

CONCRETO CELULAR FORMADO COM RESÍDUOS DE ARDÓSIA OU VARVITO

CELLULAR CONCRETE USING SLATE OR VARVE RESIDUES

Gabriel Terra Ramos de Oliveira

Aluno de Graduação de Engenharia Química, 9º período, UERJ

Período PIBIC CETEM: setembro de 2023 a agosto de 2025

gabrielterraro@hotmail.com

Roberto Carlos Ribeiro

Orientador, Engenheiro Químico, D.Sc.

rcarlos@cetem.gov.br

Rosana Elisa Coppedê Silva

Orientadora, Geóloga, D.Sc.

rosanacoppede@gmail.com

RESUMO

A ardósia, uma rocha metamórfica de baixo grau, e o varvito, uma rocha sedimentar com características semelhantes à ardósia comercial, apresentam potencial para substituir agregados ou atuar como adições minerais. O Brasil destaca-se no cenário global pela abundância de recursos minerais, resultado de sua diversidade geológica. No entanto, a atividade mineradora gera um grande volume de resíduos, estima-se que mais de 80% do material extraído não é aproveitado diretamente. Diante desse cenário, estudos têm investigado o reaproveitamento desses resíduos como insumos para a construção civil. Este trabalho aborda o uso de resíduos de ardósia e varvito na produção de concreto celular, contribuindo para a melhoria das propriedades do concreto em aspectos como trabalhabilidade, resistência e durabilidade. Foram preparados corpos de prova com tipos de cimento diferente, além dos resíduos minerais. Concluiu-se que os corpos de prova com varvito apresentaram uma maior dureza e resistência a compressão.

Palavras-chave: Concreto celular, resíduo de rocha.

ABSTRACT

Slate, a low-grade metamorphic rock, and varve, a sedimentary rock with characteristics similar to commercial slate, show potential to replace aggregates or act as mineral additives. Brazil stands out globally for its abundance of mineral resources, a result of its geological diversity. However, mining activities generate a large volume of waste—it's estimated that over 80% of the extracted material is not directly utilized. In this context, studies have explored the reuse of such waste as raw material for the construction industry. This study addresses the use of slate and varve residues in the production of cellular concrete, aiming to improve concrete properties such as workability, strength, and durability. Samples were prepared using different types of cement along with the mineral residues. It was concluded that samples containing varve showed greater hardness and compressive strength.

Keywords: Cellular concrete, rock residue.

1. INTRODUÇÃO

A ardósia é classificada como rocha metamórfica, e forma-se a partir de uma rocha sedimentar argilosa que sofre metamorfismo de baixo grau, foliada (clivagem ardosiana), de granulação muito fina. As ardósias de Minas Gerais apresentam pequenas variações compostionais e cores pretas, verde, cinza-escuro, vermelha e ferrugem (SILVA, 2015). A denominada “ardósia” de Trombudo (SC), também objeto de estudo neste projeto, é na realidade uma rocha sedimentar, denominada varvito, com a alternância de bandas detriticas e pelíticas que lhe conferem aspecto laminar e com propriedades físico-químicas e tecnológicas semelhantes às da ardósia comercial (DNPM, 2018).

O Brasil é rico em recursos naturais minerais por conta de sua grande variedade geológica ao longo de todo o território, destacando-se como um dos principais no mercado mundial de exportações minerais (Loureiro *et al.*, 2009). Desde a lavra ao beneficiamento, mais de 80% do material é considerado resíduo, podendo ser reutilizado de várias outras formas. As adições minerais são materiais finamente moídos, geralmente adicionados ao concreto em grandes quantidades, visando à obtenção de características específicas, tais como: redução de custos, melhora da trabalhabilidade e até mesmo melhora da resistência do concreto à fissuração térmica, à expansão álcali-agregado e ao ataque por sulfatos.

2. OBJETIVO

Dado tais fatos apresentados o projeto tem como objetivo o desenvolvimento de um concreto celular com uso de resíduos gerados no beneficiamento de varvito e ardósia.

3. METODOLOGIA

3.1. Materiais

Os cimentos utilizados foram cimento CPII e cimento CPIII. Os resíduos utilizados foram a ardósia e o varvito. Para a geração da espuma utilizou-se espumante MIBIC e goma xantana para fixação da espuma.

3.2. Métodos

Foram preparados 12 corpos de prova com varvito e 12 corpos de prova com ardósia (Figura 1). Para a preparação do concreto celular, adicionou-se 100 mL de espumante em agitador mecânico até surgimento da espuma em seguida adicionou 5g de goma, para que pudesse dar mais resistência e manter as bolhas de ar formadas. Em outro recipiente, adicionou 300 mL de cimento e 300 mL de resíduo e mexeu até ficar uniforme. Em seguida foi adicionado 100 mL de água gradativamente até toda a mistura ficar úmida. Por fim, misturou os dois recipientes, passou para uma forma cilíndrica, e esperou um tempo de cura de 28 dias.



Figura 1: Corpos de prova de concreto leve contendo resíduos de ardósia e varvito.

3.3. Caracterização do Material

Para determinar a densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água à pressão atmosférica, comumente chamadas de “índices físicos” utilizou-se a norma NBR 15845-2 (ABNT, 2015) a qual obedece aos padrões internacionais de ensaio para a determinação de tais índices. As etapas envolvidas são saturar a amostra por 48 horas e, depois de obter o peso saturado e submerso, colocar na estufa à 70 °C por 24 horas levando assim 4 dias para o ensaio ser concluído. Para determinação da dureza do material, foi utilizado o Equotip 3 - PROCEQ com 20 medições em pontos diferentes para cada corpo de prova. Para determinação dos elementos químicos presentes nas amostras de concreto celular realizou-se a técnica de fluorescência de raios-X (FRX). Para determinação dos compostos mineralógicos utilizou-se a técnica de difração de raios-X (DRX) realizados pela COAM. As imagens por Microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas no equipamento da FEI Quanta 400 com EDS Bruker Nano Quantax 800. Para a determinação dos ensaios de compressão, foi utilizado o aparelho da marca SERVUS. Para a análise termogravimétrica (TGA) foi utilizado o TGA-701 da LECO a 1000°C.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação aos resultados de análise química por FRX, pode-se verificar na Tabela 1, maiores valores de SiO₂, associado a presença de quartzito, para o cimento CPIII e para os corpos de prova com cimento CPIII, e na média 37,65% para os corpos de prova com varvito, comparado com 35,45% dos corpos de prova com ardósia.

Tabela 1: Valores do ensaio de FRX.

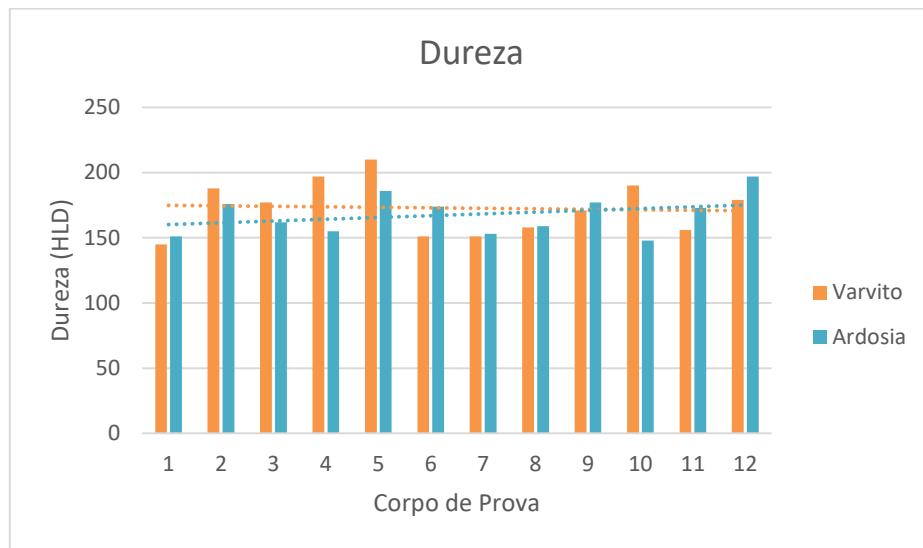
	CIM_CPII + Ardósia	CIM_CPIII + Ardósia	CIM_CPII + Varvito	CIM_CPIII + Varvito	CIM_CPII	CIM_CPIII
Al₂O₃	9,4	11,4	8,2	10,1	4,5	8,9
CaO	27,6	25,8	28,3	23,9	57,0	47,9
Cl	< 0,1	< 0,1	0,12	0,13	ND	ND
Fe₂O₃	3,7	3,3	3,0	2,8	2,5	1,3
K₂O	1,4	1,5	1,2	1,4	1,1	0,42
MgO	2,5	4,6	2,3	4,2	1,2	6,3
MnO	0,11	0,18	< 0,1	0,18	0,1	0,24
Na₂O	1,4	1,3	1,7	1,7	0,31	0,21
P₂O₅	0,14	< 0,1	0,14	0,13	0,19	< 0,1
SO₃	0,79	0,59	0,91	0,61	2,2	1,6
SiO₂	33,1	37,8	34,0	41,3	20,2	29,7
SrO	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,29	0,12
TiO₂	0,48	0,54	0,38	0,51	0,27	0,52
PPC	19,3	12,6	19,6	13,0	10,1	2,7

Como mostrado na Tabela 2, os resultados dos índices físicos das amostras indicaram uma porosidade entre 29-37%, valores de absorção de água entre 22-37% e de densidade aparente entre 1000-1300 kg.m⁻³.

Tabela 2: Valores do ensaio de índices físicos.

	Densidade Aparente (kg.m ⁻³)	Porosidade (%)	Abs. d'água (%)
Varvito CPII	1010,32	37,33	37,30
Varvito CPIII	1192,10	30,37	25,60
Ardósia CPII	1107,29	32,21	30,08
Ardósia CPIII	1279,10	29,19	22,86

Em relação à dureza, pode-se observar na Figura 2 que a média para os corpos de prova de ardósia com o cimento CPII foi de 161 HLD, para os corpos de prova com o cimento CPIII foi de 167 e para o corpo de prova com o cimento comum foi de 197. Para os corpos de prova de varvito com o cimento CPII a média foi de 177 e para os corpos de prova com o cimento CPIII foi de 171.

**Figura 2:** Dureza em HDL dos corpos de prova.

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados de compressão onde pode-se verificar uma resistência de acima de 1900 kgf para os corpos de prova com o cimento CPIII comparado com um máximo de 1513 kgf do cimento CPII, assim como uma resistência média de aproximadamente 2000 kgf do varvito comparado com 1670 kgf da ardósia.

Tabela 3: Valores do ensaio de compressão.

	Força Máx (kgf)	Tensão Máx (kgf.mm ⁻²)	Força de Ruptura (kgf)	Tensão de Ruptura (kgf.mm ⁻²)
Varvito CPII	1513,27	1,01	1429,01	0,95
Varvito CPIII	2507,30	1,67	1206,58	0,81
Ardósia CPII	1377,15	1,02	1582,04	0,99
Ardósia CPIII	1968,62	1,31	1589,55	1,06

Na Tabela 4, estão apresentados os resultados de TGA onde se verifica que o cimento CPIII apresentou uma menor perda por calcinação de 2,7%, enquanto o cimento CPII mostrou uma perda de 10,1%. A ardósia com o cimento CPIII apresentou uma perda por calcinação de 12,6%, com o cimento CPII 19,2%. Já o varvito com o cimento CPIII apresentou valores de 13,0% e com cimento CPII 19,6%.

Tabela 4: Valores do ensaio de TGA.

Amostra	Massa (g)	Umidade (%)	PPC (%)
CIM_CPII + Ardósia	1.0020	4.0	19.2
CIM_CPIII + Ardósia	1.0089	5.4	12.6
CIM_CPII + Varvito	1.0090	2.2	19.6
CIM_CPIII + Varvito	1.0088	3.4	13.0
CIM_CPII	1.0005	1.1	10.1
CIM_CPIII	1.0003	0.2	2.7

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados de FRX, uma grande presença de sílica, que indica a presença de quartzo na amostra, melhorando a resistência do produto. Os ensaios de TGA indicaram uma maior perda por calcinação nos corpos de prova com ardósia comparado ao varvito, e o cimento CP2 uma perda por calcinação maior que o cimento CP3. Em relação a dureza, os corpos de prova com varvito apresentaram um média ligeiramente superior comparado aos corpos de prova com ardósia, e em relação ao tipo de cimento, não foi possível obter um parâmetro que indicasse qual seria o melhor. Nos ensaios de compressão, mostrou-se que os corpos de prova com varvito, especialmente com o cimento CP3, apresentaram uma maior resistência a compressão. Os índices físicos indicam que os valores da densidade aparente estão dentro dos valores esperado entre 300 kg.m⁻³ e 1800 kg.m⁻³. Então é possível concluir que, os corpos de prova com varvito e cimento CP3 apresentaram os melhores resultados.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao CNPq pela bolsa e ao CETEM pela infraestrutura.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DNPM/ANM - Departamento Nacional de Produção Mineral/Agência Nacional de Mineração. "Ardósia" de Trombudo Central (SC) – Varvito / Fábio Larroyd, Júlio C. Recuero, Camila L. Centeno, Mathias Heider. – Florianópolis: DNPM, 2018. 39 p.: il. color. Disponível em: <http://antigo.anm.gov.br/portal/dnpm/publicacoes/serie-sustabilidade/ardosia-de-trombudo-central-sc-varvito>. Acesso em: 2022-08-16.

SILVA, R. Propostas de Aproveitamento de Resíduos de Ardósia da Cidade de Pompéu, Minas Gerais. Revista Intercâmbio, v.6, p. 86-95, 2015.

LOUREIRO, F.E.L.; MELAMED, R.G. e FIGUEIREDO NETO, J. (2009) **Fertilizantes agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 645p.

M. Propriedades do Concreto. Editora Pini. Tradução de Salvador E. Giamusso. 828p., 2006.