

**CENTRO UNIVERSITÁRIO SÃO LUCAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ADRIANNE DE CARVALHO MEDEIROS
DOUGLAS FAITANIN DA SILVA**

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE CERÂMICA VERMELHA NA COMPOSIÇÃO
DO CONCRETO**

Porto Velho

2021

ADRIANNE DE CARVALHO MEDEIROS

DOUGLAS FAITANIN DA SILVA

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE CERÂMICA VERMELHA NA COMPOSIÇÃO
DO CONCRETO**

Monografia de conclusão de curso
apresentada ao Curso de Engenharia Civil
do Centro Universitário São Lucas, como
requisito parcial à conclusão do curso.

Orientador: Me. Professor Raduan Krause Lopes

Porto Velho

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP

M488i Medeiros, Adrianne de Carvalho.

Incorporação de resíduos de cerâmica vermelha na composição do concreto. / Adrianne de Carvalho Medeiros, Douglas Faitanin da Silva. – Porto Velho, 2021.
35 f. ; 30 cm.

Monografia (Graduação) – Centro Universitário São Lucas Porto Velho, 2021.

Orientação Prof. Me. Raduan Krause Lopes, Coordenação de Engenharia Civil.

1. Engenharia Civil. 2. Resíduos de Cerâmica Vermelha. 3. Sustentabilidade. 4. Reutilização de Resíduos sólidos. I. Título. II. Silva, Douglas Faitanin da. III. Lopes, Raduan Krause.

CDU 628.312.1

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho primeiramente a Deus, pois sem Ele jamais teríamos alcançado esse objetivo, a nossa família que sempre acreditou no nosso potencial, sempre nos deu força para seguir adiante e a todos aqueles que colaboraram para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Adrienne de Carvalho Medeiros

Agradeço primeiramente a Deus, por permitir a realização do meu sonho de cursar e concluir a graduação em Engenharia Civil.

Aos meus pais, Livaldo e Roberta e ao meu irmão Bruno, por ser minha fortaleza, me apoiar e acreditar em mim e no meu sonho, e nunca soltar a minha mão nos momentos de dificuldade.

À minha família que colaborou direta ou indiretamente, em especial à minha tia Roseli que é uma segunda mãe para mim, me acolheu e me deu todo o suporte para mudar de município e começar minha graduação.

Ao meu companheiro Áriston, por sempre me incentivar e ajudar ao longo desses 5 anos.

Agradeço também às minhas primas, Natasha e Bruna que sempre me deram suporte.

Ao meu primo Wagner e sua esposa Flávia, que me ajudaram nessa caminhada, me cedendo ensinamentos sobre a profissão que levarei para o resto da vida.

Agradeço a todos os membros da empresa Forte Engenharia que me acolheram no estágio e me deram a oportunidade de aprender e trabalhar na minha área.

Agradeço aos professores que tive ao longo da vida, em especial ao mestre professor Raduan, que nos orientou para a elaboração deste trabalho. Também, à mestre professora e coordenadora Jayne, que desde a minha transferência até atualmente me acolheu na instituição e me ajudou, sanando todas as minhas dúvidas e preocupações.

Aos amigos que me apoiaram e seguem ao meu lado e também aos que conquistei ao longo da minha graduação.

Ao meu colega Douglas Faitanin, que juntos, elaboramos e finalizamos este trabalho.

Ao Centro Universitário São Lucas por disponibilizar o seu laboratório.

E a todos, que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho e a conclusão da minha graduação.

AGRADECIMENTO

Douglas Faitanin da Silva

Agradeço primeiramente a Deus pela vida e as oportunidades que ele me proporciona a cada dia, e às seguintes pessoas:

Minha esposa Josiely, que esteve sempre ao meu lado me apoiando de todas as formas possíveis.

Minha família, minha mãe Maria, meus sogros José e Elitamar, meus irmãos Marlus, Jonathan e Joziani. E aos demais familiares pela torcida que mesmo de longe contribuíram para essa conclusão.

Meus amigos mais antigos e recentes, que mesmo separados por inúmeros quilômetros ou bem perto estão sempre presentes e me mostraram que a amizade verdadeira continua a crescer mesmo ao longo do tempo. Daniel Ferla, Rogério do Amor, Lucas Bezerra, Larissa Ozório e Júnior Romanha.

Meus amigos do Centro Universitário São Lucas, companheiros de inúmeros trabalhos, horas de estudo e momentos de intensa felicidade durante esses cinco anos, que ao longo desse tempo se tornaram grandes amigos, Ilego Izuel, Igor Oldoni, Klinsman Duarte e Samir Leite.

Aos professores pelo conhecimento passado desde o primeiro período. Em especial um agradecimento ao professor mestre e amigo Raduan Krause Lopes, pela sua orientação, suporte e apoio nesse trabalho.

Todas as pessoas envolvidas neste trabalho, gostaria de agradecer especialmente a Adrienne Carvalho, que nunca desistiu do nosso trabalho e sempre me ajudou em cada passo desta monografia, que você seja uma excelente profissional.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação, o nosso muito obrigado.

RESUMO

O setor de construção civil vem se expandindo significativamente nos últimos anos e é considerado um dos maiores geradores de resíduos do mundo, que são denominados de resíduos de construção civil (RCC). A preocupação com o meio ambiente vem incentivando a pesquisa de reutilização destes resíduos sólidos para o desenvolvimento sustentável, já que o reuso é um fator importante tanto para o meio ambiente, diminuindo os resíduos urbanos, tanto para empresas, diminuindo os custos de material. Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a possibilidade da reutilização de resíduos de cerâmica vermelha (RCV) no preparo do concreto, substituindo parcialmente o agregado miúdo natural (areia), sendo realizadas substituições de 25%, 50% e 75% do agregado miúdo natural por agregado miúdo artificial. Foram avaliados a trabalhabilidade de todos os traços bem como as resistências à compressão aos 7 e 28 dias. Os resultados mostram que todos os traços com substituição obtiveram resistências superiores ao traço referência, em especial os traços de 50% e 75%, mas que a trabalhabilidade foi comprometida em todos os traços com substituição. Dessa forma conclui-se que os resultados obtidos mostram o potencial de utilização desse resíduo na confecção de concretos.

Palavras-chave: Resíduos de cerâmica vermelha; sustentabilidade; reutilização de resíduos sólidos e concreto.

ABSTRACT

The civil construction sector has been expanding significantly in recent years and is considered one of the largest waste generators in the world, which is called civil construction waste. Concern for the environment has been encouraging research into the reuse of these solid wastes for sustainable development, since reuse is an important factor for the environment, reducing urban waste and for companies, reducing material costs. Thus, the present work aimed to evaluate the possibility of reusing red ceramic waste (RCV) in the preparation of concrete, partially replacing the fine natural aggregate (sand), with replacements of 25%, 50% and 75% being carried out natural fine aggregate by artificial fine aggregate. The workability of all mixes as well as the compressive strengths at 7 and 28 days were evaluated. The results show that all the mixes with substitution obtained high strengths to the reference mix, especially the 50% and 75% mixes, but that workability was compromised in all mixes with substitution. Thus, it is concluded that the results obtained show the potential for using this residue in the mixing design of concrete.

Keywords: Red ceramic waste; sustainability; reuse of solid waste and concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Percentual dos RCC na zona norte de Porto Velho.	17
Figura 2 - Percentual dos RCC na zona sul de Porto Velho.....	18
Figura 3 - Percentual dos RCC na zona leste de Porto Velho.....	18
Figura 4 - Percentual dos RCC na zona oeste de Porto Velho.....	19
Figura 5 - Forno de tijolos.....	23
Figura 6 - Tijolos após a queima.	23
Figura 7 - Tijolos descartados.	24
Figura 8 - Tijolos para descarte.	24
Figura 9 - Triturador manual de milho utilizado.	25
Figura 10 - Resíduos de cerâmica vermelha triturados.	25
Figura 11 - Slump test realizado.....	27
Figura 12 - Prensa Hidráulica utilizada.....	27
Figura 13 - Leitor digital da prensa.	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados dos ensaios de caracterização realizados no agregado miúdo natural.	22
Tabela 2 - Resultados dos ensaios de caracterização realizados no agregado graúdo natural.	22
Tabela 3 - Resultados dos ensaios de caracterização realizados no agregado miúdo artificial (RCV).	26
Tabela 4 - Traços confeccionados para este trabalho.	26
Tabela 5 - Resistência do traço referência aos 7 dias.	29
Tabela 6 - Resistência do traço referência aos 28 dias.	29
Tabela 7 - Resistência do traço com 25% de RCV aos 7 dias.	29
Tabela 8 - Resistência do traço com 25% de RCV aos 28 dias.	29
Tabela 9 - Resistência do traço com 50% de RCV aos 7 dias.	30
Tabela 10 - Resistência do traço com 50% de RCV aos 28 dias.	30
Tabela 11 - Resistência do traço com 75% de RCV aos 7 dias.	30
Tabela 12 - Resistência do traço com 75% de RCV aos 28 dias.	30

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Relação entre o traço e sua resistência de ruptura à compressão. 31

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
RCC	Resíduos de Construção Civil
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RCV	Resíduo de Cerâmica Vermelha
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RO	Rondônia
RS	Resíduos Sólidos
CPS	Corpos de prova
COMDECOM	Coordenadoria de Comunicação, Cerimonial e Relações Públicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
FCK	<i>Feature Compression Know</i>
NBR	Norma Brasileira
MPa	Mega Pascal

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo Geral.....	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 CONCEITOS, DEFINIÇÕES E CLASSIFICAÇÕES DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)	16
2.2 GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM PORTO VELHO/RO	17
2.2.1 Impactos ambientais.....	19
2.3 PROCESSO DE RECICLAGEM	20
2.4 CERÂMICA VERMELHA.....	20
3 METODOLOGIA	22
3.1 MATERIAIS.....	22
3.1.1 Agregado miúdo e graúdo natural	22
3.1.2 Cimento	23
3.1.3 Resíduo de cerâmica vermelha	23
3.2 MÉTODOS	26
3.2.1 Desenvolvimento do traço	26
3.2.2 Slump teste.....	27
3.2.3 Ensaio de compressão	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
6 CONCLUSÃO	32
7 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	33

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos principais segmentos da economia brasileira, sendo responsável por empregar um elevado número de pessoas, gerando riquezas e promovendo o desenvolvimento de uma sociedade. Todavia, a indústria da construção civil também se caracteriza pela alta geração de resíduos sólidos, sejam eles provenientes da etapa de construção ou de demolição de sistemas construtivos (SCHERRER; SILVA; BRITO, 2014; BARROS e FUCALÉ, 2016; ALTSCHUL; OLIVEIRA; NÓBREGA, 2020).

Segundo estudo realizado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2017), em 2017, de todo o RSU gerado no país (71,6 milhões de toneladas), 62% (45 milhões de toneladas) foram concebidos por atividades de construção e de demolição.

No município de Porto Velho, a média de caçambas utilizadas é de 776 caçambas/mês, que corresponde em média um volume mensal de 3.504 m³ de resíduos de construção civil. Sendo preocupante, já que não existe nenhuma política de gerenciamento no município. A destinação final dos resíduos de construção civil em Porto Velho corresponde a 1.927 m³ (55% do total) dispostos diretamente no lixão municipal a céu aberto, e os outros 1.577 m³ (45% do total) vendidos como material para aterramento (PIMENTA e SCHRODER, 2011).

Porém, aterros, em especial os que contém resíduos perigosos ou não inertes, concentram altos níveis de substâncias química que acabem se tornando perigosos e podem contaminar o lençol freático (JOHN, 1999).

Além de que, a limpeza dos resíduos de construção civil destinados irregularmente custa uma alta quantia de recursos ao município (PINTO, 1999).

Há algumas alternativas que podem diminuir os custos de tratamento dos resíduos de construção civil, como (JOHN, 1999):

- Diminuição de volume produzido;
- Reciclagem dos resíduos.

Como o setor de construção civil vem se expandindo, a reciclagem é uma ótima alternativa já que ela permite a geração de empregos e aumenta a competitividade da economia (EPA, 1998), além de aumentar a durabilidade da construção em determinadas situações (JOHN, 1999) e de diminuir o custo de materiais em uma obra.

Entretanto, a reciclagem de resíduos sólidos no Brasil, comparado a países do primeiro mundo, é ainda muito pequena (JOHN, 1999), já que o incentivo para a prática de reutilização no país ainda é pouca.

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), o Brasil perde um valor de R\$14 bilhões por ano pela falta de reciclagem de resíduos. Por ano, são gerados quase 80 milhões de toneladas de lixo, mas somente 4% são recicladas (CNN Brasil, 2020).

Em 2020, no município de Porto Velho, de acordo com a COMDECOM, já foram feitos pedidos de incentivos fiscais às empresas que reciclam materiais, porém ainda sem respostas definitivas do Governo local.

A produtividade da construção civil possui muitas vantagens que podem torná-la uma grande recicladora. Enquanto setor, a oportunidade de reduzir significativamente os impactos ambientais através da reciclagem é extraordinária (JOHN, 1999). É interessante observar que uma quantidade significativa dos materiais que a construção civil consome são agregados (MATTOS e WAGNER, 1999) para pavimentos, concretos e argamassas (JOHN, 1999).

Considerando os dados acima e a elevada produção de resíduos oriundo da construção e demolição no município de Porto Velho, capital do estado de Rondônia (RO), o presente estudo tem por objetivo avaliar o uso do resíduo de cerâmica vermelha (RCV) de modo a impulsionar a reciclagem do citado material e propor uma metodologia de pesquisa e desenvolvimento de novos produtos que contenham resíduos capazes de competir no mercado e contribuir para o desenvolvimento sustentável.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade técnica da utilização do RCV como substituto parcial do agregado miúdo (areia) na produção de concreto.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo principal do trabalho, quatro objetivos específicos foram definidos:

- a) Analisar a influência da utilização do RCV nas propriedades mecânicas do concreto no estado fresco;
- b) Avaliar os percentuais de substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo de RCV na resistência à compressão dos concretos;
- c) Julgar a viabilidade técnica e ambiental de utilização do RCV como agregado miúdo de concreto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo será abordado os principais tópicos utilizados para revisão sobre sustentabilidade, geração de resíduos sólidos e potenciais de utilização de resíduos dentro do concreto.

2.1 CONCEITOS, DEFINIÇÕES E CLASSIFICAÇÕES DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)

A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 307/2002 tem como objetivo minimizar os impactos ambientais relacionados aos resíduos da construção civil.

A resolução define que os resíduos da construção civil são provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras e também resultantes da preparação e da escavação de terrenos, como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassas, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc. E definem também que os maiores geradores de resíduos são pessoas, sendo elas físicas ou jurídicas, públicas ou privadas.

A resolução 307 do CONAMA classifica também os resíduos de construção e demolição da seguinte forma:

- Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:
 - a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
 - b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
 - c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;
- Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso;
- Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;

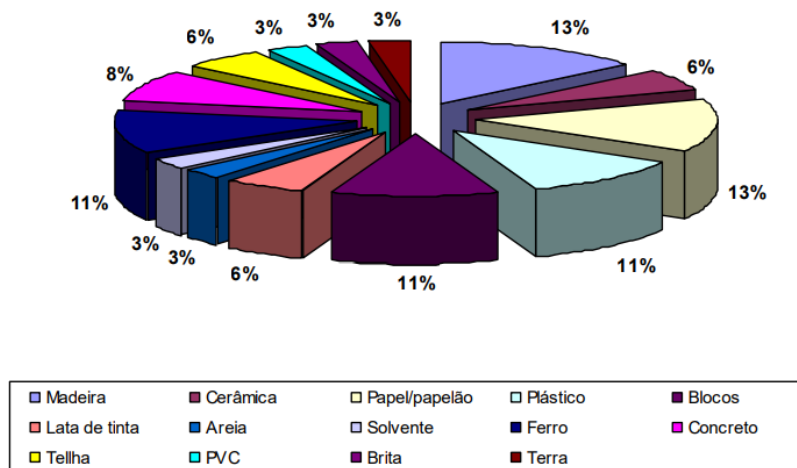
- Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas.

2.2 GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM PORTO VELHO/RO

O crescimento de cidades provoca grande movimentação no mercado da engenharia civil, assim, acarretando construções e reformas que originam a geração de resíduos sólidos.

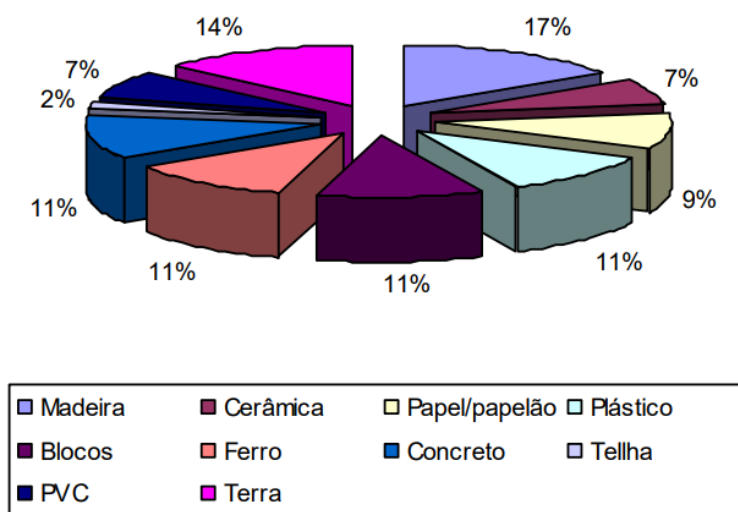
Na cidade de Porto Velho, capital de Rondônia (RO), os tipos de resíduos com maior ocorrência nos canteiros de obra na zona norte da cidade (Figura 1) foram o papel e a madeira totalizando 28%. Observa-se que em relação à madeira há uma reutilização incipiente, pois a mesma é comprada por padarias para o aquecimento de fornos. O plástico, o ferro e a brita totalizaram 33%. Estes cinco tipos de resíduos totalizaram 61% do geral de resíduos identificados nos canteiros de obra. Além disso, verificou-se também que não há nenhuma segregação do material no próprio canteiro de obras (PIMENTA e SCHRODER, 2011).

Figura 1 - Percentual dos RCC na zona norte de Porto Velho.



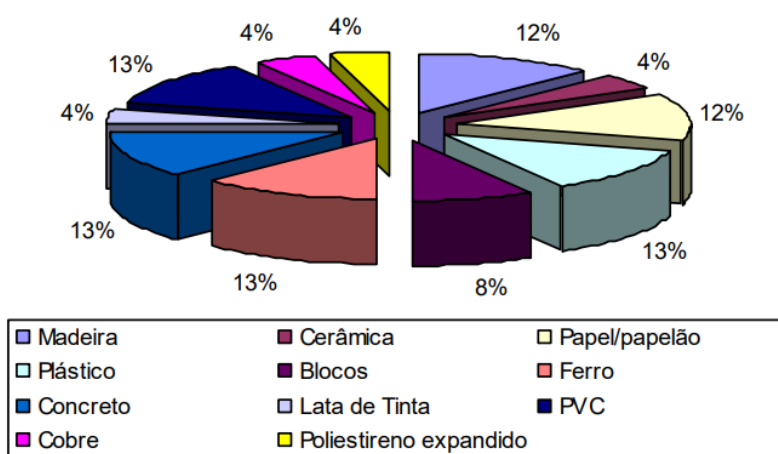
Fonte: (PIMENTA; SCHRODER, 2011).

Na zona sul, entre os resíduos estudados nos canteiros de obras, a madeira foi o resíduo com maior ocorrência (17%) e a telha com a ocorrência menor (2%) (PIMENTA e SCHRODER, 2011).

Figura 2 - Percentual dos RCC na zona sul de Porto Velho.

Fonte: (PIMENTA; SCHRODER, 2011).

Na zona leste da cidade, observou-se que o PVC, o concreto, o ferro e o plástico somam 52%; a madeira e o papel 24%, totalizando 76% de resíduos dos canteiros de obra dessa localidade. Em menor escala registrou-se o bloco com 8%, a lata de tinta, cobre, poliestireno expandido e cerâmica, com 4% cada (PIMENTA e SCHRODER, 2011).

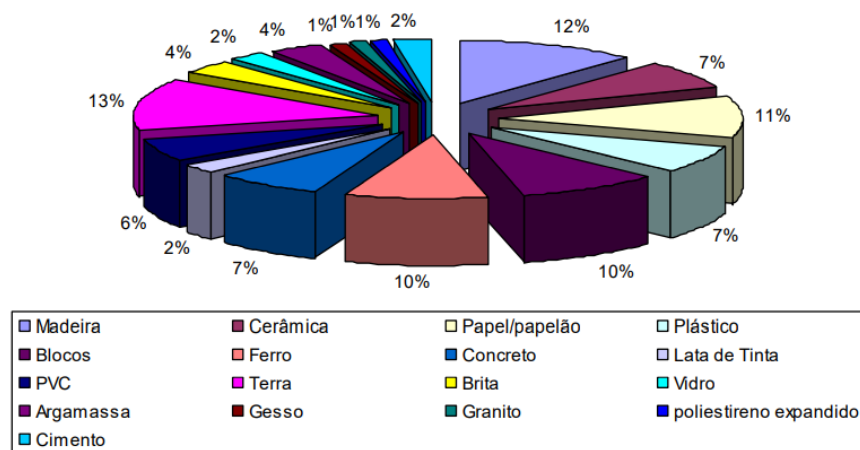
Figura 3 - Percentual dos RCC na zona leste de Porto Velho.

Fonte: (PIMENTA; SCHRODER, 2011).

Identificou-se na zona oeste como sendo a zona com maior variedade de RCC, provavelmente por ser a que apresenta a maior concentração de construções no município. A madeira foi o resíduo mais encontrado (13%), o granito, poliestireno

expandido e o gesso os menores resíduos encontrados (1% cada) (PIMENTA e SCHRODER, 2011).

Figura 4 - Percentual dos RCC na zona oeste de Porto Velho.



Fonte: (PIMENTA; SCHRODER, 2011).

Do ponto de vista técnico, as reciclagens são possíveis de acordo com a composição de cada resíduo, variando de uma para outra (WADA, 2010).

2.2.1 Impactos ambientais

De acordo com a Resolução nº 1 do CONAMA define o impacto ambiental como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente que afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas e a qualidade dos recursos ambientais.

A construção civil é um dos maiores ramos causadores de impactos ambientais devido a sua grande geração de resíduos sólidos oriundos de construções, demolições e reformas. Além disso, é um dos setores que mais extraem matéria prima do meio ambiente.

Segundo Gasques (2015), a indústria da construção consome enormes quantidades de materiais e, em todas as sociedades, é o setor que mais utiliza materiais.

Além de todos esses impactos envolvendo extração de recursos naturais e RCD, existe também a emissão de dióxido de carbono pela indústria cimenteira que é alta, representando 5% das emissões totais no mundo. (BELATO, 2013)

De acordo com Roth e Garcias (2011), atualmente, o modelo de construção civil praticado no Brasil, em toda a sua cadeia de produção, ocasiona vários prejuízos ambientais, pois, além de utilizar, amplamente, matéria-prima não renovável da natureza e consumir elevadas quantidades de energia, tanto na extração quanto no transporte e processamento dos insumos, é também perdulário no uso dos materiais e considerado grande fonte geradora de resíduos dentro da sociedade.

Por motivos ambientais e econômicos, existe uma necessidade crescente da reciclagem. (MIRANDA; ÂNGULO; CARELI, 2009).

De acordo com Oliveira *et al.* (1999), no setor da construção civil uma grande variedade de materiais vem sendo utilizado, contribuindo para a melhoria de vários aspectos de organização, conduzem a uma maior qualidade, reduzindo o desperdício, um dos grandes problemas enfrentados pelas empresas do setor.

2.3 PROCESSO DE RECICLAGEM

A reciclagem, em diversos estudos, é citada como uma alternativa para a redução da quantidade de resíduos dispostos nos aterros, além de ser uma proposta sustentável para a destinação dos RCC (EVANGELISTA; COSTA; ZANTA, 2010).

Segundo Miranda *et al* (2009), a reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) no país, apesar de ser uma atividade recente, tem se desenvolvido mais significativamente nos últimos 5 anos.

No Brasil, deveria haver maiores incentivos para a reutilização de resíduos de construção civil, porém é um assunto ainda pouco citado mesmo sendo uma das maiores problemáticas do país.

2.4 CERÂMICA VERMELHA

As cerâmicas vermelhas são originadas da argila, que é submetida ao processo de secagem e a queima em temperaturas altas. Após esse processo, as cerâmicas apresentam como resultado uma coloração vermelha devido a argila ter um teor de ferro em sua composição. (ISAIA, 2010).

O segmento da cerâmica vermelha, produz um volume considerável de resíduos durante o processo de fabricação, em razão da quebra das peças, da queima exagerada, entre outros. Desse modo, com o forte crescimento da construção civil, há uma necessidade de buscar novas soluções para a sustentabilidade e comprometimento com o meio ambiente. Sendo assim, a reciclagem e o

aproveitamento dos resíduos tornam-se uma preocupação mundial e também nacional (BRASIL, 2014); tendo em vista que, a destinação final dos resíduos sólidos urbanos é um dos maiores problemas da sociedade moderna, uma vez que, seu gerenciamento adequado acarreta custos elevados. Nas grandes cidades essa problemática é ainda pior, pois faltam áreas adequadas próximas e disponíveis para esses materiais. (NETO *et al.*, 2016)

Segundo Wada (2010), que utilizou resíduos de cerâmica vermelha para experimentos, concluiu que a utilização de RCV como agregado miúdo não apresentou o índice necessário para ser considerado um material pozolânico, mas sua utilização, em substituição ao agregado miúdo melhorou suas propriedades mecânicas. Isto possivelmente ocorreu devido ao efeito *filler* do RCV atuando na estrutura do concreto, ocupando os espaços vazios deixados pelas partículas de grãos maiores. Ou seja, sendo possível a sua utilização e reciclagem, assim, diminuindo os custos de materiais nas obras, e sendo favorável ao meio ambiente, já que diminuiria os resíduos de cerâmica vermelha e, diminuiria a extração de agregados naturais.

3 METODOLOGIA

Nesse capítulo será apresentado os materiais utilizados na pesquisa e os métodos de caracterização realizados nos materiais e no concreto afim de verificar a viabilidade da utilização de RCV na substituição do agregado miúdo em concreto.

3.1 MATERIAIS

Os materiais para confecção do traço referência de concreto nessa pesquisa foram adquiridos no comércio local da cidade de Porto Velho/RO. Já o resíduo empregado foi produzido a partir de tijolos que se quebraram no processo de transporte após a queima dos mesmos.

3.1.1 Agregado miúdo e graúdo natural

O agregado miúdo é de origem quartzosa, extraída do Rio Jamari, no município de Candeias do Jamari/RO, por meio de dragagem. Os ensaios de caracterização realizados nesse agregado estão apresentados na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Resultados dos ensaios de caracterização realizados no agregado miúdo natural.

Característica	Métodos	Resultados
Massa específica	NBR 16916:2021	2,722 kg/dm ³
Massa unitária	NBR 16972:2021	1,583 kg/dm ³
Teor de material pulverulento	NBR 16973:2021	4,35%
Impureza orgânica	NBR NM 49:2001	300 ppm
Diâmetro máximo	NBR NM 248:2003	2,40 mm
Teor de argila e materiais friáveis	NBR NM 7218:2010	1,50%

Fonte: Autores (2021).

O agregado graúdo é de origem granítica, oriunda do interior do estado de Rondônia. Os ensaios de caracterização para esse material estão na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados dos ensaios de caracterização realizados no agregado graúdo natural.

Característica	Métodos	Resultados
Massa específica	NBR 16917:2021	2,93 kg/dm ³
Massa unitária	NBR 16972:2021	1,52 kg/dm ³
Diâmetro máximo	NBR NM 248:2003	12,50 mm

Fonte: Autores (2021).

Os resultados apresentados nas Tabelas 1 e 2 mostram que os agregados utilizados nessa pesquisa, estão dentro de parâmetros de outras pesquisas, e

ressalta-se também que tais materiais são largamente empregados na construção civil local, o que demonstra qualidade desses materiais para confecção de concretos.

3.1.2 Cimento

O cimento utilizado nesse trabalho foi o CP II – Z – 32, cujo nome é “ITAÚ TODAS AS OBRAS”, de acordo com a fabricante Votorantim, ele é composto por silicatos de cálcio, alumínio e ferro, sulfato de cálcio, filler carbonático e pozolana. Optou-se por esse cimento por ele ser um dos cimentos mais comercializados na cidade de Porto Velho/RO.

3.1.3 Resíduo de cerâmica vermelha

Os resíduos de cerâmica vermelha (RCV) foram oriundos da cerâmica Monte Belo, localizada em Porto Velho, capital do estado de Rondônia. Esta é uma fábrica especializada em objetos de cerâmica, que doou o resíduo utilizado para a realização deste trabalho.

No processo de queima, uma parte do lote de tijolos que vai para o forno tem uma queima exagerada (Figura 5 e 6). Comercialmente esse tijolo não é bem aceito no mercado, acaba virando resíduo do processo.

Figura 5 - Forno de tijolos.



Fonte: Autores (2021).

Figura 6 - Tijolos após a queima.



Fonte: Autores (2021).

Inicialmente os tijolos de cerâmica vermelha encontravam-se inteiros, conforme Figura 7 e 8, sendo necessário a quebra dos mesmo de forma que os cacos passassem pela entrada do triturador.

Figura 7 - Tijolos descartados.



Fonte: Autores (2021).

Figura 8 - Tijolos para descarte.



Fonte: Autores (2021).

Posteriormente, os cacos foram triturados em um triturador manual de milho da marca Botini que em seguida fora adaptador com um motor de máquina de lavar roupas para que o processo fosse adiantado. A Figura 9 mostra o triturador utilizado neste trabalho.

Figura 9 - Triturador manual de milho utilizado.



Fonte: Autores (2021).

Após ser passada pelo triturador, o resíduo se assemelhava a uma areia grossa (Figura 10), com alguns pedaços maiores que 4,8 mm, o que fez com que o material fosse peneirado uma vez, e passado novamente pelo triturador, e peneirado novamente até que ficasse todo passante na abertura de 4,8 mm.

Figura 10 - Resíduos de cerâmica vermelha triturados.



Fonte: Autores (2021).

Após ser triturado, o agregado miúdo artificial passou pelo processo de peneiramento na peneira com abertura de 4,8mm e foram utilizados os agregados artificiais passantes.

Após esse processo foram realizadas as caracterizações apresentadas na Tabela 3 no agregado reciclado.

Tabela 3 - Resultados dos ensaios de caracterização realizados no agregado miúdo artificial (RCV).

Característica	Métodos	Resultados
Massa específica	NBR 16916:2021	1,21 kg/dm ³
Massa unitária	NBR 16972:2021	2,50 kg/dm ³

Fonte: Autores (2021).

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Desenvolvimento do traço

Para o desenvolvimento do traço de concreto, foi empregado o método de dosagem IPT/USP (atual método IBRACON), para confecção do traço referência com resistência característica $f_{ck} = 20$ MPa, traço 1 : 1,88 : 2,45 : 0,47. Os traços com substituição do agregado miúdo pelo agregado miúdo reciclado foram de 25%, 50% e 75%, sendo confeccionado 3 corpos de prova para verificação da resistência à compressão com 7 e 28 dias, em cada traço de substituição. Os CPS ficaram em cura submersa até o dia do ensaio.

Todos os traços foram confeccionados em misturador de tombar (betoneira) de capacidade de 120 litros. A quantidade de água proposta foi a mesma para todos os traços. Os traços propostos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Traços confeccionados para este trabalho.

	Cimento	Agregado miúdo	RCV triturado	Agregado graúdo	Água
Traço Unitário	1,00	1,88	0,00	2,45	0,47
Traço (kg/m ³)	430,83	808,99	0,00	1056,15	204,03
Traço controle (kg)	6,12	11,49	0,00	15,00	2,90
25% RCV (kg)	6,12	8,62	2,87	15,00	2,90
50% RCV (kg)	6,12	5,74	5,74	15,00	2,90
75% RCV (kg)	6,12	2,87	8,62	15,00	2,90

Fonte: Autores (2021).

3.2.2 Slump teste

O ensaio de abatimento de tronco de cone, conhecido também com slump teste, foi realizado com base preconiza a NBR 16889:2020. Foi proposto para o traço controle um abatimento de 60 mm. A Figura 11 apresenta o *slump* obtido para o traço controle.

Figura 11 - *Slump test* realizado.



Fonte: Autores (2021).

Para os traços com substituição optou-se em manter a relação a/c do traço controle, assim os abatimentos dos traços com RCV foram mais baixos, sendo 25% apresentando 30 mm e os de 50% e 75% apresentando slump zero.

3.2.3 Ensaio de compressão

A resistência à compressão dos concretos foi realizada no laboratório de estruturas do Centro Universitário São Lucas, sendo utilizado os parâmetros da NBR 5739:2018. Foi empregado uma prensa hidráulica eletrônica servo-controlada, com capacidade de 100 toneladas (Figura 12 e 13).

Figura 12 - Prensa Hidráulica utilizada.



Fonte: Autores (2021).

Figura 13 - Leitor digital da prensa.



Fonte: Autores (2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico serão apresentados os resultados dos ensaios e a viabilidade da substituição do agregado miúdo natural (areia) pelo agregado miúdo artificial (resíduos de cerâmica vermelha).

Foram elaborados três corpos de prova para cada substituição e idade de cura e cada corpo foi submetido a ensaio de resistência a compressão em prensa para obter uma média, nas unidades de quilograma-força e mega pascoal, conforme as Tabelas 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 abaixo.

Tabela 5 - Resistência do traço referência aos 7 dias.

Corpos de prova	Kgf	Mpa
Corpo 1	9,21	11,73
Corpo 2	7,5	9,55
Corpo 3	10,37	13,20
Média	9,03	11,49

Fonte: Autores (2021).

Tabela 6 - Resistência do traço referência aos 28 dias.

Corpos de prova	Kgf	Mpa
Corpo 1	16,65	21,20
Corpo 2	14,97	19,06
Corpo 3	16,58	21,11
Média	16,07	20,46

Fonte: Autores (2021).

Tabela 7 - Resistência do traço com 25% de RCV aos 7 dias.

Corpos de prova	Kgf	Mpa
Corpo 1	12,09	15,39
Corpo 2	13,07	16,64
Corpo 3	3,54	4,51
Média	9,57	12,18

Fonte: Autores (2021).

Tabela 8 - Resistência do traço com 25% de RCV aos 28 dias.

Corpos de prova	Kgf	Mpa
Corpo 1	14,91	18,98
Corpo 2	11,46	14,59
Corpo 3	17,02	21,67
Média	14,46	18,42

Fonte: Autores (2021).

Tabela 9 - Resistência do traço com 50% de RCV aos 7 dias.

Corpos de prova	Kgf	Mpa
Corpo 1	10,07	12,82
Corpo 2	11,03	14,04
Corpo 3	15,81	20,13
Média	12,30	15,67

Fonte: Autores (2021).

Tabela 10 - Resistência do traço com 50% de RCV aos 28 dias.

Corpos de prova	Kgf	Mpa
Corpo 1	21,49	27,36
Corpo 2	21,93	27,92
Corpo 3	20,2	25,72
Média	21,21	27,00

Fonte: Autores (2021).

Tabela 11 - Resistência do traço com 75% de RCV aos 7 dias.

Corpos de prova	Kgf	Mpa
Corpo 1	17,67	22,50
Corpo 2	17,1	21,77
Corpo 3	18,06	22,99
Média	17,61	22,42

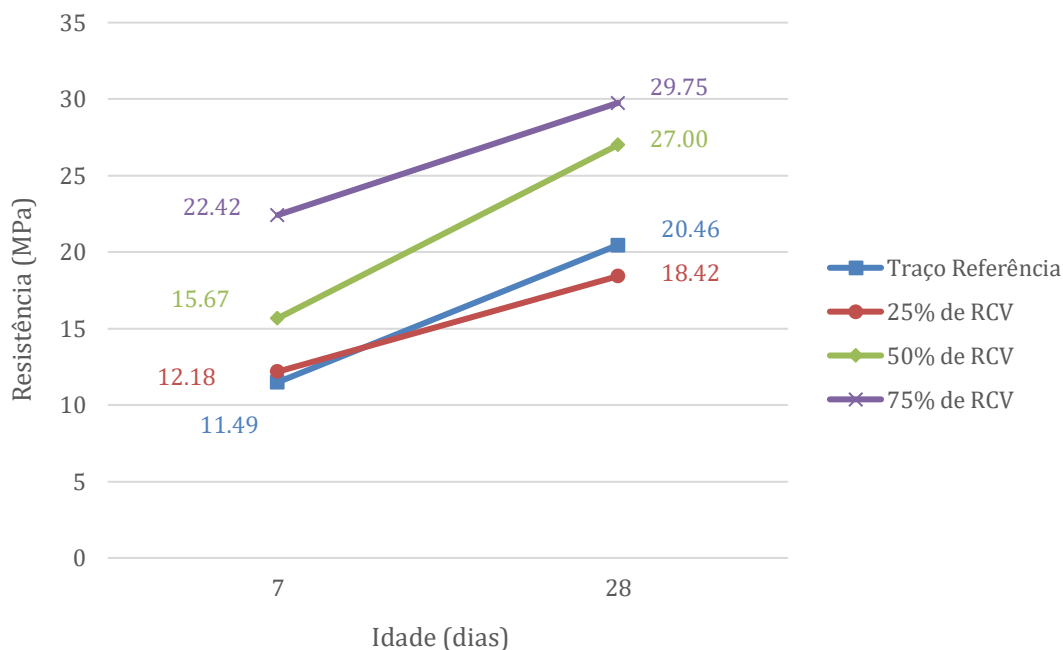
Fonte: Autores (2021).

Tabela 12 - Resistência do traço com 75% de RCV aos 28 dias.

Corpos de prova	Kgf	Mpa
Corpo 1	25,03	31,87
Corpo 2	22,37	28,48
Corpo 3	22,69	28,89
Média	23,36	29,75

Fonte: Autores (2021).

Após as Tabelas 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12, elaborou-se um gráfico (Gráfico 1) para transparecer a média de resistência (em MPa) nas idades de 7 e 28 dias para o traço referência e para cada traço com substituição de 25%, 50% e 75%.

Gráfico 1 - Relação entre o traço e sua resistência de ruptura à compressão.

Fonte: Autores (2021).

Observou-se que a adição de resíduos de cerâmica vermelha foi positiva, proporcionando o aumento de resistência dos corpos de prova. Aos 7 dias observa-se que todos os traços utilizando RCV obtiveram resultados superiores ao traço referência. Tal resultado pode ser explicado inicialmente pela redução da relação a/c, uma vez que o agregado de RCV tem uma absorção superior ao agregado miúdo natural, tal fato demonstrado pela perda da trabalhabilidade dos traços com resíduo. Outro ponto, os traços de RCV tiveram que ser adensados mecanicamente para a moldagem dos corpos de prova, o que pode ter melhorado o empacotamento da mistura, e consequentemente gerando um aumento de resistência.

Já aos 28 dias os traços de 50% e 75% obtiveram resistências muito superiores ao traço referência. Essa elevação de resistência se deve, além dos fatores já apontados anteriormente para a análise de 7 dias, pela possível atividade pozolânica do resíduo de cerâmica vermelha. Vários trabalhos da literatura já avaliaram esse potencial. Pelo aumento significativo da resistência, é possível ver grandes indícios de reatividade pozolânica no resíduo.

6 CONCLUSÃO

A trabalhabilidade dos traços com substituição do agregado miúdo natural pelo RCV sofreu uma perda grande em relação ao traço referência, o que explica-se pela absorção de água pelo resíduo, isso compromete o lançamento e adensamento dessa material de forma convencional, sendo necessário adensamento mecânico para sua utilização.

É notório que, com a substituição do agregado miúdo natural pelo resíduo de cerâmica vermelha no preparo do concreto, resultou em uma melhora significativa da resistência à compressão das misturas. Tal melhora pode ter ocorrido pelo melhor empacotamento da mistura, pois o adensamento mecânico pode ter melhor acomodado as partículas. O fator água/cimento, devido a absorção de água do resíduo de cerâmica vermelha, foi reduzido para os traços com substituição, assim o aumento de resistência é aumentado. Outro fator que pode explicar a aumento da resistência pode ser a possível atividade pozolânica do RCV.

Dessa forma pode-se afirmar que a viabilidade técnica de substituir o agregado miúdo natural pelo resíduo de cerâmica vermelha foi alcançado, uma vez que a resistência à compressão foi superior ao traço referência nos traços de 50% e 75%. Ainda pode-se notar a viabilidade ambiental dessa utilização, uma vez que está se dando uma destinação mais correta para o resíduo industrial.

7 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil - 2017**. São Paulo: ABRELPE.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16916: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água**. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16917: Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água**. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16972: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios**. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16973: Agregados - Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem**. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739: concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2017.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 49: Agregado fino - Determinação de impurezas orgânicas**. 2001.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 53: agregado graúdo: determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 7218: Agregados — Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis**. 2010.

BELATO, M. N. **Análise da geração de poluentes na produção de cimento Portland com o coprocessamento de resíduos industriais**. 2013. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2013.

BRASIL, L. H. **Estudo do aproveitamento dos resíduos gerados na indústria de cerâmica vermelha – situação do pólo cerâmico do vale do Assu/RN**. 2014. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Ciências Exatas, Tecnológicas e Humanas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307 de 5 de julho de 2002**. Diário Oficial da União. Brasília, DF.

EVANGELISTA, P. P. A.; COSTA, D. B e ZANTA, V. M. **Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 23-40, jul./set. 2010.

GASQUES, A. C. **IMPACTOS AMBIENTAIS DOS MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: Breve revisão teórica**. Revista Tecnológica, v. 23, n. 1, p. 13-24, 4 maio 2015.
ISAIA, G.C. **Materiais de construção e princípios de ciência e engenharia de materiais**. IBRACON, 2ª Edição, São Paulo, 2010.

JOHN, V. M. **Panorama sobre a reciclagem de resíduos na construção civil**. In: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., 1999, São Paulo. Anais... São Paulo: IBRACON, 1999, p. 44 – 55.

MATOS, G. e WAGNER, L. **Consumption of materials in the United States 1900 – 1995**. US Geological Survey. 1999. 26 p

MAURÍCIO T. e FORSTER P. **Brasil deixa de ganhar R\$ 14 bilhões com reciclagem de lixo**. CNN, 2020. Disponível em: < [CNN Brasil](#) > Acessado em 03/12/2021.

MIRANDA, L.; ANGULO, S. C. e CARELI, E. D. **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008**. Ambiente Construído (Online), v. 9, n. 1, p. 57-71, 2009.

NETO, M. L. Q., et al. **Uso de resíduos da mineração de scheelita em argamassa de assentamento e revestimento**. 2016. VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Campina Grande/PB

OLIVEIRA, P. V. H., et al. **Análise da aplicação de check-list sobre inovações tecnológicas em canteiros de obra**. Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Trindade, Florianópolis, 1999.

PIMENTA, M. C. F. e SCHRODER, N. T. **Resíduos da construção civil do município de Porto Velho/RO: da origem à disposição final**. 2011. Porto Alegre, RS.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 189f. (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

ROTH, C. das G. e GARCIAS, C. M. **Construção Civil e a Degradação Ambiental. Desenvolvimento em Questão**. [S. l.], v. 7, n. 13, p. 111–128, 2011.

WADA, P. H. **Estudo da incorporação de resíduo de cerâmica vermelha na composição de concreto para uso em estacas moldadas in loco**. 2010. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.