

## **Monografia**

# **" INFLUÊNCIA DA NANOSÍLICA ESTABILIZADA PELO SUPERPLASTIFICANTE NO DESEMPENHO DO CONCRETO "**

Autor: João Marcos de Siqueira  
Orientador: Professora Maria Tereza

DEZEMBRO/2015

# **" INFLUENCIA DA NANOSÍLICA ESTABILIZADA PELO SUPERPLASTIFICANTE NO DESEMPENHO DO CONCRETO "**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil  
da Escola de Engenharia UFMG

Ênfase: Tecnologia estudo dos materiais

Orientador: Professora Maria Tereza

Belo Horizonte  
Escola de Engenharia da UFMG

2015

## **AGRADECIMENTOS**

A obra do Metro linha 4, por me proporcionar a oportunidade de trabalhar em um projeto desta magnitude ; Marcelo Trevisan, representante da empresa ArcelorMittal, pelo convite ; a minha família, esposa e filhos, companheiros inseparáveis em minha vida, amo vocês.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 <i>Cimento</i> .....	13
2.2 <i>Nanosílica</i> .....	15
2.3 <i>Superplastificante</i> .....	16
2.4 <i>Medição Experimental</i> .....	16
3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	19
3.1 <i>Procedimento experimental</i> .....	19
4. RESULTADOS .....	21
5. CONCLUSÃO.....	22
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	23

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 : informações dos traço sugeridos .....	14
Figura 2 : informações dos traço sugeridos .....	16

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Ensaio de cimento .....	17
Tabela 2: Ensaio de cimento II .....	18
Tabela 3: Dados da nanosílica .....	18
Tabela 4: Estudos de dosagem .....	20
Tabela 5: Resistência dos ensaios .....	21

## **LISTA DE ANOTAÇÕES, ABREVIATURAS**

E = Módulo de elasticidade

$\sigma$  = Tensão

NBR = Norma Brasileira

ABCP = Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo estudos de dosagens de concreto, com resistência a compressão e maiores valores de módulo possíveis para esta dosagem, sem alterar a trabalhabilidade nas primeiras idades. Para se ter estes parâmetros é necessário que se trabalhe com relações de água cimento muito baixas, por isso faz se necessário o uso de sílica ativa, para garantir altas resistências iniciais e superplastificantes para garantir a trabalhabilidade necessária. No mercado nacional existe um produto que apresenta nano sílica estabilizada mais superplastificante policarboxilato, de acordo com informações, o uso deste produto, líquido, garante uma resistência a compressão maior nas primeiras idades e trabalhabilidade durante a aplicação além de maior resistência ao módulo de deformação em relação aos traços onde se usa policarboxilatos mais sílicas ativa convencionais, isso se faz pela formação de mais cristais na zona de transição, pasta – agregado, nas primeiras idades. Foram feitos cinco tipos de ensaios alternando os superplastificantes, com e sem nanosilica estabilizada, e os polifuncionais, os resultados apresentados mostram sim uma boa aplicação, policarboxilato+sílica estabilizada, em relação a módulo e resistência á compressão, mas em relação a trabalhabilidade, tem um performance inferior aos outros ensaios apresentados, foi usado também um polifuncional do fabricante, a fim de testar um ganho de trabalhabilidade, também foram obtidos performances inferiores em relação aos traços com as mesmas características e com produtos diferentes .

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo de materiais é uma ciência estudada a séculos por engenheiros, químicos ou estudiosos, a fim de entender as características de cada componente para aplicações distintas, ao longo dos tempos alguns critérios, normalmente, são adotados, na hora da escolha técnica do que se deve usar. “Existem critérios em relação aos quais a decisão final normalmente se baseia ... as condições de serviço devem ser caracterizadas, uma vez que essas vão ditar as propriedades que o material deve possuir ... deteriorização do material que possa ocorrer durante a operação em serviço ... Finalmente, é provável que a consideração final esteja relacionada a fatores econômicos ( Materiais de Construção – PAULO H. L. – CP I – pag. 12 ) . Desde os primórdios, o homem utiliza materiais com características aglomerantes, que eram empregados principalmente na construção de abrigos. Povos antigos, como os babilônios, utilizavam argilas não cozidas misturadas com fibras vegetais, enquanto os egípcios usavam gesso impuro calcinado. Os gregos e romanos recorriam ao calcário calcinado, porém, posteriormente, aprenderam misturar cal, água, areia e pedra britada, combinação que pode ser considerada como o primeiro concreto da história. Um dos grandes exemplos da humanidade na utilização desse material é a cúpula de 47 metros de diâmetro do templo de Phanteon, em Roma, construído em 27 A.C., pelo imperador Marco Agripa. No século XVIII, a reconstrução do Farol de Eddystone em Cornwall, no sudeste da Inglaterra, levou John Smeaton a procurar um material mais resistente para suportar a ação agressiva da água do mar. Tal fato colaborou para que surgissem as primeiras iniciativas de se industrializar o cimento. Em 1824, coube ao pedreiro Joseph Aspdin patentear o aglomerante, que então o batizou como cimento Portland, devido à matéria-prima (calcário) ser extraída da Ilha de Portland. No Brasil, a primeira produção efetiva de cimento aconteceu em 1926 pela Cia Brasileira de Cimento Portland Perus, em Perus (SP). Atualmente, o Brasil é um dos dez maiores produtores de cimento Portland do mundo, sendo o maior da América Latina, e detém uma das mais avançadas tecnologias na fabricação desse produto. O cimento, por ser um material moldável que endurece na presença de água e que

possui elevada resistência, causou uma grande revolução em toda a área da construção e possibilitou ao homem transformar o meio em que vive. Obras cada vez mais indispensáveis para nosso bem-estar, como barragens, pontes, edifícios, estações de tratamento de água, rodovias, portos e aeroportos fazem do cimento, hoje, um dos materiais mais consumidos em toda a sociedade.

Ao longo dos tempos a ciência de materiais evoluiu consideravelmente, tem se noticiado em períodos pré históricos, mas somente no século XVII obtiveram fundamentos científicos, para que o estudo dos materiais se tornasse realmente uma ciência “ Apenas no século XVII aconteceriam as primeiras tentativas de encontrar dimensões seguras de elementos de estruturas, de forma analítica. Assim, tem o início da resistência dos materiais como ciência. Afirma então que se construirmos estruturas geometricamente similares, porém, com aumento gradativo de suas dimensões, elas se tornam cada vez mais fracas. Para provar sua afirmação, começou com uma consideração quanto a resistência de materiais submetidos á tensões simples e atesta que a resistência de uma barra é referente à sua secção transversal, não a seu comprimento.

A necessidade de aprimorar certas características do concreto, levou ao desenvolvimento dos aditivos e incentivou também a busca por outros tipos de materiais que, adicionados ao concreto, pudessem melhorar ainda mais o seu desempenho.

O concreto de alto desempenho é essencialmente um concreto tendo uma baixa relação água aglomerante . A resistência da pasta hidratada de cimento utilizada neste tipo de concreto pode ser melhorada reduzindo as porosidade, já que um grande numero de poros grandes ou vazios, especialmente quando concentrado em um determinado local, reduz a resistência mecânica e a durabilidade do concreto. O tamanho dos grãos dos materiais empregados também influencia nas propriedades do concreto, pois a resistência de uma fase cristalina aumenta com a diminuição do tamanho do grão .( AITCIN , 2000 ).

Estes materiais, quando adicionados à mistura, não têm uma classificação oficial, mas podemos dizer que no concreto, tudo que não é cimento, agregado, água ou aditivo, pode ser chamado de adição.

Entre os materiais utilizados como adições, a sílica ativa é um insumo bastante importante que, aumentam a resistência, diminuem a permeabilidade, diminui o calor de hidratação diminuindo a retração hidráulica, podemos considerar também como ponto positivo é que este insumo, carregam também consigo um benefício ambiental, uma vez que esta adição faz com que se diminua o consumo de cimento, principal emissor de poluentes na construção civil, que já são pontos considerados bastante relevantes na tecnologia do concreto .

Hoje a ciência dos materiais esta extremamente avançada e com tecnologias que provavelmente serão usadas em muitas áreas além da construção civil, estes materiais levam o nome de materiais inteligentes ou materiais do futuro . " O adjetivo inteligente implica que esses materiais são capazes de sentir mudanças nos seus ambientes e então , responder a essas mudanças de uma maneira pre determinada , como também ocorre com organismos vivos ... os componentes e um material inteligente inclui algum tipo de sensor ( que detecta um sinal de entrada ) e um atuador que executa um função de resposta e adaptação".

## **2 Revisão Bibliográfica**

### **2.1 Cimentos**

Em 1786 o inglês John Smeaton criou uma mistura resistente através da calcinação de calcário argilosos e moles. Esse é o marco da criação do cimento artificial. Em 1818, o francês Vicat obteve resultados semelhantes aos de Smeaton, pela mistura de componentes argilosos e calcários. Tempos depois, em 1824, o construtor inglês Joseph Aspdin queimou conjuntamente pedras calcárias e argila, transformando-as num pó fino. Percebeu que obtinha uma mistura que, após secar, tornava-se tão dura quanto as pedras empregadas nas construções. A mistura não se dissolvia em água e foi patenteada pelo construtor no mesmo ano, com o nome de cimento Portland , que recebeu esse nome por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland.

Em média mundial, os cimentos contêm aproximadamente 5 % de gesso, 12 % materiais cimentícios suplementares ( adições, escória, calcário, pozolana ), e 83 % de clínquer ( METHA, 2010 ). Devido a uma campanha mundial para redução da emissão de CO<sub>2</sub>, a indústria do cimento, uma das principais representantes na emissão deste gás, vem aumentando cada vez mais, as adições em relação a composição do cimento, estas adições diminuem o clínquer colocado no cimento e conseqüentemente a emissão de CO<sub>2</sub>. Os nanomateriais, podem ser uma combinação perfeitas na utilização a fim de garantir características mecânicas desejáveis comercialmente e reduzir consideravelmente a emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera .

Figura 1 : Foto micrográfia de um grão de concreto



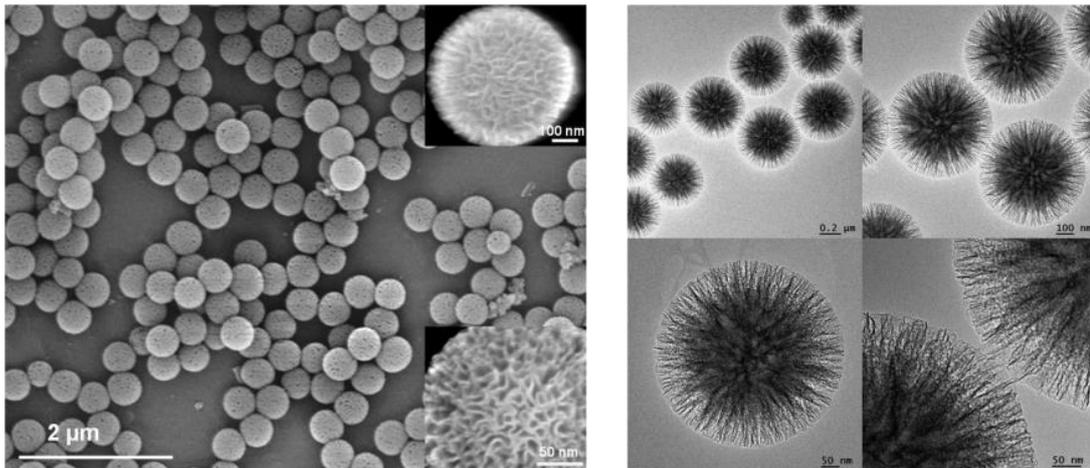
## **2.2 Nanosílica**

A nanotecnologia pode melhorar as propriedades dos materiais cimentícios, tais como, coesão, fluência, fissuração por perda de água , resistência mecânica ( GLEIZE, 2007 ; GLEIZE E PELISSER, 2007 ). O fato do grão ter tamanhos nanométricos, influencia positivamente nas propriedades mecânicas pelo fato da boa distribuição na matriz ou pasta, isso implica em uma distribuição uniforme do grão .

A nanosílica reage rapidamente com o hidróxido de cálcio liberado durante a hidratação do cimento, mais concretamente formando um gel de CSH . A diferença é que o gel de nanosílica apresenta baixa densidade e conseqüentemente, ótima propriedade mecânica, melhorando o desempenho mecânico, quando isso é combinado com aditivos orgânicos, afim de melhorar a trabalhabilidade e manipulação, o que se encontra é um concreto com bom desempenho, e ótimo manuseio .

No que se diz respeito á mistura de nanosilica e sílica ativa, testes de durabilidade de concretos por penetração de cloreto mostram que a nanosilica é mais eficiente que a sílica ativa nas mesmas condições. No entanto, em relação á mistura desses materiais, a combinação e ambas no concreto indicou melhor desempenho quando adicionadas isoladamente ( GHSEMI, *Et Al*, 2010 ) .

Figura 2 : foto micrográfica nanosilica



### **2.3 Superplastificante**

Os aditivo superplastificantes são produtos adicionados ao concreto que tem como principal finalidade garantir uma trabalhabilidade exigível, mantendo as características principais do concreto, normalmente usado para concretos com índice baixo de relação água cimento . Neste trabalho vamos incorporar a nanosílica estabilizada no policarboxilato afim de garantir uma melhor homogeneização .

### **2.4 Medição Experimental**

O cimento utilizado para o experimento foi o cimento Votoran CP V RS ( tabelas 1 e 2 ), cimento disponível com menor índice de adições do mercado . Agregado miúdo, areia natural de quartzo com módulo de finura de 2,6 . Agregado graúdo tipo granito, com adição de brita 0 e 1, com proporção 50 % para cada, este traços foram escolhidos pela facilidade e disponibilidade dos matérias onde se realizou o

estudo de caso . Também utilizou se adição de Tecnosil sílica ativa ( tabela 3 ), que tem como característica teor de SiO<sub>2</sub> g/cm<sup>3</sup> com formato de partícula esférica , a sílica ativa, essa em formato suspenso em água com proporção de 50:50 . A nanosílica utilizada encontrasse estabilizada com dispersão em um aditivo químico polifuncional da marca TECNOSIL, o tamanho típico da nanosilica esta compreendido entre 3 e 200 nm, de acordo com o fabricante . Também foram usados os aditivos Viscoflow ( SIKA ) Superplastificante e Tecmult 416 afim de fazermos algumas comparações em relação aos traços estudados . Em todos os traços foram adicionados sílica ativa.

Foram medidos massa específica de todos os traços em estado fresco e medidas resistências a compressão e módulo de deformação .

**Tabela 1**

<b>Análise Química</b>		
<b>Ensaio</b>	<b>Resultados</b>	<b>Limites NBR 5733</b>
Resíduo Insolúvel (%)	0,73	≤ 1,0
Perda ao Fogo – 1000°C (%)	3,63	≤ 4,5
Perda ao Fogo – 500°C (%)	0,76	-
SiO <sub>2</sub> (%)	19,37	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	4,73	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	2,98	-
CaO (%)	63,58	-
MgO (%)	0,70	≤ 6,5
SO <sub>3</sub> (%)	2,98	≤ 4,5
CO <sub>2</sub> (%)	2,65	≤ 3,0
K <sub>2</sub> O (%)	0,82	-
C <sub>3</sub> A (teórico) (%)	7,80	-

## Ensaio de cimento

Tabela 2

Ensaio Físicos		
Área Específica Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	4742	≥ 3000
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	3,07	-
Finura Peneira # 400 (%)	2,5	-
Início de Pega (min)	131	≥ 60
Fim de Pega (min)	188	≤ 600
Ensaio Mecânicos		
Resistência à Compressão (MPa)		
1 Dia	28,7	≥ 14,0
3 Dias	40,5	≥ 24,0
7 Dias	44,8	≥ 34,0
28 Dias	54,0	-

## Ensaio de cimento II

Tabela 3

Nome do Produto	SILICON NS AD 200
Identificação do Produto	Aditivo de alta redução de água/superplastificante - Tipo II (SP-IN) / Aditivo neutro
Nome Químico	Policarboxilato modificado com nanosílica
Faixa de Concentração	30,0 %

Dados da Nanosílica

### 3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

#### 3.1 *Procedimento Experimental* :

Para realização dos ensaios foram cedidos gentilmente, o laboratório e os materiais da obra do metro linha 4 trecho Oeste- RJ, onde foram realizados todos os estudos as adições foram feitas de acordo com o descrito abaixo :

- 1 Colocação do agregado graúdo na betoneira ;
- 2 Adição de 50 % de água ;
- 3 Adição de agregado miúdo ;
- 3 Adição de aglomerantes – cimento e água ;
- 4 Adição de aditivo polifuncional ;
- 5 Adição do restante da Água ;
- 6 Adição do superplastificante .

Foram realizados 4 ensaios onde o consumo dos aglomerantes, ( cimento + sílica ), foram mantidos, também foram mantidos a relação a/c, e consumos de agregados a fim de mantermos um padrão, somente foram variados os consumos de aditivos, polifuncional e superplastificantes, a fim de medir o desempenho dos aditivos, nos ensaios de tronco de cone, massa específica , ar incorporado, resistência a compressão e módulo de deformação, a descrição dos traços estão na tabela abaixo ( tabela 4 – traços de concreto ).

Os ensaios de tronco de cone ,massa específica e a incorporado seguiram a norma NBR 7223 da ABNT,os ensaios de moldagem de corpo de prova, passaram por uma retificadora afim de deixar a face dos cp's homogêneas, os testes seguiram a norma NBR 5738, os ensaios de resistência a compressão seguiram a norma NBR 5739 ABNT e os ensaios de modulo de deformação seguiram a norma NBR 8522, todos os ensaios foram realizados dentro dos laboratórios da obra do metro do Rio de Janeiro .

Estudo de Dosagem

Traços estudados	CPV ARI RS Votoran (kg/m <sup>3</sup> )	Sílica (kg/m <sup>3</sup> )	teor argamassa	a/c	Brita 0	Brita 1	Aditivo (polifuncional)	Superplastificante	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	Ar (%)	Slump Final (mm)
1	430	35	49%	0,38	40%	60%	TecMult 416 (Grace)	Silicon NS MIX 400 - 1,1%	2299	5,0%	220,0
2	430	35	49%	0,38	40%	60%	TecMult 416 (Grace) 0,5%	Viscoflow 20 - 1,1%	2350	2,8%	180,0
3	430	35	47%	0,38	50%	50%	Silicon Estabil 0,30	Silicon NS MIX 400 - 0,60%	2328	2,7%	200,0
4	430	35	48,5%	0,38	50%	50%	Silicon Estabil 0,38	Silicon NS MIX 607 - 0,85%	2379	2,2%	200,0

**Tabela 4- Traço de concreto com ensaios :**

## 2 . RESULTADOS

A tabela 5, resultados dos ensaios, apresenta os resultado de trabalhabilidade ao longo de um período de duas horas a cada trinta minutos, esta informação se faz importante para grandes centros que dispõem de longas distâncias e congestionamentos, podemos observar que todos os traços inicialmente apresentam trabalhabilidade necessária para aplicação, porém após duas horas, verificamos que somente o traço com Viscoflow e tecmult apresenta plasticidade aplicável .

Quanto á resistência a compressão e módulo de elasticidade, os traços com aplicação dos produtos tecnosil, polifuncional (silicon estabil) e superplastificante (silicon NS MIX 400), apresentaram resultados com maior eficiência, é importante destacar que para esta aplicação se faz muito importante as resistência (compressão e módulo) nas primeiras idades, para o avanço físico da obra .

Traços estudados	Slump Final (mm)	Perda Slump (mm)				Resistência Compressão (MPa)					Módulo de Elasticidade (GPa)		
		00:30	01:00	01:30	02:00	1,5 dia	2,0 dias	3 Dias	7 Dias	28 Dias	1,5dias	3dias	7dias
1	220,0	170,0	10,0	5,0	Xx	23,34	25,8	30,50	38,70	44,3	16	18	x
2	180,0	170	170,0	180,0	175,0	22,6	30,4	38,6	44,3	53,44	20,8	23,00	29,5
3	200,0	140,0	130,0	10,0	6,0	26,51	33,75	42,8	52,9	58,6	21,39	23,05	30,5
4	200,0	160,0	115,0	12,0	9,0	36,00	41,61	48,9	58,7	60,2	25,61	26,39	34,5

**Tabela 5 - Resultados dos ensaios**

## 5 – CONCLUSÃO

Quanto a resistência a compressão, todos apresentarão resultados satisfatórios, nas primeiras idades e baixo crescimento nas idades mais avançadas, 28 dias, o motivo é a utilização do cimento tipo CP V, cimento com características de altas resistências iniciais e baixa projeção de crescimento. Quanto ao modulo de deformação, os traços com utilização de aditivo com nanosilica estabilizada, resutaram em um desempenho, em baixas idades, com melhor desempenho do os traços convencionais, esses resultados em especial, garante avanços representativos em grandes obras, uma vez que, muitos calculistas esperam estes resultados para liberação de formas em grandes vãos .

De acordo com resultados apresentados, pode se concluir que nenhum dos traços acima conseguiram atingir o resultado esperado, que combinaria a trabalhabilidade necessária para mais de duas horas com resistências, compressão e modulo de deformação, mas esse tipo de adição e estudos podem ser aperfeiçoados, porque além do ganho físico de uma obra, podemos ter um ganho sustentável , uma vez que, tanto as adições quanto os aditivos, são essenciais para ganhos de resistência, isso implica em uma redução do fator A/C, e redução de consumos de cimento, um dos principais causadores de emissão de gases poluente em nossa atmosfera, também esta sendo estudo sacos hidrossolúveis de sílica a fim diminuir os resíduos na construção civil .

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas técnicas. **NBR NM 67 – Concreto – determinação de consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro.

ABNT – NBR 5733 – **Cimento Portland de alta resistência inicial.** Rio de Janeiro 1991 .

ABNT NBR 5738 – **Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2003.

ABNT NBR 5739 – **Concreto – ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto.** Rio de Janeiro, 2003.

ABNT NBR 7223 – **Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1992.

ABNT NBR 8522 – **Concreto –Determinação do modulo de elasticidade a compressão.** Rio de Janeiro, 2008.

AITCIN, PC Concreto de alto desempenho. São Paulo, PINI, 2000.

GLEIZE, P. J. P.; PELISSER, F. Natureza da coesão do C-S-H e efeitos de aditivos orgânicos na sua nanoestrutura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO – CBC2007, 49, 2007, Bento Gonçalves. **Anais.:** São Paulo : IBRACON , 2007.CD-ROM .

GLEIZE, P. J. P. Nanotecnologia materiais de construção. In G. C. ISAIAS (Ed.)**Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** São Paulo: IBRACON, 2007 v2. p. 1659 – 1685.

