

Aquino, P.N.A.S.¹

Graduando, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

Resende, P. S. O.²

Professor Me., Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

¹ paulonewi@hotmail.com; ² preengenharia@gmail.com

RESUMO: Concretagens submersas são procedimentos específicos que requerem tecnologia e planejamento, além de necessitar de mão de obra especializada, este tipo de concreto pode ser aplicado em profundidades e submetido a grandes pressões. Assim, este trabalho tem como finalidade, acrescentar ao conteúdo técnico sobre as concretagens subaquáticas por meio de revisão bibliográfica, abordando os principais assuntos relacionado ao tema, para tanto, procedimentos técnicos aplicados em duas concretagens foram analisados e observados como o concreto se comporta em ambientes submersos mantendo sua fluidez e coesão, e discorrer sobre o papel dos aditivos em sua composição, como estes alteram as características e propriedade do concreto em seu estado fresco e endurecido, ainda, demonstrou-se que os concretos ganham resistência conforme maior a profundidade da sua aplicação, e que também algumas utilizações como em lajes de subpressão e como esta, se mostra uma alternativa para solucionar os problemas de rebaixamentos dos lençóis freáticos que causam inúmeros impactos ambientais.

Palavras-chaves: concreto submerso, aditivos, ensecadeiras, concretagem subaquáticas

Área de Concentração: 01 – Construção Civil

1 INTRODUÇÃO

Concretos em ambientes aquáticos necessitam de um cuidado técnico maior, uma vez que nestes ambientes, podem apresentar diversas patologias devido a ataques químicos e físicos. A concretagem deste tipo de material requer muitas vezes acompanhamento de mergulhadores, com o propósito de garantir que nesta etapa não ocorra vazamentos pois, em algumas situações pode ocorrer contaminação da água, gerando um grande impacto ambiental. (TAGLIANI, 2016).

A permeabilidade está diretamente relacionada às características da estrutura porosa, logo, esse tipo de medida é capaz de fornecer um retrato fiel das condições microestruturais de concretos e argamassas.

Sendo assim, podem-se associar eventuais diferenças dos parâmetros de permeabilidade a descontinuidades, fissuras, saturação, reações, deteriorações ou qualquer outro tipo de fenômeno de transformação da estrutura porosa de materiais de construção. (STORMONT, 1997).

Nos processos que envolvem a produção, principalmente a industrial, incluindo peças de materiais que são compostas de cimento, é preciso que a permeabilidade possa funcionar como um parâmetro para avaliar os seus procedimentos de fabricação. Como esta depende do tipo de fluido percolante, de características de conformação das partículas, pode se dizer que as medidas da permeabilidade provem um indicativo das condições microestruturais dos materiais porosos (STORMONT, 1997).

De acordo com Graça. Et al (2001) As concretagens submersas ou subaquáticas necessitam de processos

especializados tanto de execução quanto de planejamento, existe uma carência de pesquisas científicas nesta área.

A degradação do concreto além de meios internos, podem ocorrer também de meios externos, como as reações químicas entre o ambiente em que se encontra e os grãos de cimento Portland, o concreto em meio aquoso pode sofrer o risco de ataques por sulfato e dentre outros agravamentos, estes podem acarretar em uma expansão do concreto na qual se originam as fissuras e destas, surgem o caminho onde a água percorre e atinge os pontos internos causando mais degradação como perda de resistência das estruturas de concreto. (VILASBOAS, 2004).

Concretos presentes em ambientes aquáticos contaminados por ácidos advindos de resíduos industriais, causam uma reação com as partículas de cimento hidratado, ocasionando redução da alcalinidade do concreto e alterando os produtos de hidratação. (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Em obras nas quais são necessários estruturas totalmente ou parcialmente dentro da água, os concretos submersos se mostram uma solução para tal. Como em obras de barragens, pontes, reparos em ambientes subaquáticos e dentre outras situações. Segundo a norma ABNT NBR 6118 (2014) que define a classe de agressividade ambiental, declara que as estruturas de concretos em ambientes submersos estão classificadas como uma classe de agressividade considerada fraca, conforme mostra na tabela 1.

Tabela 1 – Tabela de classe de agressividade ambiental (CAA).

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a Industrial ^{a, b}	Grande
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c} Respingos de maré	Elevado

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).

Verificamos que, estruturas submersas apresentam um risco de deterioração insignificante, entretanto em ambientes marinhos, mostram um grande risco de

deterioração e uma agressividade forte. Outro aspecto notável são os “respingos de maré” onde as estruturas sofrem variações do nível d’água, acarretando em concretos parcialmente submersos.

No caso dos resultados das concretagens submersas feitos por Furnas Centrais Elétricas, foram utilizados concretos auto adensáveis submersos. Estes tipos de compósito, necessitam de certas quantidades de aditivos superplastificantes e anti-dispersantes, aquele com a finalidade de se obter uma melhor fluidez dos materiais enquanto o anti-dispersante tem o papel de adequar a consistência do concreto, uma vez que o mesmo não pode aglomerar com a água quando em estado de submersão, com estes aditivos pode-se chegar um equilíbrio de plasticidade x resistência. (KALUF e NETO, 2016).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Concreto Submerso e seus materiais

Os concretos submersos são denominados assim, pois são aplicados na presença de água em locais como: estruturas submersas tanto em água salgada como em água doce, reparos de barragens, estruturas de contenções e fundações com presença de água. Suas características peculiares diferem dos concretos convencionais e são requeridos procedimentos executivos detalhados (VOTORANTIM, 2018).

Todas as obras de concreto tem uma vida útil limitada e determinada de acordo com sua função estrutural, com o decorrer dos anos há um desgaste natural do material o que resulta em ineficácia do seu papel construtivo, como existem um número considerável de usinas hidrelétricas no país, ocasionalmente são necessários reparos em sua estrutura muitas vezes que estas, estão em ambientes subaquáticos, o que direciona a resolução destes reparos aos concretos auto adensáveis submersos. (MENDES, 2009)

Segundo Mehta e Monteiro (2014), para reduzir as incidências de fissuração o concreto deve apresentar menos retração e ter um alto grau de extensibilidade, ou seja, baixo módulo de elasticidade e grandes resistências à compressão, por estar em um ambiente sem propagação térmica os concretos submersos não sofrem este efeito.

Devido a sua aplicação solicitar um concreto muito fluído e coeso, podemos considerar que todo concreto submerso é um concreto auto adensável, com isso, é requerido uma mão de obra qualificada para sua execução, além da utilização de diversos aditivos em sua composição que corroboram para um aumento do preço final. (KALUF e NETO, 2016)

O concreto submerso é considerado um concreto especial, possuindo propriedades muito específicas em relação aos concretos comuns, pode-se destacar a fluidez e a coesão como as duas características de mais destaque, tendo a primeira o objetivo de atribuir ao compósito mais dinamismo em seu espalhamento submerso e garantir o escoamento do material, enquanto a segunda é responsável por manter sua heterogeneidade intacta e conforme podemos ver na figura 1, onde observamos um concreto de baixo d'água sem dispersar suas partículas com o meio e mantendo sua integridade. (KALUF e NETO, 2016)

Figura 1 – Concreto submerso saindo por uma tubulação.



Fonte: Nascimento, J.F.F. et al (2000).

Os concretos auto adensáveis ou (CAA) foram inicialmente desenvolvidos no Japão em 1983, com os primeiros estudos de Hajime Okamura, os CAA eram aplicados em obras como concretos submerso com o propósito de combater a lixiviação, porém estes concretos eram compostos por aditivos modificadores de viscosidade do qual este obstruía a liberação das bolhas de ar, das quais ficavam retidas dentro do compósito. (TUTIKIAN, 2004).

2.2 Aditivos Superplastificantes

Os aditivos podem ser considerados um elemento chave presente na composição do concreto, por conta da sua utilização, pois de acordo com a ABNT NBR 11768 (1992), cita que estes produtos quando adicionado em pequenas quantidades a concretos de cimento Portland, transformam algumas das suas propriedades, para que possa se adequar as suas condições.

Como os concretos submersos contém uma baixa relação água/cimento, são utilizados aditivos superplastificantes, o que resulta em um concreto muito auto adensável, ou seja, um *slump* alto que melhora sua trabalhabilidade, logo pode facilitar sua aplicação em estruturas com fôrmas complexas, além de não necessitar do uso de vibradores para seu adensamento. É muito recomendado o uso deste aditivo na dosagem em concretos submetidos a ambientes marinhos pois resulta no compósito uma redução da porosidade, impedindo assim a cristalização no concreto. (SERAFIM e LICETTI, 2012)

Assim como nas aplicações de concretos de auto desempenho ou (CAD), a dosagem dos aditivos superplastificantes são feitas de forma experimental utilizando os aditivos de (última geração), costuma-se utilizar taxas variando de 1,5% a 2,5% em relação ao consumo de cimento, porém sendo a taxa de 2% mais recomendada e economicamente viável. (VANDERLEI, 2004)

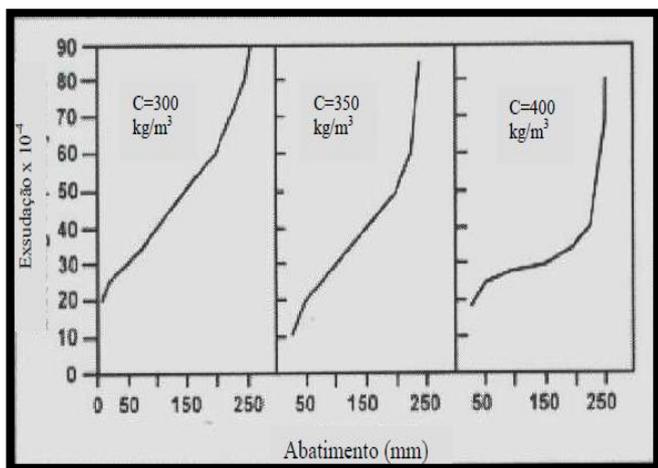
A adição dos aditivos superplastificantes no concreto resultam cargas negativas em suas partículas de cimento, que por sua vez entram em estado de repulsão estérica, ou seja, as partículas se dispersam, ocasionando um concreto com alta trabalhabilidade. (NEVILLE, 2016).

Os estudos laboratoriais devem ser bem detalhados e abranger diversos pontos da concretagem submersa, como explica, Graça Et.al (2001). Para o autor as pesquisas de laboratórios esclarecem os teores e os tipos de aditivos que serão utilizados, o ponto de saturação dos mesmos tanto, os superplastificantes como os hiperplastificantes definem a dosagem do concreto e etc.

Estes aditivos são indispensáveis na dosagem de um concreto auto adensável, pois em execuções de concreto submersos, estes são lançados de grandes

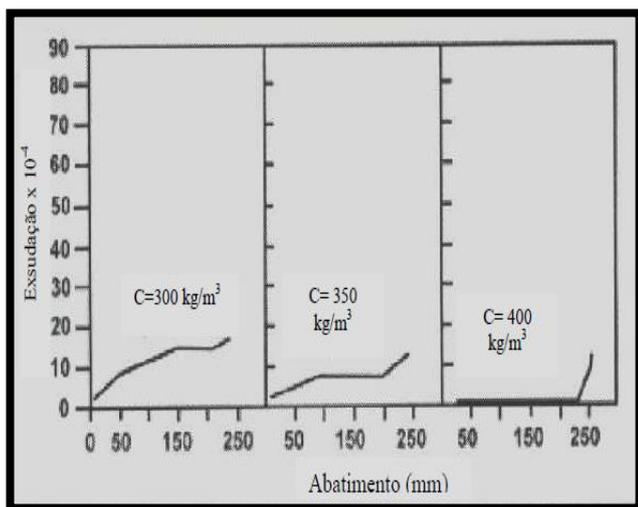
alturas através das tubulações do tipo tremonha, onde diminui o risco de exsudação ou segregação como mostra nas figuras 2 e 3. (NEVILLE, 2016).

Figura 2 – exsudação e abatimento de concretos sem aditivos superplastificantes.



Fonte: Collepari (2001).

Figura 3 – exsudação e abatimento de concretos com aditivos superplastificantes.



Fonte: Collepari (2001).

Segundo Collepari (2001) na figura 2 demonstra um concreto sem aditivos e quando menor o consumo de cimento, temos altos teores de exsudação. Já na figura 3 observamos que nos concretos onde foram adicionados aditivos e com o aumento do consumo de cimento a exsudação apresentou redução significativa.

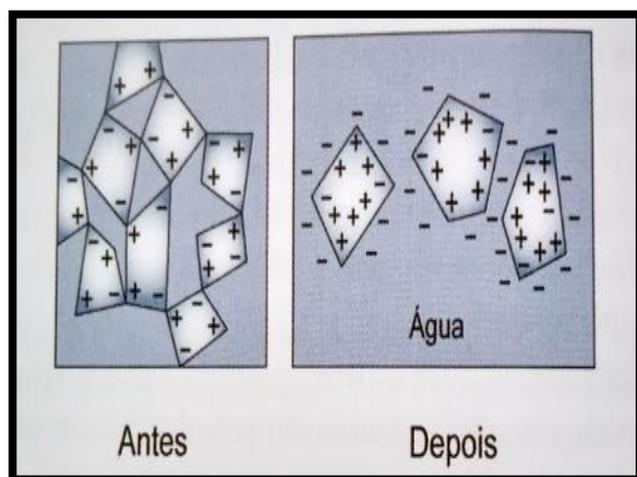
2.3 Aditivos Retardadores de Pega

Como as concretagens submersas são realizadas em locais não muito comuns, ou seja, em ambientes subaquáticos, é natural um plano de concretagem extenso e que leve em consideração um tempo de pega do concreto superior ao usual, para tal é utilizado na dosagem os aditivos retardadores de pega onde é expandido o tempo de endurecimento do concreto sem que o mesmo perca suas propriedades. (KALUF e NETO, 2016).

Os retardadores de pega adicionados à mistura do concreto podem aumentar o tempo de pega em até 4 horas dependendo do tipo de cimento utilizado no concreto. Sua dosagem deve ser obtida de forma experimental para conseguir o desempenho mais adequado, embora o uso deste aditivo resulte em um decréscimo da resistência inicial. A resistência final em comparação com e sem aditivo não tem grande variação. (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Como a água apresenta uma grande tensão superficial devido às ligações de hidrogênios presentes nela, quando adicionada uma pequena quantidade de água na mistura e antes da aplicação do aditivo redutor de água do tipo surfactante como vemos na figura 4, as partículas de cimento se unem em formatos de flocos, e após a adição deste aditivo, as camadas dipolares da água, que compreendem as partículas de cimento, geram uma cadeia mais dispersa. (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Figura 4 – Representação de antes e depois da aplicação do aditivo redutor de água



Fonte: Mehta e Monteiro (2008).

2.4 Aditivos Antidispersantes

Os antidispersantes são os mais utilizados em concretos submersos, são aditivos incorporadores de ar à base de celulose líquida, com o propósito de impedir que o concreto se aglomere com a água quando em ambientes submersos, sendo os mais utilizados o os *anti-washout*. (KALUF e NETO, 2016).

Os aditivos *Anti-Washou Admixture* de acordo com a ficha técnica do Sikament ® – 100SC (ANEXO A, 2019), é um aditivo recomendado para ambientes submersos tanto em água salgado como doce, na produção do concreto aplicando este aditivo, obtêm-se propriedades de fluidez quando submetido a cisalhamento ou agitado mecanicamente, portanto ideal para a etapa de bombeamento do concreto submerso. Porém quando em repouso, se torna um material muito denso e viscoso.

O aditivo antidispersante do tipo *Anti-Washout* é composto por celulose líquida, responsável por manter a integridade do material quando lançados de grandes alturas através das bombas de lançamento ou tremonhas diretamente em superfícies cobertas por água, este aditivo apresenta outras vantagens tais como:

- Concreto de fácil bombeamento e fluidez necessária para penetrar nos espaços das formas.
- Aumento das resistências à compressão e adesão, também reduz a segregação da mistura.
- A vida útil do concreto é dobrada.

2.5 Outros Materiais

Podemos dar ênfase ao papel da sílica ativa como uma adição mineral ao compósito, como cita Neville (2016) que os concretos com utilização de adições de sílica ativa em sua composição apresentam uma redução da permeabilidade na zona de transição em volta dos agregados e na pasta de cimento ou seja, ela agrega funções ao concreto como as de: empacotamento dos vazios, melhoria das propriedades reológicas do concreto e produção das reações de hidratos, pois a presença de sílica representa uma influência maior sobre a permeabilidade do concreto que a resistência à compressão.

Para Bosiljkov (2003) as aplicações de materiais finos como as micro sílicas, alteram as propriedades mecânicas do concreto, pois podem funcionar como um ponto de quebra de inércia do compósito pois estas micro partículas ativam os grãos de cimento a reagirem primeiro com a água, ocasionando ganhos de resistências nas primeiras idades, além de permitir um concreto mais compacto, e um bom desempenho na precaução contra ataques de agentes externos.

As características dos agregados têm extrema influência nas propriedades do concreto, com isso Mehta e Monteiro (2008) ressaltam que as partículas dos agregados quando muito acidentadas, irregulares e alongadas irão necessitar de mais pasta de cimento para uma consistência adequada do concreto, também é interessante evitar partículas lamelares dos agregados miúdos, pois estas resultam em concretos ásperos

A hidratação do cimento Portland é uma reação exotérmica, ou seja, o concreto libera calor de dentro para fora. A quantidade de calor liberada depende da proporção de partículas de cimento que se hidratam para realizar esta reação química, logo, quanto mais cimento for utilizado no concreto maior será sua temperatura podendo ser desproporcionais em relação ao ambiente externo. (VANDERLEI, 2004).

Uma alternativa interessante para os concretos submersos são a utilização de cimentos cristalizantes em sua dosagem, segundo Lonzetti (2010) este material tem a função de fechar os poros do compósito por meio da cristalização causando assim uma baixa permeabilidade do mesmo.

Tabela 2 – Síntese dos principais materiais que compõem um concreto submerso.

Materiais	Características
Aditivo Superplastificante	Gera ganho da trabalhabilidade do material e redução da exsudação
Aditivo Retardador de Pega	Aumenta o tempo de pega do concreto
Aditivo Antidispersante	Aumenta a Coesão e impede que o material se dissipe quando submerso

Sílica Ativa	Reduz a permeabilidade do concreto e melhora o empacotamento das partículas
Agregados	Uso de grãos acidentados e regulares resultam em maior consumo de cimento
Cimento	Cimentos cristalizantes reduzem a porosidade do concreto

Fonte: Próprio autor (2020).

Tabela 2.1 – Dosagem usual conforme os trabalhos estudados.

Materiais	Dosagem usual
Aditivo Superplastificante	1,20%
Aditivo Retardador de Pega	0,35%
Aditivo Antidispersante	0,5% a 1,0%
Sílica Ativa	35 Kg/m ³
Areia	500 Kg/m ³
Brita 0	750 Kg/m ³
Cimento	440 Kg/m ³

Fonte: Próprio autor (2020).

3 METODOLOGIA

Como o objetivo do estudo é apresentar uma revisão bibliográfica sobre concretos submersos, foi realizada análises dos resultados obtidos por Kaluf e Neto (2016) onde foi comparada duas concretagens submersas na Usina Hidrelétrica de Porto Colômbia e Usina Hidrelétrica de Funil.

Também será realizada uma revisão bibliográfica dos experimentos de Oliveira e Vieira (2018), focando nos resultados obtidos em laboratórios utilizando concreto auto adensável subaquático e observando seus resultados.

4 PROCEDIMENTOS EXECUTIVOS

4.1 Procedimentos Experimentais

De acordo com Oliveira e Vieira (2018), dos trabalhos de aplicação do CAA em concretagens submersas antes das etapas de execução são necessários estudos de dosagem para determinações dos traços através de ensaios laboratoriais com propósito de analisar o concreto no estado fresco a fluidez, viscosidade, resistência a segregação e capacidade passante do material. Nos testes de dosagem de Oliveira e Vieira (2018) determinaram uma dosagem conforme mostra a tabela 3.

Tabela 3 – Traço Concreto auto adensável submerso para ensaio.

Traço	m=3,5	$\alpha=0,65$
40% de areia artificial e 60% de areia natural	CC=439,23 kg/m ³	Aditivo Modificador de Viscosidade = 1,2%
		Aditivo Superplastificante 3 ^o geração = 1,2%
		Aditivo Plastificante de Pega Normal = 1,2%
		Aditivo Antidispersante = 1,0%
Cimento: Sílica: Areia Natural: Areia Artificial: Brita: a/ag		
1,00: 0,079: 1,155: 0,855: 1,75: 0,5		
a/ag final = 0,66		

Fonte: Oliveira e Vieira (2018). Adaptado, autor (2020).

Temos conforme a tabela acima um exemplo de dosagem de um concreto submerso com características auto adensáveis, onde temos que “ α ” representa o teor de argamassa seca da mistura e o “m” teor de agregado total da mistura seca.

Como mostra a figura 5, para a realização dos ensaios de método do anel J, a fim de determinar a capacidade passante conforme cita a ABNT NBR 15823-3 (2017), como mostra a figura 5, este ensaio visa observar a fluidez e a capacidade passante do material

Figura 5 – Ensaio de Anel J.



Fonte: Oliveira e Vieira (2018).

Como mostra o traço da tabela 3, a utilização dos aditivos antidespersantes resulta em um concreto submerso, coeso e sem segregação, ou seja, sem a aglomeração com água em volta. Conforme pode ser observado na figura 6, podemos supor que se o volume do concreto fosse o mesmo do recipiente da figura abaixo, o concreto expulsaria toda a água presente nela, uma vez que a densidade do compósito é superior à da água.

Figura 6 – Ensaio cone de Abrams para concreto auto adensável submerso.



Fonte: Oliveira e Vieira (2018).

4.2 Procedimentos em campo

De acordo com Nascimento, J.F.F et al (2000), o lançamento de um concreto submerso deve respeitar três etapas: escorva, formação do bulbo e escoamento, respectivamente.

A escorva tem por objetivo aplicar uma coluna de concreto na parte inferior da tubulação para combater a pressão hidrostática. Para executar o bulbo de pressão, são feitos movimentos verticais na tubulação para conseguir uma melhor fluidez do compósito. O escoamento é um processo cujo objetivo é desenvolver o progresso ascendente do bulbo, n esta etapa os mergulhadores devem verificar a estanqueidade das formas. (NASCIMENTO, J.F.F. et al 2000)

Para o processo de execução do concreto submerso inicialmente é preciso fixar as formas de acordo com a superfície permitida no local como mostra a figura 7, após a fixação vem a vedação feita por mergulhadores especializados, assim quando é verificada a impermeabilização da fôrma, é autorizada a concretagem com caminhão bomba-lança e auxílios de tremonhas conforme demonstra a figura 8. (KALUF e NETO, 2016).

Figura 7 – Instalação das formas fixadas superfície rochosa.



Fonte: Nascimento, J. F. F. Et al (2018).

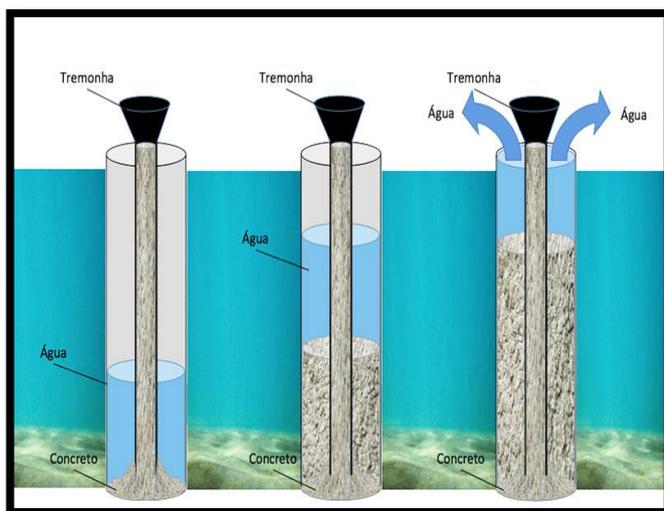
Figura 8 – Lançamento do concreto com auxílio de tremonhas.



Fonte: Nascimento, J. F. F. Et al (2018).

As tremonhas, conforme mostrado na figura 8, são um dos métodos mais usados nos processos de concretagem submersa. Podemos observar na figura 9, como elas auxiliam na execução deste concreto.

Figura 9 – Representação de concretagem utilizando Tremonha.



Fonte: Votorantim (2016).

Este tipo de tubulação como vemos na figura 9, tem um formato de pirâmide invertida, o concreto é lançado através dela até o inferior da fôrma, como este apresenta densidade maior que a água, ele vai preenchendo a fôrma e expulsando a água até transbordar e permanecer apenas o concreto.

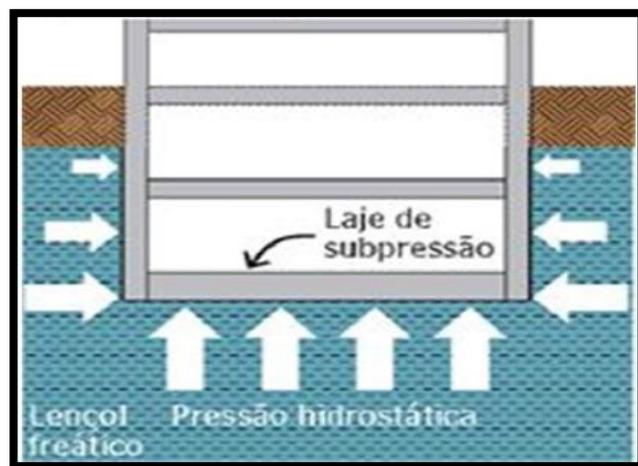
4.3 Aplicações Práticas

A influência da pressão na estrutura de concreto a grandes profundidades é um tema interessante a ser abordado pois, através de simuladores de concreto submerso conseguimos obter pressões de até 180m de profundidade, 18 kgf/cm². (TRABOULSI, 2017).

Além de reparos em barragens, este tipo de concreto é muito utilizado em recuperação de pilares de pontes como cita Mendes (2009), no qual a empresa Falcão Bauer fez estudos para reparos na ponte do rio Tietê na cidade de São Paulo - SP, onde foram utilizados concretos submersos com *slump flow* de 525mm e enfatizaram a necessidade de estudos para a caracterização dos aditivos de incorporação de ar e superplastificantes.

As lajes de subpressão são uma aplicação dos concretos submersos uma vez que são basicamente estruturas sujeitas a ambientes aquáticos, adequadas em obras onde os solos atingem o nível do lençol freático, do qual a laje inferior fica submetida à pressão hidrostática da água onde há uma força de baixo para cima conforme o esquema representativo da figura 10. (FRACON, 2018).

Figura 10 – Representação de uma laje de subpressão.



Fonte: Fracon (2018).

São decorrentes também forças de empuxo na horizontal comprimindo assim a estrutura em destaque. Este tipo de método construtivo é uma alternativa para substituir o uso de rebaixamento do lençol freático, onde este causa um grande impacto ambiental, algumas regiões como Aparecida de Goiânia-GO, por meio de seu código de obras e

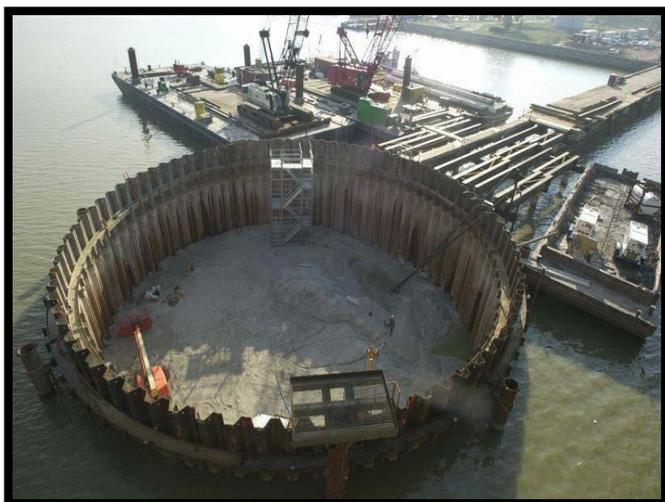
edificações Art. 147, proíbe o rebaixamento de lençol freático permanente, sendo somente permitido o provisório com a apresentação da licença ambiental. (GOIÂNIA, 2019)

Podem ocorrer inúmeras patologias no processo de impermeabilização de uma laje de subpressão, como juntas frias, fissuras causadas por retração, além de retrações térmicas e hidráulicas. (ISCHAKEWITSCH, 2015)

De acordo com Ischakewitsch (2015), o melhor cimento para lajes de subpressão é o CP III, devido ao seu baixo calor de hidratação, ocasionando assim uma menor quantidade de fissuras térmicas, ao contrário do CPV ARI, onde libera muito calor no processo de hidratação.

Em relação a obras aquáticas temos também as enscadeiras, estas são estruturas de contenções temporárias aplicadas ao redor do local específico de uma obra hidráulica, com o objetivo de isolar as estruturas internas da água, geralmente são executadas utilizando painéis metálicos paralelamente fixadas entre si conforme podemos observar na figura 11. (BASTOS, 2018).

Figura 11 – Enscadeira montada próxima ao porto.



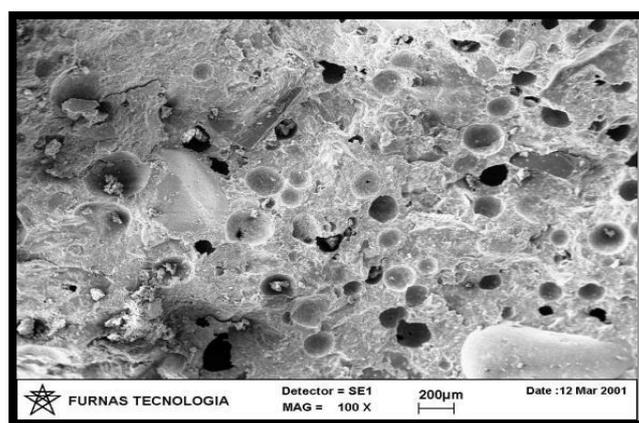
Fonte: ArcelorMittal (2020).

Embora a utilização das enscadeiras seja uma solução eficiente, é um procedimento muito lento e oneroso, portanto temos a concretagem submersa como alternativa para tal, esta requiere um alto grau de detalhamento na seleção dos materiais e profissionais em para sua execução. (TRABOULSI, 2017).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

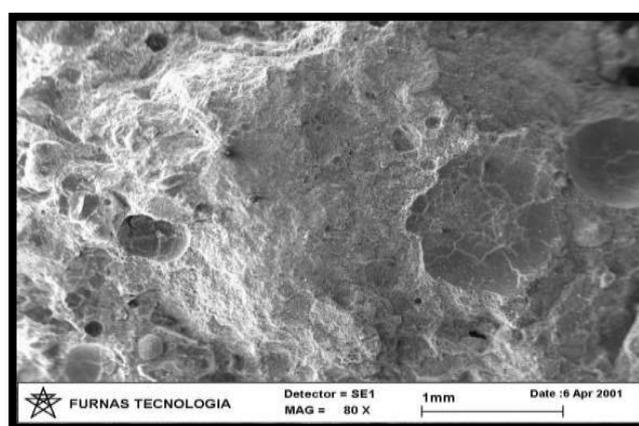
Embora ensaios de concretos submetidos a grandes pressões tende a prejudicar a eficácia e suas propriedades físicas, de acordo com Graça et al (2001), esta grande pressão pode ser benéfica ao compósito uma vez que em seus estudos, constatou uma diminuição no número de vazios do concreto submetido à pressão de 9 kgf/cm² ou 90 m.c.a em comparação a um concreto onde não foi aplicado pressão conforme demonstra as figuras 12 e 13 realizados em um microscópio eletrônico de varredura.

Figura 12 – Micrografia de um concreto convencional não submetido à pressão.



Fonte: Nascimento, J. F. F. Et al (2018).

Figura 13 – Micrografia de um concreto submerso submetido à pressão.



Fonte: Nascimento, J. F. F. Et al (2018).

Podemos observar na micrografia da figura 12, um grande número de vazios ou bolhas de ar no concreto sem esforços de pressão, já na figura 13 onde foi colocado sob pressão hidráulica, constata-se uma

diminuição significativa nos vazios. Também nos estudos de Graça et al (2001) estes concretos submetidos à pressão apresentam ganhos de resistência, permeabilidade e conseqüentemente gerando uma melhora na durabilidade do concreto.

No seu estudo de caso citado anteriormente de duas concretagens submersas realizadas por FURNAS Centrais elétricas, observaram que em sua execução foram usados materiais diferentes causando assim uma diferença de resistência medidas pelos corpos de prova. (KALUF e NETO, 2016).

Ainda de acordo com Kaluf e Neto (2016), foram simuladas duas amostragens; submersas e emersas, com os mesmos materiais em ambas, após os ensaios foi examinado os dados e notou-se que a resistência à compressão do concreto submerso a 10 metros de coluna foi superior a 60% do outro concreto emerso.

Nos estudos de Oliveira e Vieira (2018) onde foram realizados diversos ensaios e executados cinco tipos de traços, dos quais os três primeiros foram aumentando o valor do teor de argamassa a fim de conseguir uma consistência e trabalhabilidade adequada, conforme a ABNT NBR 15823-1 (2017). A partir de seus estudos, conseguiram definir o preço do m³ estimado em R\$ 327,80 no ano de 2018. A tabela 4 apresenta estes valores atualizados referentes ao mês de novembro de 2020.

Tabela 4 - Custo total do m³ do traço de CAA Submerso com valores atualizados.

Material	Custo (R\$/kg)	Traço	Qtd. (kg/m ³)	Custo final (R\$/m ³)
Cimento	R\$ 0,53	1	439,23	R\$ 232,79
Sílica	R\$ 1,70	0,079	34,70	R\$ 58,99
Areia natural	R\$ 0,06	1,155	507,31	R\$ 30,44
Brita 0	R\$ 0,08	1,75	768,65	R\$ 57,65
Aditivo Modificador de Viscosidade	R\$ 3,80	1,20%	5,27	R\$ 20,03
Aditivo Superplastificante	R\$ 7,00	1,20%	5,27	R\$ 36,89
Aditivo Redutor de água	R\$ 4,00	0,35%	1,53	R\$ 6,12
Aditivo Antidispersante	R\$ 13,60	0,50%	2,19	R\$ 29,78
Custo do m ³ dos materiais do traço 5				R\$ 479,96

6 CONCLUSÃO

Os aditivos tem um papel essencial ao compósito, pois estes garantem as propriedades necessárias para um concreto submerso eficiente à situação específica. Os concretos submersos quanto maior a profundidade na sua utilização, há uma maior tendência de aumento das resistências pois com o aumento da pressão de água, as partículas de ar incorporado ou aprisionado se dissipam, tornando assim um concreto mais resistente, acarretando um aumento da sua durabilidade e vida útil.

Embora tenhamos chegado a um valor de aproximadamente R\$480,00/m³ temos que considerar outros custos como o acompanhamento de mergulhadores nos processos de concretagem, toda a equipe de montagem e preparação, estudo de traço. Mesmo sendo mais oneroso quando comparado aos concretos convencionais, ele pode ser financeiramente mais atrativo em relação ao método de execução de ensecadeiras.

De acordo com o que foi relatado, o fato de se ter um concreto fluido e coeso debaixo d'água podendo moldar-se conforme o ambiente requerido, fazendo a dispersão do ar incorporado conforme maior a pressão submersa, acarretando em um ganho de resistência e durabilidade da estrutura e por fim considerando a agressividade do ambiente submerso fraca em relação a danos estruturais, concluímos que todas estas características evidenciam que, o concreto submerso pode-se apresentar como um método mais vantajoso em relação a outros meios construtivos de concretagens submersas.

Tabela 5 – Comparativo do concreto submerso com o concreto convencional.

Vantagens e desvantagens do concreto submerso em relação ao concreto convencional	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Preenchimento de fôrmas complexas. • Sem necessidade de vibração. • Concreto fluido e coeso. • Ganho de resistência quanto maior a profundidade. • Material menos poroso e impermeável. • Maior vida útil e durabilidade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Custo maior do m³ e mão de obra. • Controle rigoroso de dosagem. • Poucos profissionais capacitados para executá-lo.

Fonte: Próprio autor (2020).

Por fim, observando a tabela 5 acima, concluímos que o concreto submerso é mais vantajoso, apresentando mais aspectos positivos que o concreto convencional.

7 AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e a meus pais por todo apoio. Gostaria de agradecer ao meu orientador Me. Paulo Sergio de Oliveira Resende por sempre ser paciente e atencioso no acompanhamento do trabalho, a meu mentor e amigo Eng. Wagner Franco pelos conselhos diários e aprendizagem ao longo do caminho, a meu tio Márcio Arrais pela experiência cedida a mim de anos trabalhando com concretos. Por fim, agradeço a Escola de Engenharia Civil da PUC-GO por esta oportunidade.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15823-3: **Concreto Autoadensável Parte 3: Determinação da habilidade passante – Método do anel J**. Rio de Janeiro, 2017

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6118 – **Projeto de estruturas de concreto - procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 11768. **Aditivos para concreto de cimento Portland**. Rio de Janeiro, 1992.

BASTOS, E. M. D. T. **Parametrização e otimização estrutural de comportas ensecadeiras utilizando APDL**. (Dissertação de Mestrado) - Faculdade de Tecnologia Dpt. de Engenharia Mecânica. Brasília. 2018.

BOSILJKOV, V.B. *SSC mixes with poorly graded aggregate and high volume of limestone filler*. In: **Cement and concrete research**, n. 33. 2003.

COLLEPARDI, M. *A very close precursor of self-compacting concrete (SCC)*. In: **Supplementary volume of the Proceedings of Three-day CANMET/ACI International Symposium on sustainable Development and concrete Technology**, Setembro, 2001.

FRACON, F. S. T. **Estudo de Caso: Metodologia executiva de uma laje subpressão no Setor Noroeste - Brasília**. In: 15º Simpósio Brasileiro de Impermeabilização. 2018. São Paulo. UniCEUB. 2018.

GOIÂNIA, A, D. **Lei Complementar n.171. 2019** Institui o Código de Obras e Edificações do Município de Aparecida de Goiânia e dá outras Providências.

GRAÇA, N. G. et. al. **Concreto para lançamento subaquático**. Trabalho apoiado pelo Programa Anual de P&D de FURNAS Centrais Elétricas S.A. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANAEEEL. 2001.

ISCHAKEWITSCH, G. T. **Subsolos em Áreas Litorâneas: Impermeabilização - Patologia - Experiências no Rio de Janeiro**. São Paulo: Pini, 2015. Bahia, Salvador.

KALUF, P. E. D.; Neto, J. C. **Concreto Submerso Revisão Teórica e Procedimentos Executivos**. Pontifícia Universidade Católica de Goiás (TCC), Goiânia, 2016.

LONZETTI, F. B. **Impermeabilizações em Subsolos de Edificações Residenciais e Comerciais**. 2010. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2º ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 1º ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MENDES, H. S. **Análise de Ligação Entre o Substrato de Concreto Antigo e Concreto Auto Adensável com Lançamento Subaquático**. Dissertação de Mestrado. Uberlândia, Brasil. N. 063, 11 set 2009.

NASCIMENTO, J.F.F **Execução de estrutura de gravidade em concreto submerso na UHE Marechal Mascarenhas de Moraes**. Relatório técnico. Furnas Centrais Elétricas, Goiânia, dezembro, 2000.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5º ed. Porto Alegre: Bookman, 2016

NEVILLE, A.M., BROOKS, J.J. **Tecnologia do Concreto**. 2a Edição, Porto Alegre, Bookman, 2013.

OLIVEIRA, J. F. G.; Vieira, C. J. M. **Concreto autoadensável – avaliação das propriedades no estado fresco e sua aplicação em concretagens subaquáticas** Pontifícia Universidade Católica de Goiás (TCC), Goiânia, 2016.

SERAFIM, D; LICETTI, J. **Análise do desempenho de três tipos de cimento no concreto de pós-reativos**. 2012, 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

-
- STORMONT, J.C. **In situ gas permeability measurements to delineate damage in rock salt.** Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 34: 1055-1064, 1997.
- TAGLIANI, S. **BDE Explica: quais as diferenças do concreto submerso?** Engenharia 360. Disponível em: <<https://engenharia360.com/bde-explica-concreto-submerso/>>. Acesso em 9 Dez. 2020.
- TRABOULSI, M. A. **Concreto para usinas hidrelétricas, túneis, pavimentos, pontes e obras de saneamento.** Controle tecnológico para assegurar qualidade construtiva. Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON. 2017.
- TUTIKIAN, B.F. **Método de dosagem de concretos de auto-adensável.** Dissertação de mestrado, UFRGS, 2004.
- VANDERLEI, R. D. **Análise experimental do concreto de pós reativos: dosagem e propriedades mecânicas.** São Carlos: USP, 2004. 168f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas).
- VILASBOAS, J. M. L. **Durabilidade das edificações de concreto armado em Salvador: Uma contribuição para implantação da NBR 6118:2003.** 2004. 41p. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologia Ambiental no Processo Produtivo), Escola Politécnica, Universidade Federal da
- VOTORANTIM, Cimentos. **CONCRETAGEM SUBMERSA EXIGE SOLUÇÕES ADEQUADAS.** Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/negocios/concretagem-submersa-exige-solucoes-adequadas/>>. Acesso em 9 Dez. 2020.
- VOTORANTIM, Cimentos. **CONCRETO SUBMERSO É A MELHOR ESCOLHA PARA ESTRUTURAS DE FUNDAÇÕES ABAIXO D'ÁGUA.** Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/negocios/utilize-concreto-submerso/>>. Acesso em 9 Dez. 2020.

9 ANEXOS E APÊNDICES

ANEXO A - ANTI-WASHOUT ADMIXTURE - Sikament®-100 SC

FICHA DE DADOS DO PRODUTO

Sikament®-100 SC

ANTI-WASHOUT ADMIXTURE

DESCRIÇÃO

Sikament®-100 SC é um bpolímero anti-lavagem exclusivo aditivo para a colocação subaquática de concreto e argamassa. Sikament®-100 SC atende aos requisitos de CRD-C661-06.

Como funciona : Sikament®-100 SC aumenta a coesão da mistura e confere uma característica de viscosidade variável para concreto e argamassa. Sikament®-100 SC produz concreto que se torna fluido e fluido quando cisalhado ou agitado mecanicamente. Um exemplo seria ser durante as operações de bombeamento. Esta característica permite que o concreto flua facilmente através e para dentro do espaços multados. A mistura irá reverter para um denso, alto viscoso, consistência quando em repouso. Este cimento coeso pasta de matriz promove alta compressão e flexão desenvolvimento de força.

USOS

Sikament®-100 SC é recomendado para uso subaquático colocação de concreto e argamassa em produtos frescos e salgados ambientes aquáticos. Sikament®-100 SC melhora a derwater "empilhamento" características quando o concreto é colocado por operações tremie. A capacidade de concreto misturas para penetrar e consolidar rocha de fundação camadas é dramaticamente melhorado, por exemplo, como re-exigido em operações de vedação de cais. Sikament®-100 SC também pode ser usado como redutor de água e anti-aditivo de lavagem para colocação em pasta de bentonita materiais ou materiais semelhantes.

CARACTERÍSTICAS / VANTAGENS

Sikament®-100 SC reduz ou elimina a necessidade de desidratar locais de construção subaquáticos antes de construção de creta pode ocorrer. Concreto pode ser colocado por bomba ou tremie diretamente nas áreas cobertas Por água. Sikament®-100 SC mantém o concreto integridade da matriz durante colocações de alta queda e re-produz o esmaecimento da superfície durante a cura.

- Reduza ou elimine os custos de desidratação associados com construção subaquática.
- O concreto é fácil de bombear e flui prontamente para a disponibilidade espaços aptos.
- A segregação e a diluição são reduzidas, comp. as forças de pressão e adesão são significativamente vincado.
- Laitância na superfície do concreto causada por pasta de cimento o desgaste durante a cura é reduzido ou eliminado.
- A vida útil de abatimento do concreto é dobrada sem atrasos prolongados no tempo de configuração.

Validade	Prazo de validade quando armazenado em condições de armazém seco entre 10 ° C e 27 ° C é um ano.
Condições de armazenamento	Sikament®-100 SC deve ser armazenado acima de 5 ° C. Se congelado, descongele e agite comido completamente para voltar ao estado normal antes de usar.
Gravidade Especifica	~ 1,22

INFORMAÇÕES DE APLICAÇÃO

Dosagem recomendada	Sikament®-100 SC é formulado para uso a uma taxa de aproximadamente 2,5 l / m ³ . Esta proporção é baseada em 300 kg nominais de cimento na mistura com uma proporção de 0,40 água cimento. A quantidade de Sikament®-100 SC deve ser proporcional aumentada quando o conteúdo de água é aumentado. Sikament®-100 SC se usado em dosagens mais altas pode atrasar o conjunto inicial de concreto. Adições adicionais podem ser necessárias misturas de redução de água para obter o trabalho desejado capacidade do concreto. Consulte o seu representante local da Sika para mais informações e assistência.
Dispensando	Sikament®-100 SC deve ser adicionado ao concreto fresco após todos os outros ingredientes da mistura foram misturados. Adição do Sikament®-100 SC diretamente no concreto muito cedo na mistura pode promover aglutinação dos materiais da mistura. Para obter melhores resultados, o concreto deve ser preparado em uma betoneira que pode cisalhar completamente os materiais e misturar todos os componentes. Turbomisturadores de bitola e plantas de mistura central geralmente têm melhor desempenho do que lote seco misturadores de trânsito. Mistura insuficiente ou uso de quantidade menor do que o recomendado quantidades de Sikament®-100 SC podem resultar em uma mistura de concreto que é mais provável de sangrar ou separar.

BASE DE DADOS DO PRODUTO

Todos os dados técnicos indicados nesta Folha de Dados do Produto são com base em testes de laboratório. Os dados reais medidos podem variar devido a circunstâncias além do nosso controle.

RESTRICÇÕES LOCAIS

Observe que, como resultado da regulamentação local específicas, o desempenho deste produto pode variar de país para país. Consulte o produto local Folha de dados para a descrição exata do aplicativo Campos.

ECOLOGIA, SAÚDE E SEGURANÇA

Para obter informações e conselhos sobre o manuseio seguro, armazenamento e descarte de produtos químicos, os usuários devem se referir para a Folha de Dados de Segurança (SDS) mais recente contendo física, ecológica, toxicológica e outras medidas de segurança dados datados.

NOTAS LEGAIS

As informações e, em particular, as recomendações relacionadas à aplicação e uso final da Sika produtos, são fornecidos de boa fé com base no melhor conhecimento e experiência dos produtos quando armazenado, manuseado e aplicado adequadamente condições de acordo com as recomendações da Sika condições. Na prática, as diferenças de materiais, substratos e condições reais do local são tais que nenhuma garantia em relação à comercialização ou adequação a um propósito específico, nem qualquer responsabilidade decorrente de qualquer relação jurídica qualquer, pode ser inferida a partir desta informação, ou de qualquer recomendação escrita recomendações ou de qualquer outro conselho oferecido. o usuário do produto deve testar a adequação do produto para a aplicação e propósito pretendidos. Sika reserva o direito de alterar as propriedades de seus produtos. Os direitos de propriedade de terceiros devem ser observada. Todos os pedidos são aceitos sujeitos ao nosso termos atuais de venda e entrega. Os usuários devem sempre consulte a edição mais recente dos Dados do Produto local