

**Produção de concreto de alta resistência com utilização de superplastificante e adição de  
microsílica**

**Production of high strength concrete using superplasticizer and addition of microsilica**

**Producción de hormigón de alta resistencia mediante superplastificante y adición de  
microsílice**

Recebido: 19/12/2020 | Revisado: 23/12/2020 | Aceito: 26/12/2020 | Publicado: 28/12/2020

**Samuel Cameli Fernandes**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2848-0988>

Universidade Nilton Lins, Brasil

E-mail: [czssamuel@hotmail.com](mailto:czssamuel@hotmail.com)

**Rodrigo Paz Barro**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5677-8466>

Universidade Nilton Lins, Brasil

E-mail: [lmbarros\\_15hotmail.com](mailto:lmbarros_15hotmail.com)

**Andrezza de Souza Ferreira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1628-2933>

Universidade Nilton Lins, Brasil

E-mail: [andrezzarchi@gmail.com](mailto:andrezzarchi@gmail.com)

**Laerte de Melo Barros**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4803-1394>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Brasil

E-mail: [laerte.barros@ifam.edu.br](mailto:laerte.barros@ifam.edu.br)

**Resumo**

Os concretos de elevados desempenhos apresentam propriedades que satisfazem vários critérios de qualidade como resistência, trabalhabilidade e durabilidade. A resistência é a medida de qualidade do concreto de maior importância, embora tantas outras possam ser levadas em consideração. No passado a regra básica para a produção de concretos de alta resistência era a adição na mistura de mais cimento Portland e menos água, porém misturas ricas em cimentos apresentam maior retração e maior possibilidade de fissuração. O aparecimento de aditivos redutores de água aumentou significativamente a resistência do concreto, além de adições minerais como sílica e cinzas volantes de boa qualidade também

contribuíram bastante para este aumento de resistência. O objetivo da pesquisa foi a comparação entre as propriedades mecânicas de resistência a compressão axial e tração por compressão diametral do concreto convencional produzidos com agregados naturais da região Amazônica e concreto com características especiais, concreto de alta resistência, através da adição de microssílica e aditivo químico superplastificante, para as idades de 7, 14, 21, 28 e 90 dias. A adição de microssílica proporcionou redução da porosidade da matriz melhorando a interface com os agregados da mistura, enquanto que o superplastificante possibilitou redução substancial da água de hidratação, aumentando significativamente a resistência do concreto.

**Palavras-chave:** Concreto; Alta resistência; Amazônica; Microssílica; Superplastificante.

### **Abstract**

High performance concretes have properties that satisfy several quality criteria such as strength, workability and durability. Strength is the most important measure of concrete quality, although many others can be taken into account. In the past, the basic rule for the production of high-strength concretes was the addition of more Portland cement and less water to the mixture, however mixtures rich in cement present greater retraction and greater possibility of cracking. The appearance of water-reducing additives significantly increased the strength of the concrete, in addition to mineral additions such as silica and fly ash of good quality also contributed greatly to this increase in strength. The objective of the research was to compare the mechanical properties of axial compression strength and tensile by diametrical compression of conventional concrete produced with natural aggregates from the Amazon region and concrete with special characteristics, high strength concrete, through the addition of microsilica and chemical additive superplasticizer, for ages 7, 14, 21, 28 and 90 days. The addition of microsilica reduced the porosity of the matrix, improving the interface with the aggregates of the mixture, while the superplasticizer allowed a substantial reduction in the hydration water, significantly increasing the strength of the concrete.

**Keywords:** Concrete; High resistance; Amazonian; Microsilica; Superplasticizer.

### **Resumen**

Los hormigones de alto rendimiento tienen propiedades que satisfacen varios criterios de calidad como resistencia, trabajabilidad y durabilidad. La resistencia es la medida más importante de la calidad del hormigón, aunque se pueden tener en cuenta muchas otras. En el pasado, la regla básica para la producción de hormigones de alta resistencia era la adición de

más cemento Portland y menos agua a la mezcla, sin embargo las mezclas ricas en cemento presentan mayor retracción y mayor posibilidad de fisuración. La aparición de aditivos reductores de agua aumentó significativamente la resistencia del hormigón, además de adiciones minerales como sílice y cenizas volantes de buena calidad también contribuyeron en gran medida a este aumento de resistencia. El objetivo de la investigación fue comparar las propiedades mecánicas de resistencia a compresión axial y tracción por compresión diametral de concreto convencional producido con agregados naturales de la región amazónica y concreto con características especiales, concreto de alta resistencia, mediante la adición de microsílíce y aditivo químico. superplastificante, para edades de 7, 14, 21, 28 y 90 días. La adición de microsílíce redujo la porosidad de la matriz, mejorando la interfase con los agregados de la mezcla, mientras que el superplastificante permitió una reducción sustancial del agua de hidratación, aumentando significativamente la resistencia del hormigón.

**Palabras clave:** Hormigón; Alta resistência; Amazônica; Microsílíce; Superplastificador.

## 1. Introdução

O concreto é o material mais utilizado pela indústria da construção civil no mundo. É um sólido artificial que se molda à criatividade do homem para construção de casas de alvenaria, rodovias, pontes, edifícios, torres de resfriamento, usinas hidrelétricas e nucleares, obras de saneamento, plataformas petrolíferas, etc (ABCP, 2013).

Atualmente, apesar da recessão, Manaus experimenta um momento de grandes transformações em virtude do crescimento horizontal e vertical da cidade. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), a cidade de Manaus concentra mais de 50% da população do estado Amazonas.

O Pólo Industrial de Manaus contribui com o maior PIB gerado no Estado. Das cidades brasileiras, Manaus é a oitava maior economia do País (IBGE, 2016).

Uma das maneiras de reduzir os impactos da produção de concreto é a diminuição do consumo de cimento Portland com a produção de misturas mais eficientes, não pela simples redução do consumo do concreto em si, que implicaria outros problemas, mas através da substituição do cimento por outros materiais.

As microssílicas fornecem um conforto ambiental na produção de concretos especiais por ser um subproduto industrial, emissões perigosas lançadas na atmosfera com a produção de cimento são reduzidas, com a economia de energia e redução de matéria-prima.

Conforme Barros (2016) nos concretos os superplastificantes são redutores de água de grande efeito, que cuidadosamente compatibilizados ao cimento possibilita diminuir a relação água/aglomerante em concretos de alta resistência até aproximadamente 0,23 e ainda assim obter um excelente nível de abatimento inicial, entre 100 mm e 200 mm.

O conceito de Concreto de Alta Resistência tem mudado várias vezes com o passar do tempo, depende do local e época, estabelecendo assim uma indefinição por parte dos autores.

Para Molin, Kulakowski e Vieira (1997), um determinado concreto pode ser considerado de alta resistência se o mesmo apresentar resistência característica a compressão superior à média normal ou se apresentar especificações superiores às alcançadas anteriormente.

O objetivo da pesquisa foi a comparação entre as propriedades mecânicas de resistência a compressão axial e tração por compressão diametral do concreto convencional produzidos com agregados naturais da região Amazônica e concreto com características especiais, concreto de alta resistência, através da adição de microssílica e aditivo químico superplastificante, para as idades de 7, 14, 21, 28 e 90 dias.

## **2. Revisão Bibliográfica**

Constituído essencialmente de um aglomerante, que é o cimento Portland, agregados e água o concreto é um material compósito. O agregado é um material granular, como britas, seixos, ou resíduos de construção e demolição com diâmetro maior que 4,75 mm. De acordo com a NBR 7211 (2009), o termo agregado graúdo se refere a partículas de diâmetro maior que 4,75 mm (peneira de nº 4), e o termo agregado miúdo se refere-se às partículas de agregados de diâmetro entre 75 µm (peneira de nº 200) e 4,75 mm.

### **2.1 Concreto convencional e concreto de alta resistência**

Quando o concreto é produzido em sua composição original, para se alcançar certo nível de trabalhabilidade, é preciso usar mais água do que a necessária para hidratar todas as partículas do cimento. A adição em excesso de água à mistura gera aumento de porosidade na pasta hidratada de cimento, que resulta em redução das propriedades mecânicas e durabilidade, pois a água adicional não reage com as partículas de cimento. Um concreto durável, em geral, tem baixa porosidade e antes do início da hidratação os grãos de cimento

encontram-se densamente empacotados; é uma mistura caracterizada por uma baixa relação água/cimento que proporciona à mistura propriedades mecânicas elevadas (Barros, 2016).

Partindo do pressuposto que a maioria dos concretos possuem resistência a compressão menor que 50 MPa, todos os demais concretos que apresentarem valores de resistência superiores serão considerados de alta resistência (NBR 8953, 2015). Quando comparamos o efeito da microestrutura nas propriedades do concreto de alta resistência com os concretos convencionais temos valores bem mais significativos, exigindo assim um controle tecnológico mais rigoroso.

Continuando com a definição de concreto de alta resistência podemos citar Helene et al. (2011), onde o autor afirma que são considerados concretos de alta resistência os concretos que apresentam resistência à compressão superiores a 50 MPa aos 28 dias de idade. O autor ainda afirma que para que o concreto obtenha esses resultados é necessário que o mesmo seja compacto e estabeleça um índice reduzido de microfissuração, fazendo-se necessário o uso de aditivos e adições.

A NBR 8953 (2015) classifica o concreto em dois grupos, sendo o grupo I relativo a concretos convencionais, com resistências que variam de 20 MPa a 50 MPa, e o grupo II de concretos de alta resistência, com variação de 55 MPa a 100 MPa, conforme a Tabela 1.

**Tabela 1.** Classes de resistência dos concretos estruturais.

| GRUPO I | RESISTÊNCIA<br>COMPRESSÃO<br>(MPA) | GRUPO II | RESISTÊNCIA<br>COMPRESSÃO<br>(MPA) |
|---------|------------------------------------|----------|------------------------------------|
| C20     | 20                                 | C55      | 55                                 |
| C25     | 25                                 | C60      | 60                                 |
| C30     | 30                                 | C70      | 70                                 |
| C35     | 35                                 | C80      | 80                                 |
| C40     | 40                                 | C90      | 90                                 |
| C45     | 45                                 | C100     | 100                                |
| C50     | 50                                 |          |                                    |

Fonte: NBR 8953 (ABNT, 2015).

## 2.2 Aditivos e adições

As adições minerais melhoram características técnicas dos concretos de alta resistência, podem ser incorporadas ao concreto ou como substituição de parte do cimento. Freitas (2005) destaca benefícios ao concreto fresco e endurecido no uso de adições minerais

nos concretos, como aumento da coesão, diminuição da segregação e aumento da durabilidade.

A sílica é um resíduo oriundo das indústrias de ferro silício produzida em grandes fornos elétricos de fusão do tipo arco-voltaico, que trabalha a temperaturas acima de 2000°C. Segundo a NBR 11768 (2011), aditivos são os produtos que incorporados em pequenas porções aos concretos tem a capacidade de alterar algumas de suas propriedades físicas e mecânicas, tendendo a gerar melhorias nas condições determinadas, como por exemplo os superplastificantes, são produtos que elevam o índice de consistência do concreto e mantém a quantidade de água da mistura.

Conforme Aïtcin, Jolicoeur e Macgregor, (1994), os aditivos superplastificantes são polímeros orgânicos hidrossolúveis de cadeias longas com uma elevada massa molecular. Os polímeros que apresentam pesos moleculares maiores são absorvidos sobre as partículas de cimento, influenciando tanto na morfologia dos produtos de hidratação como as propriedades de dispersão.

Em contraste com os superplastificantes possibilitam que seja possível alcançar alta fluidez nas misturas, existem dos aditivos modificadores de viscosidade, que garante um aumento da coesão, previne a exsudação e a segregação do concreto (Tutikian e Dal Molin, 2008)

Em continuação com a conceituação dos aditivos podemos citar Mehta e Monteiro, (1994). Em conformidade com o autor, os aditivos superplastificantes são conhecidos no meio técnico como redutores de água de alta eficiência, por possibilitarem a redução do teor de água de três a quatro vezes mais, para uma certa mistura, quando comparados aos aditivos plastificantes. São elementos de massa molecular elevada, possuem um grande número de grupos polares na cadeira do hidrocarboneto e são tensoativos de cadeia longa.

Os superplastificantes podem ser agrupados em quatro categorias, de acordo com sua composição química. A primeira categoria é a dos lignossulfonatos, a segunda pertence aos sais sulfonatos de policondensado de naftaleno, a terceira é a dos sais sulfonatos de policondensado de melanina e a quarta é a categoria dos policarboxilatos (Price, 2003); (Hartmann, 2002).

Segundo Kreijger (1988) e Hewlett Rixom (1977), os primeiros redutores de água pertenciam a categoria dos lignossulfonatos e suas composições variavam consideravelmente, ocasionando uma variedade alta nas características de desempenho.

### 3. Materiais e Métodos

O cimento utilizado nas formulações de concreto foi o Portland, denominado CP IV-32, de fabricação da empresa Mizu bastante comercializado em Manaus. O cimento foi fracionado e armazenado em pequenas quantidades em ambiente seco, além de utilizado dentro do prazo de validade, para que suas propriedades originais não fossem alteradas.

A microsilica empregada nas dosagens para os concretos foi a microsilex de fabricação da empresa GCC (Grupo Cimentos de Chihuahua), que possui três fábricas instaladas nos EUA e três no México, Figuras 1a e 1b.

**Figura 1(a)** – Embalagem da sílica em pó.



Fonte: Autores (2019).

**Figura 1(b)** - Amostra de microsilica.



Fonte: Autores (2019).

Os agregados empregados na produção dos concretos estudados são de natureza mineral e comercializados na cidade de Manaus. O agregado miúdo utilizado foi a areia de terra firme, enquanto os agregados graúdos foram seixo de rio e brita granítica.

O agregado miúdo foi uma areia natural, que para a caracterização, foram realizados ensaios de granulometria, massa unitária e massa específica, de acordo com os procedimentos recomendados pelas normas NBR NM 248 (2003); NBR NM 45 (2006) e NBR NM 52 (2009).

Um aditivo plastificante foi utilizado nas misturas para que fossem alcançadas resistências elevadas, superiores a 50 MPa após 28 dias, nos concretos experimentais. O Glenium 51 é um aditivo superplastificante, recomendado para a fabricação de todos os tipos de concreto quando se necessita de baixo fator água/cimento (a/c) e alta fluidez, e compatível com todos os tipos de cimento Portland. É um aditivo baseado em uma cadeia de éter policarboxílico modificado que atua como dispersante do material cimentício, proporcionando superplastificação e alta redução de água, os dados técnicos estão apresentados na tabela 2. Os polímeros de éter policarboxílico possuem largas cadeias laterais, que se depositam na

superfície das partículas de cimento, causando dispersão por repulsão eletrostática. A Figura 2 apresenta o fenômeno da defloculação dos grãos de cimento.

**Tabela 2** - Dados técnicos do Glenium 51.

| TESTE                                 | ESPECIFICAÇÃO                            |
|---------------------------------------|--|
| Viscosidade (cps)                     | < 150                                    |
| Sólidos (%)                           | 28,5 - 31,5                              |
| Massa específica (g/cm <sup>3</sup> ) | 1,075 - 1,115                            |
| Função                                | Aditivo superplastificante para concreto |
| Base Química                          | Éter policarboxílico                     |
| Aspecto                               | Líquido                                  |
| Cor                                   | Branco turvo                             |

Fonte: Basf Company.

**Figura 2.** Ensaio de mini abatimento.



Fonte: Autores (2019).

Os ensaios foram realizados de acordo com a ABNT NBR 5739 (2018) e ABNT NBR 7222 (2011), no Laboratório de Materiais de Construção e Resistências dos Materiais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM. Foram moldados corpos de prova cilíndricos de 10 x 20 cm, capeados com enxofre e ensaiados em máquina universal eletromecânica UMC 60T e 200T com auxílio do software pavitest global-UMC.

#### 4. Resultados

Após os estudos iniciais para determinação das misturas de concreto mais adequadas para a presente pesquisa, uma dosagem de concreto convencional M1 e uma de alta



resistência M2 com adição de 10% de microssílica e superplastificante foram definidas para os ensaios mecânicos como apresentados na Tabela 3.

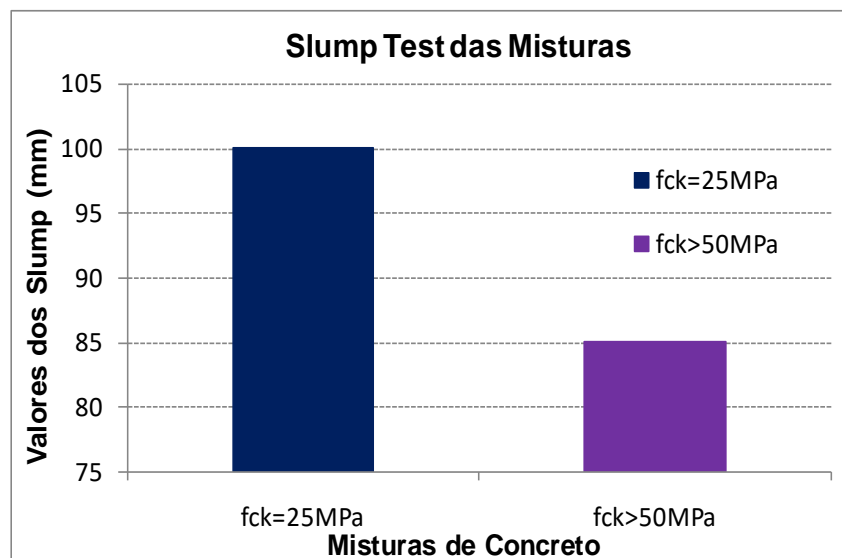
**Tabela 3.** Dosagens de concreto convencional e de alta resistência.

|    | CIMENTO<br>(KG) | AREIA<br>(KG) | BRITA<br>(KG)      | FATOR<br>A/C |
|----|-----------------|---------------|--------------------|--------------|
| M1 | 411             | 813,78        | 904,20             | 0,56         |
| M2 | 411             | 813,78        | 904,20             | 0,32         |
|    | SÍLICA          |               | SUPERPLASTIFICANTE |              |
|    | 10%             |               | 1,2%               |              |

Fonte: Autores (2019).

A Figura 3 apresenta os resultados dos ensaios de consistência, que é a propriedade do concreto recém-misturado, que indica a viabilidade com que ele pode ser bem trabalhado e moldado sem que haja separação, e é medido por meio do teste de queda convencional.

**Figura 3** - Resultado dos testes de consistência para o concreto convencional e de alta resistência.



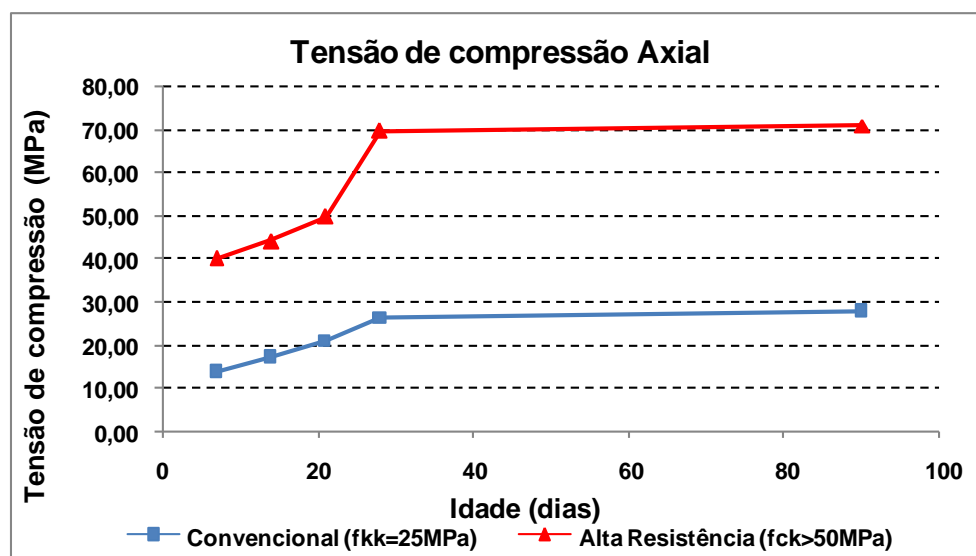
Fonte: Autores (2020).

O cone de queda slump test foi o instrumento utilizado para o ensaio que apresentou 100 mm e 85 mm para os concretos com resistências de 25 MPa e 50 MPa respectivamente. A resistência à compressão de cada mistura foi avaliada em função do tempo de cura nas idades 7, 14, 21, 28 e 90 dias. Os resultados médios de tensão de compressão são listados na

Figura 4, que mostra a variação das tensões de compressão para as diferentes idades de rompimento.

Verifica-se na Figura 4 um aumento progressivo nas resistências com o aumento das idades, como já era esperado, e uma significativa diferença entre as mesmas. Quando comparamos as resistências para as idades de 7 e 90 dias tivemos um aumento percentual de 291% e 257% respectivamente, demonstrando que as mesmas se mantiveram praticamente constantes ao longo de todas as idades de ruptura.

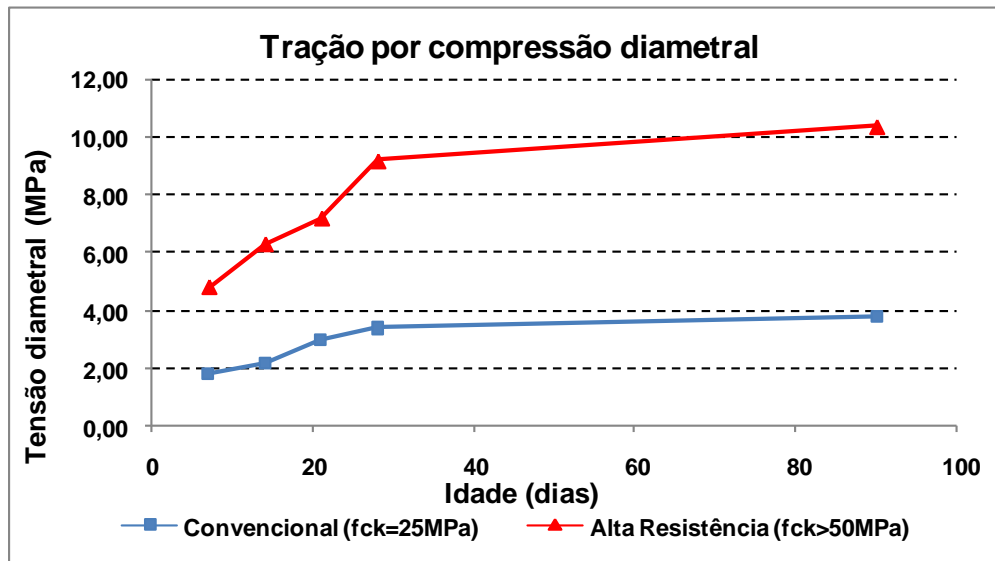
**Figura 4.** Comparação das tensões de compressão axial de ruptura do concreto convencional e concreto de alta resistência.



Fonte: Autores (2020).

Percebemos que a utilização simultânea de aditivo superplastificante e de adição mineral possibilitou um aumento considerável da resistência, mas a utilização desses materiais também pode interessar por aumentar o módulo de elasticidade e durabilidade do material. Os valores de resistência à tração dos concretos convencional e de alta resistência são mostrados na Figura 5. Tais valores foram em média 12% e 15% dos valores de resistência à compressão axial para as misturas M1 e M2 respectivamente.

**Figura 5.** Comparação das tensões de tração por compressão diametral de ruptura do concreto convencional e concreto de alta resistência.



Fonte: Autores (2019).

## 5. Conclusão

Como os aditivos e adições são indispensáveis para a produção de concretos especiais, os problemas de incompatibilidade devem ser evitados através de ensaios laboratoriais, pois os aditivos superplastificantes devem ser utilizados em dosagens apropriadas para se evitar em perdas rápidas e irreversíveis de abatimento, exsudação excessiva e elevada segregação. Podemos observar que a melhoria dos poros de um concreto de alta resistência é alcançada pelo uso combinado de aditivos químicos e adições minerais.

As adições proporcionam redução adicional da porosidade da matriz melhorando a interface com os agregados da mistura, enquanto que os aditivos químicos possibilitam uma redução substancial da água de hidratação, a quantidade de ar aprisionado e tamanho dos poros são reduzidos, formando-se uma microestrutura no estado endurecido mais densa.

## Referências

Aïtcin, P. C., Jolicoeur, C., & Macgregor, J. G. (1994). *Superplasticizers: How they work and why they occasionally don't*. Concrete International.

Associação Brasileira de Cimento Portland (2013). Recuperado de: <http://www.abcp.org.br>.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2011). *Aditivos para concreto de cimento Portland*. NBR EB - 11768, Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). *Agregados para concreto - Especificação*. NBR 7211: 2009, Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). *Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios*. ABNT NBR NM 45, Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003). *Agregados - Determinação da composição granulométrica*. ABNT NBR NM 248, Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018). *Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. NBR 5739, Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2011). *Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos*. NBR 7222, Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015). *Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência*. NBR 8953, Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). *Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente*. NBR NM 52, Rio de Janeiro.

Barros, L. M (2016). *Concreto de alta resistência a partir de matérias-primas amazônicas e vidro reciclado*. Tese de Doutorado apresenta. São Carlos.

Brasil. IBGE, 2018. *População estimada*. Recuperado de: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/manaus/panorama>.

Brasil. IBGE, (2016). *Produto Interno Bruto dos Municípios*. Recuperado de: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/manaus/pesquisa/38/46996?tipo=ranking>.

Hartmann, C. T. (2002) . *Avaliação de aditivos superplastificantes base poliacrilatos destinados a concretos de cimento Portland*. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Helene, P., et al. (2011). *Concreto de alto e ultra desempenho*. São Paulo: Ed. IBRACON.

Hewlett, P. C., Rixom, R. (1977). *Superplasticized concrete*. ACI Journal, 74(6)-11, May.

Kreijger, P. C. (1987). *Ecological properties of building materials*. Materials and Structures, 20, 248-254.

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. Concreto (2008). *Microestrutura, propriedades e materiais*. (3a ed.), São Paulo: IBRACON.

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (1994). *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: PINI.

Molin, D. C. C. D., Kulakowski, M. P., & Vieira, M. P. (1997). *Aprimoramento do emprego da sílica ativa SILMIX em cimento e concreto, e verificação de desempenho dos cimentos Eldorado*. Relatório técnico de pesquisa do Projeto de Convênio UFRGS/FLE e Camargo Corrêa Industrial, Porto Alegre.

Price, B. (2003). *Advanced Concrete Technology*. Boston: Newman J and Choo B. S. Amsterdam.

Tutikian, B. F., & Dal Molin, D. C. (2008). *Concreto auto-adensável*. Pini, São Paulo.

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Samuel Cameli Fernandes – 30%

Rodrigo Paz Barros – 20%

Andrezza de Souza Ferreira – 20%

Laerte Melo Barros – 30%