Acústica, v. Volume1, 2013.

LONDERO, C. et al. **Determinação da Densidade de Empacotamento de Sistemas Granulares Compostos a Partir da Areia Normal do IPT: Comparação Entre Modelos de Otimização de Distribuição Granulométrica e Composições Aleatórias**. Cerâmica, [s.l.], v. 63, n. 365, p.22-33, mar. 2017.

KULAIIF, Y. **Areia de Construção**. São Paulo: DNPM, 2013.

MARQUES, S. G. M. V. **Caracterização e Purificação de Quartzo para Indústria Fotovoltaica**. Monografia. 50f. Universidade Federal do Rio de Janeiro – Escola Politécnica. Rio de Janeiro, 2013.

MARTINS, E. J. **Procedimento para dosagem de pastas para argamassa autonivelante**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Construção Civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

MEIRELES, D. et al. **Avaliação Das Propriedades Do Concreto Auto-Adensável Contendo Aditivos Modificadores De Viscosidade No Estado Fresco**. Curitiba: Congresso Brasileiro do Concreto, 2009.

MELO, L. L. F. **Dosagem de argamassa Autonivelante Para Contrapiso**. Monografia. 60f. Universidade Federal da Paraíba – UFPB. João Pessoa. 2015.

MENDES, G. A. **Dosagem de argamassa autonivelante com adição de Resíduos do Corte de Mármore e Graníticos (RCMG): Análise das propriedades físicas e mecânicas**. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Joinville, 2019. 126 p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **A Mineração Brasileira: Produto 27 – Quartzito**. Relatório Técnico 37: Perfil do Quartzito. Brasília. 2009.

MORAIS, R. M. M. de. **Purificação de Areias Provenientes de Resíduos de Pedreira de Quartzito por Flotação**. 2007. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Mineral, Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

NAKAKURA, E. H.; BUCHER, H. R. E. **Pisos Auto-nivelantes. Propriedades e Instalações**. II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Salvador, 1997.

NASCIMENTO, R. F. do. **Avaliação das Propriedades Mecânicas de Argamassas de Assentamento e Revestimento Incorporadas com Resíduos da Mineração**. 93 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal - PB. 2018.

OLIVEIRA, J. F. **Monitoramento dos Impactos Ambientais Causados Pela Extração de Areia na Região Metropolitana De Manaus**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Amazonas - UFAM, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia. Manaus, 2020. 100 p.

ORTEGA, A. G. **Mortero Autonivelante**. III Jornadas Iberoamericano de Materiales de Construcción. San Juan, 2003.

RAMADON, L. F. **A Extração Ilegal de Areia no Brasil**. 222f. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: < <https://apublica.org/wp-content/uploads/2020/05/a-extracao-ilegal-de-areia-no-brasil.pdf>>. Acesso em: abr/21.

VALVERDE, F.M. Perspectivas para o setor de agregados. **Revista Areia e Brita**. São Paulo, ed. 69, 24p. 2016.

PLATIAS, S.; VATALIS, K.i.; CHARALABIDIS, G. **Innovative Processing Techniques for the Production of a Critical Raw Material the High Purity Quartz**. **Procedia Economics And Finance**. [s.l.], v. 5, p.597-604, 2013. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s2212-5671\(13\)00070-1](http://dx.doi.org/10.1016/s2212-5671(13)00070-1).

PINTO, N. P. **Avaliação Dos Impactos Ambientais E Medidas Mitigadoras De Empreendimentos De Mineração A Céu Aberto No Brasil**. Monografia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Três Rios – RJ. 2018. 48f.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil**. Minas Gerais: Belo Horizonte, 2006.

RUBIN, A. P. **Argamassas Autonivelantes Industrializadas Para Contrapiso: Análise Do Desempenho Físico-Mecânico Frente Às Argamassas Dosadas Em Obra**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS -Porto Alegre, 2015.

SANTOS, T. F. **Substituição da Areia Natural por Areia de Britagem de Rochas Basálticas Para Argamassas de Assentamento**. 94 f. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Centro Universitário Univates, Lajeado – RS. 2017.

SCHAEFER, C. O. **Valorização De Fonte Alternativa De Sulfato De Cálcio Para A Produção De Argamassa Autonivelante**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

SILVA, J. M. et al. **Caracterização Reológica De Argamassas Dosadas In Loco Sobre Substratos Porosos**. Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto. Gramado, 2015.

SOUZA, A. **Avaliação do ciclo de vida da areia em mineradora de pequeno porte, na região de São José do Rio Preto – SP**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP: 2012.

TEODORO, S. B. **Avaliação do Uso da Areia de Britagem na Composição do Concreto Estrutural**. 2013. 65f. Trabalho de Conclusão (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

TUTIKIAN, B.F. **Método Para Dosagem De Concretos Auto-Adensáveis**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004