

# ANALYSIS OF THE PARTIAL SUBSTITUTION OF NATURAL COARSE AGGREGATE BY THE ACAI SEED IN CONCRETE

ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO GRAÚDO NATURAL PELO CAROÇO DO AÇAÍ NO CONCRETO.

ANÁLISIS DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL ÁRIDO GRUESO POR PIEDRA DE AÇAÍ EN EL HORMIGÓN.

Matheus Araújo Carvalho<sup>1</sup>  
Carlos Eduardo Machado de Oliveira<sup>1</sup>  
Paulo Ricardo Alves dos Reis Santos<sup>2</sup>  
Valney Moura da Silva<sup>2</sup>  
Patricia da Silva Lima<sup>2</sup>  
Juliana Marise da Silva Matias de Lira<sup>2</sup>

## DESCRIPTORS

Concrete. Açaí's seed. Properties. Recyclable Materials.

## DESCRITORES

Concreto. Caroço do Açaí. Propriedades. Materiais Recicláveis

## DESCRIPTORES

Hormigón. Piedra de acai. Propiedades. Materiales reciclables

## ABSTRACT:

This article describes the use of agro-industry waste in the civil construction as an alternative of new sustainable materials. In this regard, there is the açaí seed, a residue that remains after the pulp is removed, which currently has no specific destination. This research aims to characterize the residual açaí seed (CAR), in order to enable its reuse as an input for civil construction. For the purpose of determining the behavior of the açaí stone in the production of concrete, an experimental program was developed based on a design of experiments, where the natural coarse aggregate was replaced by recycled aggregate. The produced concretes were analyzed regarding two properties: mechanical properties and physical properties. The results show that the açaí seed, as an aggregate in concrete, resulted in a concrete with lower mass than the reference, however, due to its degree of porosity, there was an increase in the water/cement ratio and, consequently, a decrease in its compressive strength. These same results show that the use of açaí seed has no structural application, however, it can be used for non-structural purposes, such as concrete for flooring or fillers.

## RESUMO:

O aproveitamento de resíduos da agroindústria para uso na construção civil como alternativa de novos materiais sustentáveis tem ganhado força. Nessa vertente, tem-se o caroço de açaí, resíduo que sobra após retirado da polpa, que hoje não apresenta uma destinação específica. Assim, esta pesquisa tem por objetivo principal caracterizar o caroço de açaí residual (CAR), de modo a possibilitar seu reaproveitamento como insumo da construção civil. Com o intuito de se determinar o comportamento do caroço do açaí na produção de concretos, desenvolveu-se um programa experimental baseado em um projeto de experimentos, onde se substituiu o agregado graúdo natural pelo agregado reciclado. Os concretos produzidos foram analisados com relação a duas propriedades: propriedades mecânicas e propriedades físicas. Os resultados mostram que o caroço do açaí, como agregado no concreto, resultou em um concreto com menor massa que o de referência, contudo, devido ao seu grau de porosidade, houve um aumento na relação água/cimento e, conseqüentemente, uma diminuição na sua resistência a compressão. Esses mesmos resultados mostram que o uso do caroço de açaí não tem aplicação estrutural, contudo, pode ser usado para fins não estruturais, como por exemplo, concreto para piso ou preenchimentos.

## RESUMEN:

El uso de residuos agroindustriales en la construcción civil como alternativa de nuevos materiales sostenibles ha cobrado fuerza. En este aspecto, está el hueso de açaí, un residuo que queda después de retirado de la pulpa, que hoy no presenta un destino específico. Así, esta investigación tiene como objetivo caracterizar la piedra de açaí residual (CAR), para permitir su reutilización como insumo en la construcción. Para determinar el comportamiento de la piedra de açaí en la producción de concreto, se desarrolló un programa experimental basado en un diseño de experimentos, donde el agregado grueso fue sustituido por agregado reciclado. Los hormigones producidos fueron analizados en relación a dos propiedades: propiedades mecánicas y propiedades físicas. Los resultados muestran que la piedra de açaí, como agregado en el hormigón, resultó en un hormigón con masa inferior a la referencia, sin embargo, debido a su grado de porosidad, hubo un aumento de la relación agua/cemento y, consecuentemente, una disminución de su resistencia a la compresión. Estos mismos resultados muestran que el uso de piedra de açaí no tiene aplicación estructural, sin embargo, puede ser utilizado para fines no estructurales, tales como hormigón para pavimentos o rellenos.

<sup>1</sup> Bacharel em Engenharia Civil. Centro Universitário de Ciência e Tecnologia do Maranhão - UNIFACEMA. Caxias, Maranhão - Brasil. E-mail: matheus29carvalho@gmail.com

<sup>2</sup> Docente do Departamento de Engenharia Civil e Elétrica. Centro Universitário de Ciência e Tecnologia do Maranhão - UNIFACEMA. Caxias.

## 1. INTRODUÇÃO



O concreto de cimento Portland é um material estrutural indispensável e de construção civil da atualidade. Mesmo sendo o mais atual dos materiais de construção de estruturas, pode ser considerado como uma das descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade e sua qualidade de vida (ISAIA, 2005).

A utilização do concreto em obras de construção e engenharia é disseminada e estimada em cerca de 20 bilhões de toneladas métricas por ano (WANG et al, 2017). O alto uso resulta em uma diligência substancial por cimento, que é seu principal constituinte. A demanda global por cimento é de cerca de 4 bilhões de toneladas métricas por ano, sendo que 40 milhões de toneladas foram a demanda estimada no Brasil em 2019 (SINDICATO NACIONAL DA INDUSTRIA DO CIMENTO, 2019).

O concreto tem uma série de características que lhe garantem o posto de material de construção mais utilizado no mundo, dentre essas: boa relação entre custo e alta durabilidade, boa resistência à compressão e ao fogo, possibilidade de pré-fabricação, versatilidade arquitetônica e bom controle acústico, entre outros. Apesar disso, o concreto tem uma série de limitações, como o comportamento marcadamente frágil e baixa capacidade de deformação do material antes da ruptura.

Como consequência de sua fragilidade, a sua resistência à tração é muito reduzida quando comparada a sua resistência à compressão. A combinação com armadura de aço provê aos elementos estruturais de concreto, resistência à tração e ductilidade necessárias. Essa combinação pode também levar ao aumento da

resistência e da ductilidade à compressão.

Contudo, Blankendaal, Schuur e Voordijk (2014) ergueram sérias preocupações com relação aos danos ambientais ao niilismo do equilíbrio ecológico do uso do cimento. Caso não haja uma reciclagem adequada dos resíduos, a maior parte dos subprodutos industriais é incinerada, ocasionando em contaminação e poluição atmosférica (XUAN; POON; ZHENG, 2018).

Objetivando reduzir o consumo dos recursos naturais e mitigar a geração de resíduos, várias pesquisas têm sido realizadas em todo o país, visando utilização de agregados reciclados em substituição a agregados naturais no processo produtivo do concreto. Alguns resultados sinalizam que esse tipo de concreto é considerado um material mais sustentável, contribuindo para a minimização dos impactos gerados pelo setor. Como proposta de valor, além desse benefício, busca-se uma vantagem econômica, pois, atualmente, o custo financeiro de alguns resíduos é inferior ao custo do material retirado do meio ambiente (FERNANDES, et al., 2014).

Buscando essa relação entre a construção e a sustentabilidade, o presente artigo busca analisar as propriedades mecânicas e físicas advindas do concreto mediante ensaios laboratoriais, utilizando agregados não convencionais como o caroço do açaí que atualmente é classificado como resíduo não reutilizável, analisando as propriedades após a substituição, realizando ensaios de compressão com diferentes percentuais, além do ensaio de trabalhabilidade, granulometria, com o objetivo de criar um novo concreto com propriedades satisfatórias que permitam sua aplicação dentro da construção civil, fazendo com que o desperdício da matéria-prima seja o menor possível.

## 2. METODOLOGIA



### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O presente artigo teve a preparação de um programa experimental para realização do estudo das

propriedades do concreto no estado fresco e no estado endurecido com a utilização de resíduo do açaí (caroço do açaí) por meio da adição em percentual de 0%; 25%; 50% e 75% em relação ao traço de agregado graúdo, de modo a comparar com o concreto convencional por meio do ensaio de compressão, observando a sua reação com tempo de cura padronizado de 28 dias e da realização do Slump Test, de forma a observar a trabalhabilidade do concreto.

## 2.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Os materiais que foram utilizados para a produção do concreto são:

- Cimento: tipo CP II-F-32MPa;
- Agregado Graúdo: Brita 0, disponibilizada no laboratório de materiais de construção do Centro Universitário de Ciências e Tecnologia do Maranhão - UNIFACEMA.
- Agregado Miúdo: Areia, também disponibilizada no laboratório de materiais de construção da instituição;
- Água: Natural, proveniente do sistema de abastecimento local;
- Caroço do açaí: foram coletadas na cidade de Coroatá-MA, onde o material consiste em um caroço que é obtido após a retirada da polpa, conforme ilustra a Figura 01.

**Figura 01:** Caroço do Açaí coletado em Coroatá - MA.



Fonte: Autor (2021).

A variável principal avaliada é a quantidade de agregado reciclado adicionada a cada traço de concreto, e a segunda variável que foi avaliada é

em relação às suas propriedades físicas e mecânicas, como sua consistência, trabalhabilidade, granulometria e sua resistência à compressão.

Segundo a ABNT NBR 5738/2015, para o teste de resistência são moldados 4 corpos de prova, para realizar os testes nos tempos de cura de 7, 14, 21 e 28 dias, contudo, nesse programa experimental foram moldados pelo menos 8 corpos de prova de cada traço para o primeiro lote de substituição dos agregados naturais graúdos, pelos Agregados Graúdos Reciclados (AGR) e para o segundo lote foram moldados pelo menos 2 corpos de provas para apenas as porcentagens de substituição.

## 2.3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

### 2.3.1 Ensaio Granulométrico

A caracterização dos agregados utilizados foi feita em conformidade com a ABNT NBR 7211/2019, onde esta norma fixa as características exigíveis na recepção e produção dos agregados miúdos e graúdos, de origem natural, já encontrados fragmentados ou resultantes do britamento de rochas e destinados à produção de concretos.

Foi utilizado um conjunto de peneiras sucessivas com diferentes aberturas (conforme mostra a Figura 02) para determinar as dimensões do agregado juntamente com equipamentos específicos para o ensaio de granulometria.

**Figura 02:** Peneiras com aberturas distintas.



Fonte: Autor (2021).

### 2.3.2 Produção do concreto

O concreto dessa pesquisa foi produzido de acordo com a ABNT NBR 12821/2009 - Preparação de concreto em laboratório. O procedimento foi realizado em betoneira, colocando todos os materiais necessários e adicionando aos traços as devidas porcentagens do caroço. (Traço 01 - 1:2:3); (Traço 02 - 1:2:2,25:0,75); (Traço 03 - 1:2:1,5:1,5); (Traço 04 - 1:2:0,75:2,25). Para a execução dos traços de concreto utilizou-se cimento Portland com adição de Filer (CP II F).

### 2.3.2 Slump Test

Nesse trabalho utilizou-se o método do Slump Test, a fim de obtermos resultados sobre as propriedades físicas do concreto com o caroço do açai. A ABNT define como devemos proceder com esse teste por meio da ABNT NBR NM 67:1998: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, norma bilíngue que aponta critérios para o teste tanto em canteiro como em laboratório. A Figura 03 representa um dos slumps que foram realizados.

### 2.3.4 Moldagem dos Corpos de Prova (CP's)

Após a realização dos ensaios de caracterização dos agregados, teve início a produção dos concretos definidos no programa experimental com a moldagem dos corpos de prova para execução dos ensaios de compressão. Como primeiro passo dessa etapa, fez-se uma dosagem dos materiais utilizados com os agregados naturais.

Os corpos de provas foram produzidos de acordo com a ABNT NBR 5738/2015 - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Os cilindros utilizados são disponibilizados pelo laboratório de materiais de

construção da instituição, onde na confecção foram revestidas com uma fina camada de óleo vegetal para facilitar a desforma. Foram confeccionados dois lotes de corpos de prova, o primeiro lote com 32 corpos no total para serem submetidos à cura submersa e um segundo lote com 6 corpos em cura in natura. Para a compactação, foi utilizado o método de adensamento manual do concreto na moldagem, e os corpos de prova submetidos à cura submersa e à cura in natura. Esses dois processos foram realizados para observar o comportamento dos CP's em diferentes modos de cura e comparar os resultados obtidos.

Para a compactação, foi utilizado o método de adensamento manual do concreto na moldagem, e os corpos de prova submetidos a cura submersa e a cura in natura. A Figura 04 mostra os corpos de prova já compactados.

Figura 03: Realização do slump Test.



Fonte: Autor (2021).

Figura 04: Corpos de Prova compactados dentro dos cilindros.



Fonte: Autor (2021).

### 2.3.5 Ensaio de Compressão

O ensaio de resistência à compressão segue os requisitos na norma da ABNT NBR 5739/2018, no qual foram realizados os testes nos corpos de prova com diferentes percentuais do agregado utilizado. A Figura 05 a seguir apresenta a máquina utilizada para os ensaios de compressão.

Figura 05: Prensa Mecânica.



Fonte: Autor (2021).

## 3. RESULTADOS

Os corpos de prova foram analisados sob duas circunstâncias diferentes, em cura submersa e em cura in natura. Os dois processos seguiram as orientações das NBR's e foram submetidos aos mesmos ensaios, observando os resultados e comparando-os. Os CP's em cura submersa foram observados dentro do tempo de cura padronizado de 28 dias, enquanto os CP's em cura in natura foram observados no tempo de cura de 7 e 21 dias.

## 3.1 CORPOS DE PROVA SUBMETIDOS A CURA SUBMERSA

### 3.1.1 Propriedades Físicas

A realização do programa experimental se deu primeiramente pelo ensaio granulométrico do agregado trabalhado, onde o objetivo foi buscar em qual graduação se encontrava o mesmo. Depois de definir as peneiras com diferentes aberturas, foi pesada uma certa quantidade de material para realizar o ensaio e fazer as observações. As peneiras utilizadas foram da série intermediária em conjunto com as da série normal com aberturas entre 35,5mm e 4,75mm.

Para o ensaio, foi utilizado o agitador de peneiras, o qual o mesmo foi ligado durante 5 minutos para que todo o material pudesse ser agitado. Logo após o procedimento anterior, foram retidas as peneiras uma a uma, observando os materiais retidos em cada peneira, bem como pesando os materiais que ficaram retidos em algumas das peneiras. A Tabela 1 a seguir, apresenta os resultados obtidos após a realização do ensaio granulométrico.

Tabela 1: Classificação granulométrica para o caroço do aço.

ENSAIO GRANULOMÉTRICO				
AGREGADO GRAÚDO (>4,8mm e <76mm)				
PENEIRA (mm) (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	MASSA RETIDA (g)	% RETIDA NA PENEIRA	% RETIDA ACUMULADA	% PASSANTE
35,5mm	0	0,00%	0,00%	100%
31,5mm	0	0,00%	0,00%	100%
25mm	0	0,00%	0,00%	100,00%
19mm	0	0,00%	0,00%	100,00%
12,5mm	122	15,93%	15,93%	84,07%
9,5mm	632	82,51%	98,43%	1,57%
6,3mm	12	1,57%	100,00%	0,00%
4,75mm	0	0,00%	100,00%	0,00%
FUNDO	0	0,00%	100,00%	0,00%
<b>TOTAL</b>	766			
<b>GRADUAÇÃO DA BRITA</b>			<b>BRITA 1</b>	

Fonte: Autor (2021).

De acordo com a ABNT NBR 7211/2009 e a tabela de limites granulométricos para agregados graúdos

(Tabela 2), foi possível determinar a graduação do agregado em questão, no qual foi obtida a graduação brita 1. Com os resultados obtidos após o ensaio granulométrico foi possível também, apresentar a curva granulométrica (Gráfico 1) que corresponde ao agregado, contudo, o agregado utilizado é bem específico e a curva que obtivemos não apresentou o padrão esperado.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), um agregado que possui granulometria contínua, ou seja, não apresentara deficiências ou excessos significativos de qualquer dimensão de partícula, apresenta característica favorável para misturas mais trabalháveis. Contudo, o agregado utilizado no programa experimental possui um excesso de dimensões, o que dificultou nos ensaios de granulometria e nos ensaios seguintes.

Logo após o ensaio de caracterização do agregado foi definido um traço padrão para utilizar nos demais traços do programa experimental e com está base foi produzida uma tabela com as dosagens para os 4 traços que foram produzidos, como mostra a Tabela 3.

A tabela foi produzida utilizando-se de um traço médio 1:2:3 (cimento:agregado miúdo: agregado graúdo, em massa), com o intuito de alcançar um concreto trabalhável e também obter um abatimento pelo método do tronco de cone (Slump Test) de 3 a 7cm. Devido à capacidade de absorção do agregado reciclado, foi observado que com o aumento da sua porcentagem de substituição, a quantidade de água utilizada também aumentou o que causou um aumento na relação a/c (água/cimento). Para o ensaio do abatimento do tronco de cone foi utilizada a NBR NM 67:1998, onde foram realizados os ensaios para cada traço no programa experimental de forma padronizada. A Tabela 4 mostra os resultados obtidos após a realização do Slump Test com valores próximos

aos do esperado.

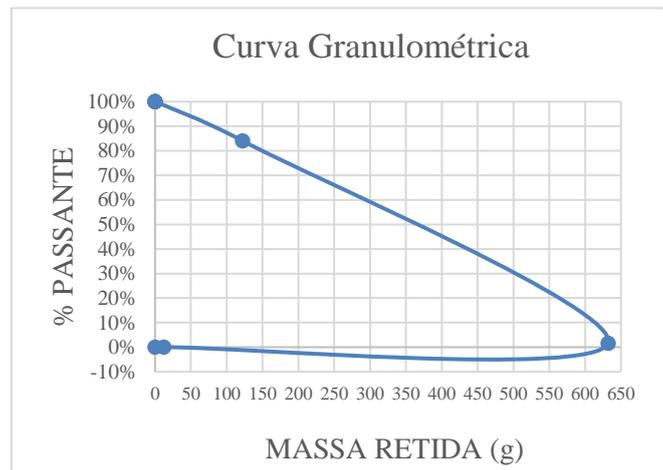
**Tabela 2:** Limites granulométricos dos agregados graúdos.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica d/D <sup>a</sup>				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 – 5
63 mm	-	-	-	-	5 – 30
50 mm	-	-	-	0 – 5	75 – 100
37,5 mm	-	-	-	5 – 30	90 – 100
31,5 mm	-	-	0 – 5	75 – 100	95 – 100
25 mm	-	0 – 5	5 – 25 <sup>b</sup>	87 – 100	-
19 mm	-	2 – 15 <sup>b</sup>	65 <sup>b</sup> – 95	95 – 100	-
12,5 mm	0 – 5	40 <sup>b</sup> – 65 <sup>b</sup>	92 – 100	-	-
9,5 mm	2 – 15 <sup>b</sup>	80 <sup>b</sup> – 100	95 – 100	-	-
6,3 mm	40 <sup>b</sup> – 65 <sup>b</sup>	92 – 100	-	-	-
4,75 mm	80 <sup>b</sup> – 100	95 – 100	-	-	-
2,36 mm	95 – 100	-	-	-	-

<sup>a</sup> Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo.  
<sup>b</sup> Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2). Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.

Fonte: NBR 7211 (2009).

**Gráfico 1:** Curva Granulométrica para o caroço do açai.



Fonte: Autor (2021).

**Tabela 3:** Proporção de materiais utilizados para confecção dos corpos de prova do primeiro lote.

TRAÇO 1:2:3						
TRAÇOS %	a/c	MATERIAL (Kg)				Litros
		CIMENTO	AREIA	BRITA	CAROÇO DE AÇAÍ	
TRAÇO 1 (0%)	0,58	6	12	18	-	3,5L
TRAÇO 2 (25%)	0,83	6	12	13,5	4,5	5L
TRAÇO 3 (50%)	1,33	6	12	9	9	8 L
TRAÇO 4 (75%)	1,67	6	12	4,5	13,5	10L

Fonte: Autor (2021).

**Tabela 4:** Abatimento do tronco de cone para o primeiro lote.

SLUMP TESTE				
TRAÇO 1:2:3				
	TRAÇO 1 SUBSTITUIÇÃO DE 0%	TRAÇO 2 SUBSTITUIÇÃO DE 25%	TRAÇO 3 SUBSTITUIÇÃO DE 50%	TRAÇO 4 SUBSTITUIÇÃO DE 75%
ALTURA (cm)	4 cm	4,5cm	3cm	4,5cm

Fonte: Autor (2021).

Na produção dos corpos de prova foi observado que além da relação a/c, outra relação também teve uma inconformidade, essa relação é o teor de agregado. O caroço do açaí que foi utilizado como substituto do agregado natural (brita) tem a massa específica menor que a massa específica da brita, ocasionando assim um aumento na proporção de agregado. Com essa mudança na proporção, os corpos de prova apresentaram um alto grau de porosidade em todo seu corpo, isso aumentou a absorção de água e causou fissuras nos CP's devido a variação higrotérmica, como mostra a Figura 06.

**Figura 06:** Corpos de Prova com fissuração após 7 dias de cura submersa.



Fonte: Autor (2021).

Variação higrotérmica é uma ação simultânea de dilatação e retração provocada pela absorção de água e pela variação de temperatura (GRANDISK, 2010).

Segundo Bueno (2000), a quantidade de água adicionada à mistura afeta a consistência, tornando-a mais ou menos rígida. O excesso de água na mistura faz com que a argamassa perca e reduza o material aglomerante (cimento), reduzindo a resistência da mesma, deixando-a

mais sujeita a fissuras quando submetida à variação de temperatura. Uma das condições de fissuras é atribuída a condutância térmica superficial, que se deve à troca de calor que ocorre entre a superfície exposta da peça e o ar circundante. Essas trocas de calor dependem não apenas da diferença entre suas temperaturas, mas também de outras condições (rugosidade da superfície, velocidade do ar, posição geográfica e orientação da superfície) (CASOTTI 2007).

Foram feitas outras observações antes do ensaio à compressão em relação ao peso final dos corpos de prova após 24 horas de cura. Os corpos de prova (CP) apresentaram uma redução na sua massa total, conforme fosse aumentando o grau de substituição pelo agregado reciclado como mostra a Tabela 5. A perda de massa dos CP's foi muito significativa, chegando a quase 50% de perda comparado a massa do concreto convencional ocasionando uma peça mais leve.

**Tabela 5:** Pesagem dos corpos de prova após 24 horas de cura.

PESAGEM DOS CORPOS DE PROVA				
CORPOS DE PROVA	0%	25%	50%	75%
CP 1	3,79 Kg	3,06 Kg	2,50 Kg	2,17 Kg
CP 2	3,80 Kg	3,07 Kg	2,46 Kg	2,17 Kg
CP 3	3,78 Kg	3,05 Kg	2,58 Kg	2,23 Kg
CP 4	3,82 Kg	3,09 Kg	2,56 Kg	2,18 Kg
CP 5	3,85 Kg	3,05 Kg	2,55 Kg	2,17 Kg
CP 6	3,83 Kg	2,99 Kg	2,54 Kg	2,19 Kg
CP 7	3,80 Kg	3,09 Kg	2,78 Kg	2,23 Kg
CP 8	3,83 Kg	3,04 Kg	2,63 Kg	2,20 Kg
MÉDIA DE PESO	3,81 Kg	3,06 Kg	2,58 Kg	2,19 Kg

Fonte: Autor (2021).

Em contrapartida, foi observado o peso dos corpos de prova com substituição após a retirada da cura submersa, onde os mesmos apresentaram um certo aumento na massa total, conforme mostra a Tabela 6. Esse aumento de massa se deu por causa da grande capacidade de absorção de água do agregado reciclado e também por causa do grau de porosidade do corpo de prova causado pela relação cimento e agregado.

**Tabela 6:** Pesagem dos corpos de prova após retirada da cura submersa.

PESAGEM DOS CORPOS DE PROVA APÓS RETIRADA DA CURA SUBMERSA					
CORPOS DE PROVA		0%	25%	50%	75%
7 DIAS	CP 1	3,79 Kg	3,25 Kg	2,82 Kg	2,43 Kg
	CP 2	3,80 Kg	3,24 Kg	2,73 Kg	2,44 Kg
14 DIAS	CP 3	3,78 Kg	3,24 Kg	3,09 Kg	2,44 Kg
	CP 4	3,82 Kg	3,20 Kg	2,80 Kg	2,46 Kg
21 DIAS	CP 5	3,85 Kg	3,27 Kg	2,83 Kg	2,55 Kg
	CP 6	3,83 Kg	3,30 Kg	2,75 Kg	2,55 Kg
28 DIAS	CP 7	3,80 Kg	3,27 Kg	2,87 Kg	2,49 Kg
	CP 8	3,83 Kg	3,26 Kg	2,92 Kg	2,50 Kg
MÉDIA DE PESO		3,81 Kg	3,25 Kg	2,85 Kg	2,48 Kg

Fonte: Autor (2021).

### 3.1.2 Propriedades Mecânicas

Após as observações das propriedades físicas que o concreto apresentou, deu-se início aos ensaios de resistência à compressão. De cada traço confeccionado, moldaram-se 8 corpos de prova, os quais foram rompidos 8 aos 7 dias, 8 aos 14 dias, 8 aos 21 dias e 8 aos 28 dias de idade, onde utilizou-se 2 corpos de prova de cada traço nos seus

respectivos dias. Os corpos de prova passaram por um processo de nivelamento de suas bases antes de serem submetidos ao ensaio, para que ficassem bem apoiados na prensa. Depois de realizar todos os ensaios em seus respectivos dias de cura, obtivemos os resultados de resistência como mostra a Tabela 7.

**Tabela 7:** Ensaio de resistência a compressão de 7 a 28 dias de cura.

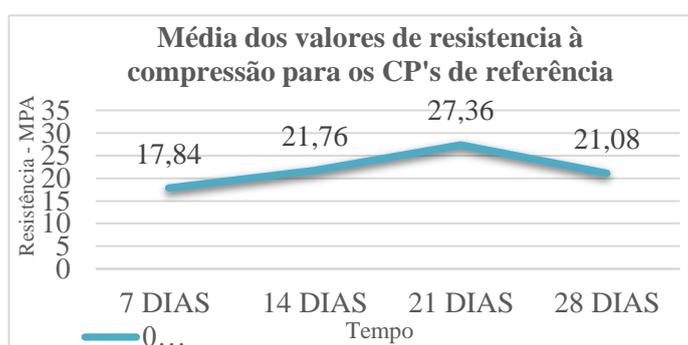
TABELA DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (Mpa)					
CORPOS DE PROVA		7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
CP 0%	CP 1	19,50 Mpa	21,83 Mpa	31,12 Mpa	22,30 Mpa
	CP 2	16,18 Mpa	21,68 Mpa	23,60 Mpa	19,85 Mpa
CP 25%	CP 1	1,07 Mpa	1,27 Mpa	1,21 Mpa	1,17 Mpa
	CP 2	0,98 Mpa	1,17 Mpa	0,84 Mpa	0,65 Mpa
CP 50%	CP 1	0,79 Mpa	0,79 Mpa	0,65 Mpa	0,75 Mpa
	CP 2	0,51 Mpa	0,74 Mpa	0,60 Mpa	0,58 Mpa
CP 75%	CP 1	0,52 Mpa	0,57 Mpa	0,61 Mpa	0,40 Mpa
	CP 2	0,48 Mpa	0,57 Mpa	0,55 Mpa	0,20 Mpa

Fonte: Autor (2021).

Nos casos onde houve substituição do agregado natural, reduziu-se a resistência à compressão no estado endurecido. Como já foi mencionando, o agregado reciclado em questão

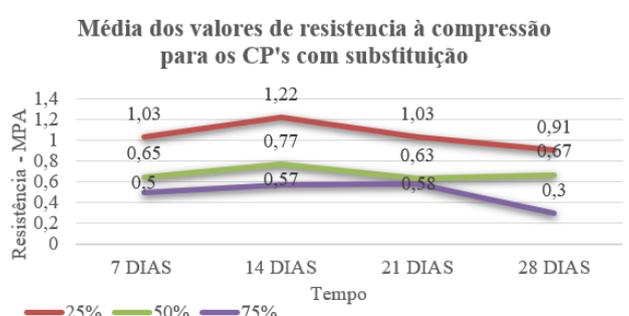
tem sua massa específica menor que a massa específica do agregado natural, o que ocasionou uma diferença na proporção cimento/agregado. Esse fato aumentou tanto a porosidade quanto a relação a/c do corpo de prova e, conseqüentemente, diminuiu sua resistência final, e se assemelha ao resultado encontrado por Pires et al. (2019). Os Gráficos 2 e 3 apresentam os valores médios de resistência a compressão do concreto de referência e do concreto com substituição respectivamente.

**Gráfico 2:** Gráfico de linha para os valores de resistência à compressão para os corpos de prova de referência.



Fonte: Autor (2021).

**Gráfico 3:** Gráfico de linha para os valores de resistência à compressão para os corpos de prova com substituição.

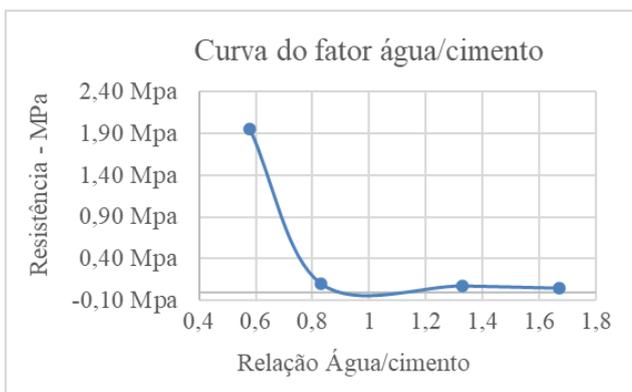


Fonte: Autor (2021).

De uma forma ampla, a resistência à compressão está diretamente ligada à porosidade dos materiais. Quanto mais porosos estes se apresentam, menor tende a ser a sua resistência final. A maior resistência e a maior densidade dos agregados naturais utilizados para a produção de concretos convencionais fazem com que esses apresentem menor influência sobre a resistência à compressão, uma vez que sua resistência supera a resistência da matriz, porém, acontece o inverso quando se usa agregados reciclados.

A influência no teor de água, reduziu a resistência à compressão da mistura no estado endurecido, pois houve acréscimo de água, necessária para manter o Slump Test pré-estabelecido, em função do agregado reciclado ser mais poroso e ter poder de absorção maior em relação ao natural. Com o aumento da relação água/cimento na mistura, reduziu-se drasticamente a resistência à compressão e se assemelha ao resultado encontrado por Araújo et al. (2016). O Gráfico 4 a seguir apresenta a relação de a/c em função da resistência do concreto após os ensaios.

**Gráfico 4:** Relação de água/cimento em função da resistência com 7 dias de cura.



Fonte: Autor (2021).

### 3.2 CORPOS DE PROVA SUBMETIDOS A CURA IN NATURA

Corroborando os resultados obtidos com os corpos de prova em cura submersa, foi confeccionado um segundo lote de corpos de prova para ser submetido em cura in natura. O objetivo foi observar como os corpos de prova se comportam em ambientes diferentes, analisando as mesmas variáveis. Os CP's submetidos à cura in natura passaram pelos mesmos procedimentos em acordo com as normas utilizadas. Utilizando o mesmo traço médio, foram definidas as proporções para a confecção dos corpos de prova como mostra a Tabela 7.

Ainda de acordo com as normas

utilizadas e com o Slump Test pré-estabelecido, foram realizados os ensaios de abatimento para observar as propriedades físicas e assim produzir os corpos de prova. A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos do abatimento do segundo lote de CP's. Deste segundo lote, a fim de observar como se comporta o CP fora da água, foi confeccionado apenas corpos de prova com substituições, onde foram produzidos 6 corpos de prova, 2 de 25%, 2 de 50% e 2 de 75% de substituição.

**Tabela 7:** Proporção dos materiais utilizados para confecção do segundo lote de corpos de prova.

TRAÇO 1:2:3						
TRAÇOS %	a/c	MATERIAL (Kg)				Litros ÁGUA
		CIMENTO	AREIA	BRITA	CAROÇO DE AÇAÍ	
TRAÇO 1 (0%)	-	-	-	-	-	-
TRAÇO 2 (25%)	1,15	2	4	4,5	1,5	2,3L
TRAÇO 3 (50%)	1,25	2	4	3	3	2,5L
TRAÇO 4 (75%)	1,50	2	4	1,5	4,5	3L

Fonte: Autor (2021).

**Tabela 8:** Abatimento do tronco de cone para o segundo lote de corpos de prova.

SLUMP TESTE				
TRAÇO 1:2:3				
	TRAÇO 1 SUBSTITUIÇÃO DE 0%	TRAÇO 2 SUBSTITUIÇÃO DE 25%	TRAÇO 3 SUBSTITUIÇÃO DE 50%	TRAÇO 4 SUBSTITUIÇÃO DE 75%
ALTURA (cm)	-	4,5cm	5cm	4,5cm

Fonte: Autor (2021).

Após 48 horas de cura do segundo lote, foram observadas fissuras em proporções menores nos CP's. Passados 7 dias de cura in natura, os CP's foram pesados antes do ensaio à compressão e foi observado uma perda de massa, causada pela perda de água devido a absorção do agregado reciclado. As fissuras apresentadas nos CP's se deram pela falta de hidratação no processo de cura do concreto, já que o agregado reciclável tem o poder de absorção de água muito grande. Contudo, ao realizar os ensaios de compressão, obtivemos resultados relativamente maiores em relação aos corpos submetidos à cura submersa. Foram realizados ensaios de compressão do

segundo lote com 7 e 21 dias de cura, conforme mostra a Tabela 9.

**Tabela 9:** Ensaio de resistência a compressão com 7 e 21 dias de cura in natura.

TABELA DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (Mpa)			
CORPOS DE PROVA		7 DIAS	21 DIAS
CP 25%	CP 1	2,19 Mpa	1,90 Mpa
CP 50%	CP 1	0,76 Mpa	1,20 Mpa
CP 75%	CP 1	0,94 Mpa	0,57 Mpa

Fonte: Autor (2021).

Foi observado que, os resultados dos CP's submetidos à cura submersa são inferiores aos resultados dos CP's em cura in natura, contudo, a resistência à compressão foi inferior ao concreto de referência. O aumento da relação a/c nos CP's com cura submersa, e em contrapartida a baixa relação de a/c nos CP's em cura in natura pode explicar essa perda drástica de resistência, assim como a relação cimento/agregado e também a presença de fissuras, comprometendo a resistência final.

#### 4. CONCLUSÃO

A partir do programa experimental, foi possível obter as seguintes conclusões. O concreto produzido com o caroço do açaí necessita de mais água que os concretos convencionais, devido à alta taxa de absorção apresentada pelo caroço do açaí. Porém, a substituição parcial dos agregados naturais grãos pelo caroço do açaí teve um ponto positivo na sua massa final, com o aumento da substituição, houve uma queda na massa final da peça em relação à peça de referência.

Contudo, a resistência à compressão do

concreto foi muito influenciada pela porosidade dos materiais que o compõem. Quando utilizado um material reciclado, a relação a/c e o teor de agregado grão reciclado foram os fatores de maior influência na determinação da resistência. Como o agregado reciclável tem menor massa específica em relação ao agregado grão natural, o teor de agregado foi maior na mistura final do concreto, o que ocasionou um concreto poroso e, conseqüentemente, influenciando na sua resistência final.

No atual trabalho, optou-se por trabalhar com um abatimento pré-estabelecido. Desse modo, a quantidade de água foi variável até que se atingisse o abatimento desejado. Assim, foi observado que as reduções das resistências à compressão, ao serem adicionados o caroço do açaí ao traço do concreto, podem ser justificadas pela alta porosidade do agregado em questão e pela relação a/c, pois havia, por parte desses, maior absorção da água de amassamento.

Portanto, o concreto feito com caroço do açaí não é recomendável para fins estruturais. É preciso que mais estudos sejam realizados, como por exemplo, sua utilização como agregado miúdo ou sua utilização em porcentagens menores na substituição do agregado natural.

#### 5. REFERÊNCIAS

1. ALVES, J. D. **Manual de tecnologia do concreto**. 3. ed. rev. Goiânia: Editora da UFG, 1993.
2. ANDRIOLO, F. R. **Construções de concreto**. São Paulo: Pini, 1984.
3. ARAÚJO, D. L.; FÉLIX, L. P.; SILVA, L. C.; SANTOS, T. M. **Influência de agregados reciclados de resíduos de construção em propriedades mecânicas do concreto**. Revista Eletrônica Engenharia Civil. Vol. 11, n.1, p.16-34, 2016.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS

- TÉCNICAS. NBR 12821. **Preparação de concreto em laboratório – Procedimentos**. 2009. (ABNT 2009a).
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738. **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. 2015. (ABNT 2015a).
  6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739. **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. 1994. (ABNT 1994a).
  7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211. **Agregado para o concreto – Especificações**. 1983. (ABNT 1983a).
  8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211. **Agregados para concreto - Especificação**. 2009. (ABNT 2009a).
  9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9935. **Agregado, terminologia**. 2011. (ABNT 2011a).
  10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67. **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. 1998. (ABNT 1998a).
  11. BARREIRA, R. M. **Caracterização físico-química do endocarpo do açaí para aplicação em síntese de poliuretana**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil, 2009.
  12. BLANKENDAAL T.; SCHUUR, P.; VOORDIJK, T. **Reduzindo o impacto ambiental do concreto e asfalto: uma abordagem de cenário**, 2014.
  13. BUENO, C.; F. **Tecnologia dos materiais de construção**. 2000. Disponível em: <[http://www.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/materiais\\_construcao.pdf](http://www.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/materiais_construcao.pdf)>. Acesso em 28 de maio. 2021.
  14. CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. Tese de Doutorado. 2007. UFSCAR. São Carlos-SP.
  15. CASOTTI, D.; E. **Causas e recuperação de fissuras em alvenaria**. 2007. Disponível em: <<http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1061.pdf>>. Acesso em 28 de maio. 2021.
  16. FARINAS, C. S.; SANTOS, R. R. M.; BERTUCCI, N. V.; PESSOA, J. D. C. **Aproveitamento do caroço do açaí como substrato para a produção de enzimas por fermentação em estado sólido**. *Boletim de Pesquisa e desenvolvimento*. Embrapa, 2009.
  17. FÉLIX, E.; FELICIANO, T.; DEZEN, B. G. S.; OLIVEIRA, I. **Viabilidade técnica e econômica da produção de concreto com RCD**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. Belo Horizonte, 2016.
  18. FERNANDES, A. V. B.; AMORIM, J. R. R. **Concreto sustentável aplicado na construção civil**. v. 2, 2014.
  19. GRANDISK, P. **Instituto brasileiro de avaliações e perícias de engenharia**, 2010. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/160/trinca-ou-fissura-como-seoriginam-quais-os-tipos-285488-1.aspx>>. Acesso em 28 de maio de 2021.
  20. HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. 1ª edição. Brasília: SENAI, 1993.
  21. ISAIA, G. C. O. **Concreto: da Era Clássica à contemporânea**. In: *Concreto: Ensino, pesquisa e realizações*. São Paulo: IBRACON, 2005.

22. LAHR, F.; SAVASTANO J. H.; FIORELLI, J. **Uso de resíduos de fibras vegetais e madeiras amazônicas para a produção de compósitos poliméricos.** In: *Materiais de Construção Não Convencionais a Base de Resíduos Agroindustriais*, São Paulo, 2015.
23. LEAL, U. **Revista de tecnologia da construção** 10, 2001.
24. LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese (Doutorado), Porto alegre., 2001.
25. LIBÂNIO M.; PINHEIRO; CASSIANE D. M.; SANDRO P. S. **Estruturas De Concreto - Capítulo 2.** USP. São Paulo, 2014.
26. MEHTA, P. K.; MONTEIRO P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo, Pini, 1994.
27. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** 3ed. São Paulo: Ibracon, 2008.
28. NEVILLE, A. M.; **Propriedades do concreto**, tradução Salvador E. Giannusso, ed. 2ª, São Paulo-SP, PINI, 1997.
29. PACHECO, R. F. R. **Análise do Módulo de Elasticidade e Resistência à Compressão de concretos Produzidos em Centrais na Grande Vitória: Experimentos e Estatística.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, 2006.
30. Instituto brasileiro de geografia e estatística (IBGE). **PESQUISA DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA MUNICIPAL.**, 2018. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 20 de novembro de 2020.
31. PESQUISA DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA MUNICIPAL. Instituto brasileiro de geografia e estatística, 2018. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 20 de novembro de 2020.
32. PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland.** 13. Ed. São Paulo. Globo, 1998.
33. PIRES, D. W.; FRANCO, R. S.; CORREIA, L. S.; LEÃO R. M. **Análise de comparação de concreto utilizando resíduo de caroço de açaí.** Palmas/TO, CONTECC, 2019.
34. PRODUÇÃO DE CIMENTO POR ANO. **Sindicato nacional da indústria do cimento**, 2019. Disponível em: < <http://snic.org.br/>>. Acesso em: 16 de outubro de 2020.
35. QUADROS, P. A. **Estudo das correlações entre as propriedades mecânicas do concreto.** Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte, 2014.
36. ROGEZ, H. **Açaí: preparo, composição e melhoramento da conservação.** Belém: EDFPA, 2000.
37. WANG, J.; WU, H.; TAM, V. W. Y.; ZUO, J. **Considerando os impactos ambientais do ciclo de vida e a disposição da sociedade em otimizar a taxa de gerenciamento de resíduos de construção e demolição: Um estudo empírico da China.** *Journal of Cleaner Production* 206, 2017.
38. XUAN, D.; POON, C. S.; ZHENG, W. **Gestão e utilização sustentável de resíduos de processamento de usinas de concreto pronto em construção: uma revisão.** v. 36, 2018.
39. YEHIA, S.; HELAL, K.; ABUSHARKH, A.; ZAHER, A.; ISTAITIYEH, H. **Força e durabilidade avaliação de concreto agregado reciclado.** *Jornal Internacional de Estruturas e Materiais de Concretos.* Voar. 9, 201

