



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LIDIANNE PEREIRA GOMES LUCAS BARRETO

**O ESTUDO DA ÁGUA REAL E VIRTUAL NO CONCRETO  
USINADO**

BELÉM – PARÁ  
2015

LIDIANNE PEREIRA GOMES LUCAS BARRETO

**O ESTUDO DA ÁGUA REAL E VIRTUAL NO CONCRETO  
USINADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.  
Área de concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Orientador: Prof. Dr. André Augusto Azevedo Montenegro Duarte

Coorientador: Prof. Claudio José Cavalcante Blanco, Ph.D.

BELÉM – PARÁ  
2015



**ESTUDO DA ÁGUA REAL E VIRTUAL NO CONCRETO USINADO**

**AUTORA: LIDIANNE PEREIRA GOMES LUCAS BARRETO**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL.

**APROVADA EM: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_**

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. André Augusto Azevedo Montenegro Duarte  
Orientador – UFPA

---

Prof. Claudio José Cavalcante Blanco, Ph.D.  
Membro Interno - UFPA

---

Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes  
Membro Interno - UFPA

---

Prof. Dra. Angela Teresa Costa Sales  
Membro Externo - UFSE

**Visto:**

---

Prof. Dr. Dênio Raman Carvalho de Oliveira  
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

A Deus.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu bom e generoso Deus, a ele toda honra e toda glória.

Ao meu esposo, Wagner Lucas, por seu amor dispensado a mim todos os dias.

Ao orientador, Prof<sup>o</sup> André Montenegro, pela idealização do tema abordado nesta pesquisa.

Ao coordenador do PPGEC, Prof<sup>o</sup> Claudio José Cavalcante Blanco, Ph.D., por sua coorientação.

Ao Corpo de Bombeiros Militar do Pará, por ter permitido o acesso às informações necessárias para o desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Federal do Pará.

Louvado, meu Senhor, por nossa irmã  
água, que é muito útil, humilde, preciosa  
e casta.

São Francisco de Assis

## RESUMO

GOMES, L. P. L. B. **O estudo da água real e virtual no concreto usinado.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Pará.

A água é uma substância essencial para que se tenha vida e além de ser um direito fundamental do ser humano a água também é utilizada na produção de alimentos, serviços e bens de consumo. A água está presente na construção civil na forma real e virtual. A água real é aquela utilizada na extração de matérias primas, na fabricação dos materiais de construção e durante a vida útil das edificações e a água virtual é aquela incorporada ao produto. A indústria da construção civil é um dos segmentos econômicos que mais cresce no mundo e, conseqüentemente, tornou-se um grande consumidor de recursos naturais. No Brasil, o número de investimentos financeiros destinados à habitação tem elevado o número de construções no país, e tem feito com que as construtoras busquem tecnologias que permitam reduzir o tempo de execução das obras. Uma dessas tecnologias é o uso do concreto usinado, produto fabricado em centrais dosadoras, do qual tem como principais vantagens, a racionalização da mão de obra e a redução do tempo de execução do concreto. Mediante o crescimento na utilização do concreto usinado e a preocupação com a escassez da água, este trabalho propôs verificar a presença, a importância e o valor econômico da água real e virtual, como insumo no concreto usinado fabricado na Região Metropolitana de Belém-PA, pois, embora esteja presente durante todo o processo de produção do concreto para a água não é atribuído qualquer valor econômico. Ao inserir a água real e virtual na composição de preços unitários os percentuais de acréscimos no valor do metro cúbico do concreto usinado corresponderia a menos de 1% para a água real e 36% para a água virtual. Estes acréscimos apesar de existirem, não são adicionados ao preço final de fabricação do concreto. Sendo assim, é preciso considerar a importância deste recurso natural no segmento da construção civil, como forma de assegurar a manutenção e a qualidade de vida desta e das próximas gerações.

**Palavras Chaves:** Água Real. Água Virtual. Construção Civil. Concreto Usinado.

## ABSTRACT

GOMES, L. P. L. B. **The study of real and virtual water in mix concrete.** Dissertation in Master's Degree in Civil Engineering. Graduate in Program in Civil Engineering at Federal University of Para.

Water is an essential substance in order to have life and as well as being a fundamental human right to water is also used in food production, services and consumer goods. Water is present in construction in real and virtual form. The water that is use in the extraction of raw materials, manufacturing of building materials and during the lifetime of the buildings and the virtual water is incorporate into the product. The construction industry is one of the fastest growing economic sectors in the world and therefore has become a major consumer of natural resources. In Brazil, the number of investments for housing has raised the number of buildings in the country and has caused builders seek technologies to reduce the time of execution of works. One such technology is the use of ready-mix concrete; a product manufactured in metering stations, which has as main advantages, the rationalization of the workforce and reduced the concrete runtime. By the growth in the use of ready-mix concrete and concern about water scarcity, this work proposed verify the presence, importance and economic value of the real and virtual water as raw material in ready-mix concrete produced in the metropolitan region of Belém-PA, therefore, although present throughout the concrete production process for the water is not assigned any economic value. When entering the real and virtual water in the unit prices of composition percentages of increases in the value of cubic meters of ready-mix concrete would be less than 1% for real water and 36% for virtual water. These increases although there are not added to the final price of manufacture of concrete. Therefore, one must consider the importance of this natural resource in the construction segment, in order to ensure the maintenance and quality of life for this and future generations.

**Keywords:** Buildings. Mix Concrete. Real Water. Virtual Water.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Conceito do ciclo de vida segundo Silva (2011)	22
Figura 2 - Custo total de um edifício comercial durante 50 anos	23
Figura 3 - Mudanças que podem ocorrer durante as etapas de construção de um edifício	23
Figura 4 - Ilustração do Ciclo de Vida da edificação e do produto	24
Figura 5 - Mapa de localização da Região Metropolitana de Belém	25
Figura 6 - Número de edificações construídas na RMB	26
Figura 7 - Áreas das edificações multifamiliares construídas na RMB	27
Figura 8 - Volume de concreto das edificações multifamiliares construídas na RMB	27
Figura 9 - Etapas da produção do concreto usinado	28
Figura 10 - Ilustração de um caminhão betoneira	29
Figura 11 - Ilustração do deslocamento do caminhão betoneira da usina até a obra	30
Figura 12 - Presença da água real e virtual na etapas de fabricação do concreto usinado	32
Figura 13 - Extração da areia em leitos de cursos d'água	33
Figura 14 - Cadeia produtiva do agregado graúdo	34
Figura 15 - Fabricação do cimento via processo via úmida	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Países exportadores de água virtual	15
Tabela 2 - Países importadores de água virtual	16
Tabela 3 - Quantidade de água utilizada nos serviços de uma obra	19
Tabela 4 - Principais tipos de concreto e suas aplicações	21
Tabela 5 - Quantidade de insumos utilizados na fabricação de um metro cubico de concreto	37
Tabela 6 - Preço de custo do concreto usinado desconsiderando a água como insumo	38
Tabela 7 - Quantidade de água real e virtual presente em um metro cubico de concreto	39
Tabela 8 - Variação no preço do metro cubico do concreto usinado	40
Tabela 9 - Custo do concreto de 30 MPA produzido na RMB no período de 2008 a 2013	41

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 Geral	12
1.1.2 Específicos	12
1.2 JUSTIFICATIVA	13
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>14</b>
2.1 A ÁGUA NA CONSTRUÇÃO CIVIL	18
2.1.1 O Concreto	19
2.1.2 O Ciclo de Vida	22
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>25</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO	25
3.2 ETAPAS DE PRODUÇÃO DO CONCRETO USINADO	28
3.3 A ÁGUA REAL E VIRTUAL	32
3.3.1 Agregado Miúdo	33
3.3.2 Agregado Graúdo	34
3.3.3 Cimento	35
<b>4 RESULTADO E DISCUSSÕES</b>	<b>37</b>
<b>5 CONCLUSÃO</b>	<b>42</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>43</b>
<b>APÊNDICE A - Número de edificações multifamiliares construídas na RMB</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é uma substância fundamental para ocorrência e manutenção da vida. O direito à água é um dos direitos fundamentais do ser humano e, conforme o Art. 6º da Declaração Universal dos Direitos da Água (1992), “A água não é uma doação gratuita da natureza; ela tem um valor econômico: precisa-se saber que ela é, algumas vezes, rara e dispendiosa e que pode muito bem escassear em qualquer região do mundo”.

Além do uso para abastecimento humano, dessedentação de animais, irrigação, indústria etc., a água está presente na produção de qualquer produto acabado (alimentício ou bem de consumo) destinado ao consumidor, para a melhoria da qualidade de vida. A água pode estar incorporada ao produto ou pode simplesmente ter sido utilizada em seu processo produtivo (MARZULLO et al., 2010).

Estudos envolvendo a água virtual, tem recebido considerável atenção tanto da comunidade acadêmica quanto da imprensa. As discussões sobre a água virtual têm sido eficazes no sentido de orientar os cidadãos para as questões da escassez de água no mundo (WICHELNS, 2010).

A água virtual expressa uma contabilidade básica de determinar a quantidade de água exigida no processo de fabricação de um produto, desde a sua origem até o consumo (CHAPAGAIN et al., 2005). O termo água virtual ainda é mais utilizado no setor da agricultura, mas a água na construção civil também é encontrada na forma de água virtual.

Segundo Hoekstra et al., (2011), a água virtual é uma medida dos recursos hídricos consumidos por um bem, produto ou serviço, na qual está embutida fisicamente e virtualmente. E a água real é aquela utilizada na fabricação dos materiais de construção, no concreto, nas argamassas e durante a vida útil das edificações (SILVA, 2011).

A indústria da construção civil é um setor que exerce grande influência no meio ambiente, na sociedade e na economia de um país. Segundo o Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos (DIEESE, 2011), desde o ano de 2010, o número de investimentos financeiros aplicados na execução de grandes obras no Brasil aumentou consideravelmente, principalmente, aqueles relacionados ao setor da habitação.

No Estado do Pará esse crescimento contribuiu para o aumento na produção do concreto usinado. Este tipo de concreto diminui a mão de obra nos canteiros, otimiza os espaços quanto ao armazenamento de materiais (seixo, areia e cimento) e reduz o tempo de execução e o custo total da obra, além de oferecer um concreto com mais qualidade.

Para a fabricação do concreto usinado, além do cimento, do agregado miúdo e do agregado graúdo, a água é imprescindível e, diferentemente dos outros materiais, para a água não é atribuída um preço unitário. Um fator que contribui para essa exclusão é que a água utilizada nas centrais provém geralmente de poços artesianos, na qual normalmente não é tarifada, salvo em casos de outorga.

Ao inserir o consumo de água real e virtual como insumo nas planilhas de composição de custos unitários do concreto usinado, o preço final de um metro cúbico sofrerá acréscimos. Esses números poderão servir de instrumentos para que governantes criem políticas públicas direcionadas para a preservação dos corpos hídricos; e a sociedade, crie o hábito de usar a água de maneira sustentável.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Geral

Identificar a presença, a importância e o valor econômico da água real e virtual na fabricação do concreto usinado produzido na Região Metropolitana de Belém-PA.

### 1.1.2 Específicos

- a) apresentar as etapas de fabricação do concreto usinado e identificar a presença da água real e virtual nestas etapas;
- b) inserir nas planilhas de composição de insumos, os preços unitários da água real e virtual na fabricação de um metro cúbico de concreto usinado;
- c) analisar a variação no preço final do concreto usinado, considerando o valor econômico da água real e virtual como insumo.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A indústria da Construção Civil é uma das áreas que mais consome recursos naturais, em especial, a água. Este recurso está presente, (seja na condição de água virtual ou água real) nos materiais de construção e na manutenção dos edifícios durante toda a vida útil da edificação.

O termo água virtual tem conquistado grandes interesses da comunidade acadêmica e da sociedade civil. Apesar de ser mais utilizada no setor agrícola, a água virtual encontra-se em outros setores da economia, como o da construção civil, no qual exige uma grande demanda de água para o desenvolvimento de suas atividades.

Em virtude do crescimento da indústria da construção civil, em função dos grandes investimentos que o Brasil direcionou para a habitação, as construtoras tiveram que se preocupar ainda mais com os prazos estipulados nos cronogramas físicos e financeiros das obras (atrasos na entrega das obras resultam em grandes prejuízos financeiros); e com a qualidade de todos os processos envolvidos durante a construção, principalmente quanto as etapas de concretagem nos canteiros de obras, das quais exigem conformidade, quanto a preparação, controle na dosagem e lançamento do concreto.

Considerando as exigências do mercado quanto a qualidade do concreto, praticidade e rapidez na entrega, atualmente grande parte do concreto utilizado nas obras de médio e grande porte, provém das centrais dosadoras de concreto, nas quais utilizam em média 180 litros de água, para a fabricação de um metro cubico de concreto usinado.

Aliado a crescente utilização do concreto usinado e ao grande consumo de água utilizado nas centrais, este trabalho propôs inserir a água real e virtual como insumos nas planilhas de composição de custos deste tipo de concreto e a partir de então, analisar o percentual de acréscimo que a inserção dos preços unitários da água real e virtual causariam no preço final de um metro cubico de concreto usinado produzido.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os recursos de água doce no mundo estão sofrendo pressões devido o desenvolvimento econômico, o crescimento populacional, a industrialização e as mudanças climáticas. Toda a economia industrial utiliza em seu processo de produção a água, mas algumas indústrias estão começando a sentir os efeitos de uma oferta limitada desse recurso natural (MCCORMACK et al., 2007; DALIN et al., 2012).

Dos setores que mais consome água no Brasil, o da agricultura por irrigação é responsável por consumir 69% dessa água, seguido da dessedentação de animais (12%) e abastecimento público (10%). O setor industrial consome 7% e seus principais usuários são: a produção de alimentos, a indústria têxtil, a mineração, a siderurgia, as fábricas de papel e a indústria de petróleo (COSTA, 2012).

Para as populações mais pobres do mundo, a utilização de água não potável acarreta sérios problemas para a saúde. Estima-se que o consumo de água em 2020 aumente 40%, sendo que destes, 17% dessa água serão necessários para a produção alimentar (BARROSO, 2010).

Do ponto de vista da economia neoclássica, os recursos naturais eram considerados como bem comum, sem preço estipulado no mercado e, conseqüentemente, sem valor econômico (BARROS e AMIN, 2008). Mas em face do capitalismo, a água vem sendo considerada como mercadoria cujos valores de uso são dados por cada um possíveis usos de serem feitos a partir da sua apropriação (FRACALANZA, 2005).

A água, neste contexto, deve ser negociada como uma mercadoria que se vende e se compra em função do preço de mercado. A partir do momento em que existe uma intervenção humana e um custo para transformar a água “in natura” em água potável, ou para irrigação, ela deixa de ser um bem comum para se tornar um bem econômico, objeto de trocas e de apropriação privada (NEUTZLING, 2004 apud BARROS e AMIN, 2008).

Para proteger os recursos hídricos do planeta, a sociedade está tendo que obter uma nova forma de entendimento sobre a importância da água a partir do surgimento de um novo conceito chamado, ‘virtual water’ (água virtual).

Esse conceito foi uma expressão cunhada por A. J. Allan, professor da School of Oriental & African Studies da University of London, na década de 1990, que mostrou como milhões de litros de água são utilizados na produção de alimentos e depois comercializados na forma de produtos (LUNARDI e FIGUEIRÓ, 2012).

A água virtual é composta de água direta, da qual é consumida na produção principal do produto específico e pode ser facilmente avaliada porque é a única fonte de consumo; e da água indireta, da qual é utilizada para criar os materiais e recursos que serão utilizados no produto principal. É mais difícil de definir, em virtude das diversas fontes de consumo envolvidas (MCCORMACK et al., 2007).

Em sua essência, a água virtual diz respeito ao comércio da água que está embutida em certos produtos e/ou envolvida no processo produtivo de qualquer bem industrial ou agrícola (CARMO et al., 2007). É virtual porque é calculada após o bem ser produzido. E os países devem levar em consideração o volume de água virtual comercializado através das exportações e importações (TAUTZ, 2011 apud LUNARDI e FIGUEIRÓ, 2012).

O comércio internacional de água virtual tem sido uma maneira de economizar água mundialmente (DALIN et al., 2012). Muitos dos bens consumidos pelos habitantes de um país são produzidos em outros países, o que significa que o real consumo de água de uma população é muito maior do que o sugerido pelos consumos registrados nacionalmente (CHAPAGAIN e HOEKSTRA, 2004). A Tabela 1 apresenta os dez maiores exportadores de água virtual no mundo, no período de 1997 a 2001.

Tabela 1 - Países exportadores de água virtual

<b>PAÍSES EXPORTADORES DE ÁGUA VIRTUAL</b>				
<b>Ordem</b>	<b>Países</b>	<b>Volume de água virtual (10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>/ano)</b>		
		<b>Exporta</b>	<b>Importa</b>	<b>Exportação Líquida</b>
<b>1</b>	Austrália	73	9	<b>64</b>
<b>2</b>	Canadá	95	35	<b>60</b>
<b>3</b>	Estados Unidos	229	176	<b>53</b>
<b>4</b>	Argentina	51	6	<b>45</b>
<b>5</b>	Brasil	68	23	<b>45</b>
<b>6</b>	Costa do Marfim	35	2	<b>33</b>
<b>7</b>	Tailândia	43	15	<b>28</b>
<b>8</b>	Índia	43	17	<b>26</b>
<b>9</b>	Gana	20	2	<b>18</b>
<b>10</b>	Ucrânia	21	4	<b>17</b>

Fonte: Chapagain e Hoekstra (2004).

A Tabela 1 mostra que os países de uma mesma região podem ter um equilíbrio de água virtual bastante diferentes, como é o caso dos Estados Unidos e Canadá que são dois grandes países exportadores de água virtual; e da Alemanha e do Reino Unido que são dois grandes países importadores de água virtual (Tabela 2).

Tabela 2 - Países importadores de água virtual

<b>PAÍSES IMPORTADORES DE ÁGUA VIRTUAL</b>				
<b>Ordem</b>	<b>Países</b>	<b>Volume de água virtual (10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>/ano)</b>		
		<b>Importa</b>	<b>Exporta</b>	<b>Importação Líquida</b>
<b>1</b>	Japão	98	7	<b>91</b>
<b>2</b>	Itália	89	38	<b>51</b>
<b>3</b>	Reino Unido	64	18	<b>46</b>
<b>4</b>	Alemanha	106	70	<b>36</b>
<b>5</b>	Coreia do Sul	39	7	<b>32</b>
<b>6</b>	México	50	21	<b>29</b>
<b>7</b>	Hong Kong	28	1	<b>27</b>
<b>8</b>	Irã	19	5	<b>14</b>
<b>9</b>	Espanha	45	31	<b>14</b>
<b>10</b>	Arábia Saudita	14	1	<b>13</b>

Fonte: Chapagain e Hoekstra (2004).

O consumo de água virtual de um produto pode ser calculada considerando a abordagem da soma da cadeia, da qual é aplicável apenas no caso de um sistema de produção de um único produto, uma vez que os processos de geração das matérias primas e insumos são considerados como etapas (ARAÚJO, 2011).

Segundo Hoekstra et al., (2011) a água virtual do produto é igual à soma da água virtual dos processos que constituem o produto resultante, dividido pela quantidade de produção do produto (Equação 1).

$$AV_{prod} = \frac{\sum_{s=1}^K AV_{proc[s]}}{P_p} \quad (1)$$

Onde:

$AV_{prod}$  – corresponde a água virtual do produto

$AV_{proc[s]}$  – corresponde água virtual de processos

$P [p]$  – corresponde a produção do produto

Para o cálculo do teor de água virtual de um produto industrial, existem inúmeras categorias de produtos e com uma variada gama de métodos de produção (CHAPAGAIN e HOESKTRA, 2004). Os valores são obtidos em metros cúbicos de água por tonelada de produto. No entanto, o consumidor está mais interessado em conhecer a quantidade de água que consome por unidade de consumo (COSTA, 2012).

A concepção de água virtual apoia-se em um argumento simples, mas a aferição empírica e os cálculos envolvidos nas estimativas do volume de comercialização da água virtual são complexos. Para estimar estes valores, deve-se considerar a água envolvida em toda a cadeia de produção, assim como, as características ambientais, tecnológicas e específicas de cada região produtora (CARMO et al., 2007).

Os pesquisadores Crawford e Treloar (2005) aplicaram em um edifício comercial de 11.600 m<sup>2</sup>, localizado na Austrália, três métodos de análise de água virtual:

- a) Input - Output, obtido através da multiplicação da respectiva intensidade pelo custo de qualquer produto particular, dividido por 1.000;
- b) Input - Output baseado na Análise Híbrida, no qual utiliza os métodos de Análises de Processo e Input - Output, para reduzir os erros em cada método e extrapolar os aspectos positivos;
- c) Análises de Processo, do qual considera a quantificação das entradas para o produto ou sistema.

Os métodos apresentaram valores distintos quanto à quantidade de água virtual na edificação, esta diferença pode estar atribuída ao truncamento tipicamente associado com a análise do processo escolhido. Embora tenha considerado apenas um edifício, pode ser possível extrapolar esses resultados para outras edificações e produtos, como móveis, eletrodomésticos, sistemas de energia e outras tecnologias.

O estudo concluiu que a maior percentagem de água virtual está presente nos insumos indiretos e a segunda maior, no aço. E que a água diretamente relacionada com a construção do edifício corresponde a menos de 1% do total de água utilizada na construção. Portanto, a quantificação da água indireta é de grande importância.

McCormack et al., (2007) verificaram em 17 edifícios comerciais, também localizados na Austrália, que há uma quantidade considerável de água virtual na construção deste tipo de empreendimento. Suas principais conclusões foram:

- a) o consumo de água direta no processo de construção foi pequeno, mas não desprezível;
- b) a água incorporada nas estruturas representa 37% do total de água utilizada na construção, seguida das subestruturas e dos acabamentos. Na parte estrutural a quantidade de água foi maior em virtude de terem sido utilizadas maiores quantidades de materiais;
- c) quanto aos materiais de construção, o aço e o concreto tiveram quantidades mais significativas de água virtual. O aço tem uma intensidade relativamente elevada de água, mas os volumes de concreto garantem um consumo maior de água;
- d) individualmente os materiais de construção, como o aço e o concreto exercem grandes impactos sobre a água virtual de um edifício.

A escassez de água merece estar no topo da agenda dos líderes mundiais, pode-se dizer que, no mesmo nível de urgência das mudanças climáticas. Ao se falar de água virtual, uma das principais dificuldades, é a falta de aceitação por parte da sociedade de que, a água cumpre muitas funções importantes, não só no sistema ecológico, mas também na sociedade (LUNARDI e FIGUEIRÓ, 2012).

Segundo Hoekstra e Chapagain (2008) as discussões técnicas caminham para que o conceito de água virtual seja considerado como um instrumento estratégico em políticas públicas e privadas pelo uso da água. Em contrapartida Wichelns (2010) acredita que água virtual não pode ser utilizada como critério para seleção de políticas públicas, pois não apresentam consistência científica.

## 2.1 A ÁGUA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A água está presente em quase todos os materiais utilizados na construção civil, seja na condição de água virtual, seja como integrante do processo de produção de produtos e serviços no canteiro de obras (água real).

De acordo com a Tabela de Composição de Preços e Orçamento (TCPO, 2008), a planilha orçamentária de uma obra é composta de composições e insumos. As composições, são serviços da obra que necessitam de insumos para se efetivarem; e os insumos, são itens como materiais de construção, mão-de-obra e equipamentos que fazem parte da composição do serviço e possuem uma unidade de medida e um coeficiente de consumo adequado para cada serviço.

Diferente de outros materiais ou insumos, como o aço, o concreto, o cimento e etc., que são considerados no orçamento da obra, a água não é contabilizada na composição de preços unitários, que contém os insumos dos serviços com seus respectivos índices e valores (SILVA, 2011).

Segundo Pessarello (2008) para a confecção de um metro cúbico de concreto, gasta-se em média de 160 a 200 litros de água e, na compactação de um metro cúbico de aterro, podem ser consumidos até 300 litros de água. A Tabela 3 apresenta outros serviços construtivos e a quantidade de água utilizada em cada um destes serviços.

Tabela 3 - Quantidade de água utilizada nos serviços de uma obra

<b>Aplicação</b>	<b>Água</b>
0,14 m <sup>3</sup> de concreto estrutural	22,0 litros
0,25 m <sup>3</sup> de fundações e contra piso	36,0 litros
0,15 m <sup>3</sup> de concreto para pisos	27,0 litros
0,14 m <sup>3</sup> de concreto para vergas	22,5 litros
0,003 m <sup>3</sup> de chapisco	0,67 litros
0,03 m <sup>3</sup> de emboço	6,68 litros
0,03 m <sup>3</sup> de reboco liso	6,68 litros
0,01 m <sup>3</sup> de argamassa de alvenaria	2,23 litros

Fonte: Modificado de SILVA (2011).

### 2.1.1 O Concreto

O concreto é um produto resultante do endurecimento do cimento Portland, agregado miúdo, agregado graúdo e água, todos em proporções adequadas. É um dos elementos mais importantes da construção civil e pode ser fabricado no próprio canteiro de obras ou dosado nas centrais (concreto usinado).

O concreto de cimento Portland utiliza, em média, por metro cúbico, 42% de agregado graúdo, 40% de areia, 10% de cimento, 7% de água e 1% de aditivos químicos (QUARESMA, 2009). Na fabricação do concreto, a água exerce influência na qualidade, na aderência, na resistência e na trabalhabilidade da argamassa (PESSARELLO, 2008).

De acordo com a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil (ASBEC, 2007), para que se tenha um concreto com qualidade é necessário uma série de cuidados, desde a escolha de seus materiais, determinação de um traço que garanta a resistência e a durabilidade desejada, correta homogeneização, aplicação e adensamento da mistura até, a “cura” adequada – que garantirá a perfeita hidratação do cimento

A qualidade do concreto produzido tanto na obra, quanto na usina, depende diretamente da quantidade de água utilizada na dosagem, uma vez que a água está diretamente relacionada ao fator água/cimento (influenciando o incremento da resistência à compressão). Ou seja, quanto maior o fator água/cimento, menor será a resistência dos concretos (PESSARELO, 2008).

A dosagem do concreto de cimento Portland compreende os procedimentos necessários para a obtenção da melhor proporção entre o cimento, agregados graúdos e miúdos, água e aditivos, conhecidos como traço (TUTIKIAN e HELENE, 2011).

O traço é a maneira de exprimir a proporção dos componentes de uma mistura. Genericamente, um traço “1:m:x” significa que para uma parte de aglomerante (cimento) deve-se ter “m” partes de agregados (miúdo ou graúdo) e “x” partes de água. O traço pode ser medido em peso ou em volume. Usualmente, adota-se uma indicação mista, no qual o cimento é medido em peso e os agregados em volume (PIMENTA, 2012).

Segundo BOGGIO (2000) os métodos de dosagem de concreto mais utilizados no Brasil são os da ACI/ABCP, desenvolvido na Associação Brasileira de Cimento Portland pelo engenheiro Públio Rodriguez; INT-RJ, desenvolvido no Instituto Nacional de Tecnologia do Rio de Janeiro pelo professor Fernando Lobo Carneiro; e o do IPT/EPUSP, desenvolvido no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

No segmento das edificações predomina a construção habitacional, seguida por outras edificações não-comerciais, industriais e estabelecimentos comerciais. Esse segmento é caracterizado pelo grande consumo de material de construção e pela grande intensidade de mão-de-obra. (ABIKO, 2005).

De acordo com a ASBEC (2007), a busca constante da qualidade, a necessidade da redução de custos e a racionalização dos canteiros de obras, fazem com que o concreto dosado em central, seja cada vez mais utilizado. As principais vantagens do uso do concreto usinado são:

- a) eliminação das perdas de agregados e cimento;
- b) maior agilidade e produtividade da equipe de trabalho;
- c) garantia da qualidade do concreto graças ao rígido controle adotado pelas centrais dosadoras;
- d) redução do custo total da obra.

O concreto dosado em central é normalizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR:7212) através do Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados (CB-18), e é vendido por metro cúbico.

Atualmente, no Brasil, são produzidos cerca de 20 milhões de m<sup>3</sup> de concreto usinado por ano (TUTIKIAN e HELENE, 2011). A Tabela 4 apresenta os principais tipos de concreto dosados em centrais e suas aplicações nas obras de construção civil.

Tabela 4 - Principais tipos de concreto e suas aplicações

<b>Tipos</b>	<b>Aplicação</b>
Convencional	Uso corrente nas obras de pequeno e médio porte.
Bombeável	Uso corrente em qualquer obra. Obras de difícil acesso. Obras com necessidades de vencer alturas elevadas ou longas distâncias.
Projetado	Reparo ou reforço estrutural. Revestimento de túneis, monumentos, contenção de taludes, canais e galerias.
Alta Resistência Inicial	Estruturas convencionais, protendidas e pré-fabricadas.
Alto Desempenho	Obras que necessitam de um concreto com elevada resistência mecânica, física e química. Em peças pré-fabricadas e protendidas.
Rolado	Barragens. Pavimentação rodoviária (base e sub-base) e urbanas (pisos, contra pisos).
Leve Estrutural	Peças estruturais. Enchimento de pisos e lajes. Painéis pré-fabricados.

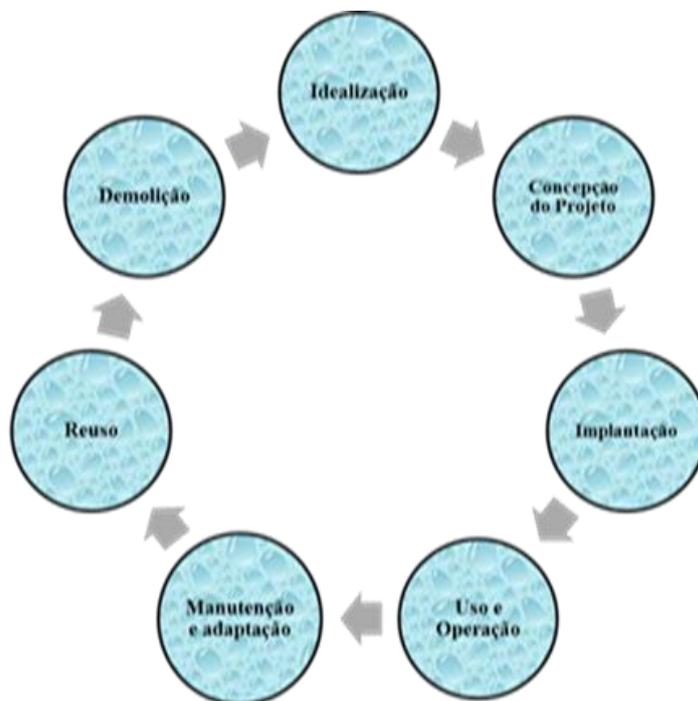
Fonte: ASBEC (2007).

### 2.1.2 O Ciclo de Vida

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma avaliação das entradas, saídas, intervenções e impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de um produto – desde a aquisição da matéria-prima até a produção, uso e disposição final (UNEP, 2007). A ACV tem sido utilizado no setor da construção desde 1990 e é uma importante ferramenta para a avaliação dos edifícios (ORTIZ et al., 2009).

Segundo Silva (2011) O Ciclo de Vida de uma edificação é um sistema fechado composto das seguintes etapas: **idealização de um empreendimento**, onde se prevê o uso e reuso da água e sua valoração; **concepção do projeto**, na qual se tem o conhecimento da quantidade de água que será consumida ao longo do empreendimento; **implantação**, na qual é possível realizar o controle operacional do consumo de água; **uso e operação**, onde se evita o desperdício com o uso de materiais sustentáveis e econômicos; **manutenção e adaptação**, na qual se realiza o pagamento dos custos gerados com o uso de materiais sustentáveis; **reuso**, destinada à reutilização de materiais sustentáveis; e **demolição**, na qual ocorre a inutilização do produto edificado (Figura 1).

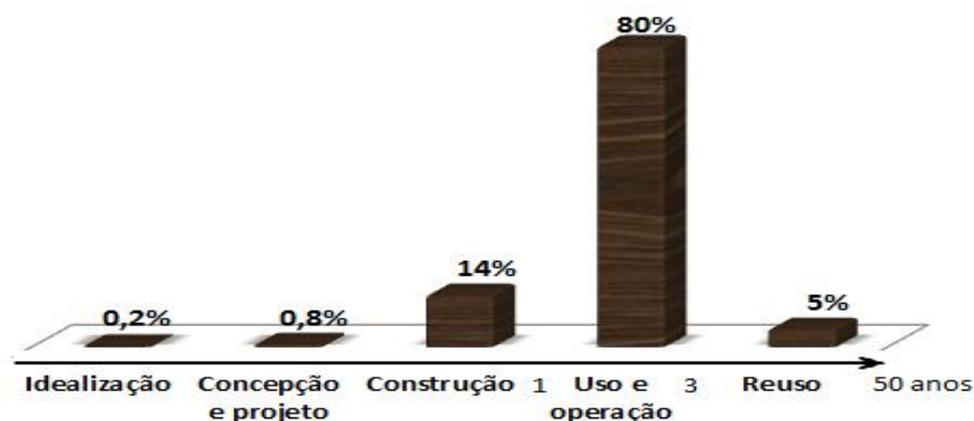
Figura 1 - Conceito do ciclo de vida segundo Silva (2011)



Fonte: Modificado de Silva (2011).

Segundo Ceotto (2008) uma edificação será mais sustentável, quanto menor for o consumo de água potável durante as etapas de uso e operação. Durante a vida útil de um edifício comercial, 80% do seu custo total ocorre devido à utilização desses recursos nestas fases (Figura 2).

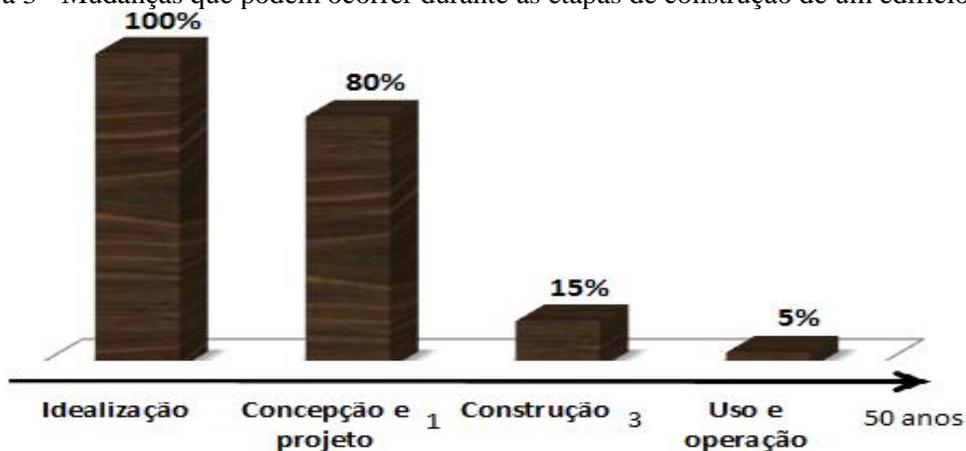
Figura 2 - Custo total de um edifício comercial durante 50 anos



Fonte: Modificado de Ceotto (2008).

Para que haja redução da quantidade de água durante essas fases, é necessário que ocorram mudanças quanto ao uso desse recurso nas etapas de idealização, concepção e projeto. Essas mudanças podem ser 100% modificadas na etapa de idealização e 80%, durante a etapa de concepção e projeto (Figura 3) (BARROSO, 2010; CEOTTO, 2008).

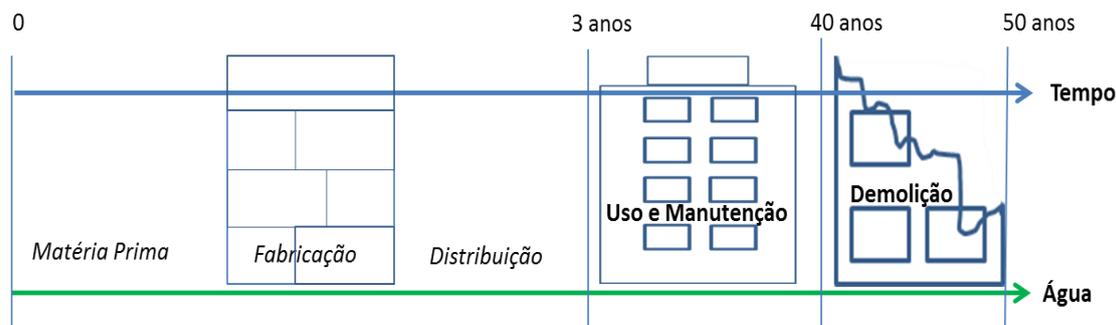
Figura 3 - Mudanças que podem ocorrer durante as etapas de construção de um edifício



Fonte: Modificado de Ceotto (2008).

Segundo Tan e Culaba (2002), o Ciclo de Vida de um produto definido pela Society of Environmental Toxicology and Chemistry em 1991, é composto pelas etapas de matéria-prima, transformação e fabricação, distribuição e transporte, uso e manutenção e demolição (Figura 4).

Figura 4 - Ilustração do Ciclo de Vida da edificação e do produto



Fonte: Modificado de Tan e Culaba (2002).

- Na etapa de aquisição de **matéria-prima**, ocorre a extração dos materiais, a partir do meio ambiente natural;
- Na etapa de **transformação e fabricação**, ocorre a conversão dos materiais em insumos, para a fabricação do produto desejado;
- Na etapa de **distribuição e transporte**, ocorre a expedição do produto final para o consumidor;
- Na etapa de **uso e manutenção**, têm-se a utilização do produto ao longo de sua vida útil;
- Na etapa de **demolição**, o produto após ter desempenhado a sua função pretendida é devolvido ao meio ambiente como entulho<sup>1</sup>.

A avaliação dos impactos ambientais no Ciclo de Vida, visa agregar os fatores de impactos em categorias de impactos. Normalmente, essas categorias estão associadas a impactos locais, regionais e globais. O consumo de matérias-primas, o uso da água e a degradação de áreas pela disposição de resíduos, entre outros, são consideradas como categorias de impactos ambientais (SOARES et al., 2006).

<sup>1</sup> Conjunto de fragmentos ou restos de concreto, argamassa, aço, e etc., provenientes do desperdício na construção, reforma e/ou demolição de estruturas, como prédios, residências e pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO, 2015).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A Região Metropolitana de Belém (RMB) é composta pela capital do estado, Belém (localizada no encontro da foz do rio Guamá com a Baía de Guajará) e pelos municípios de Ananindeua, Benevides, Castanhal, Marituba, Santa Isabel e Santa Bárbara (Figura 5).

Figura 5 - Mapa de Localização da Região Metropolitana de Belém



Fonte: Prefeitura Municipal de Belém (2012).

A RMB possui 3.566.222 habitantes (IBGE, 2013) e a concentração de grande parte da população ocorre nos espaços tradicionalmente conhecidos por “baixadas”. Estas áreas sofrem influência das 14 bacias hidrográficas existentes no município, o que lhes impõem a condição de ocuparem terrenos alagados permanentemente, ou sujeitos a inundações periódicas. As principais atividades econômicas no município são o comércio, a construção civil e os serviços de apoio industrial (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM, 2012).

Em Belém, assim como nas demais cidades brasileiras, a construção civil é o setor da economia que mais se destaca no país, em razão principalmente, do aumento de investimentos financeiros em obras de infraestrutura e unidades habitacionais. O aporte de financiamentos imobiliários em 2010, com recursos do FGTS e da poupança, foram responsáveis pela contratação de aproximadamente um milhão de unidades financiadas (DIEESE, 2011).

A construção civil é dividida em dois segmentos principais, o primeiro, edificações, composto por obras habitacionais, comerciais, industriais e sociais; o segundo, construção pesada, que agrupa vias de transporte e obras de saneamento, de irrigação/drenagem e de infraestrutura (ABIKO, 2005).

Segundo o Corpo de Bombeiros Militar do Pará (CBMPA, 2014), no período de 2008 a 2013 foram construídas 86 novas edificações multifamiliares apenas na Região Metropolitana de Belém, 23 somente no ano de 2010, refletindo assim a tendência de crescimento nacional (Figura 6).

Figura 6 - Número de edificações multifamiliares construídas na RMB

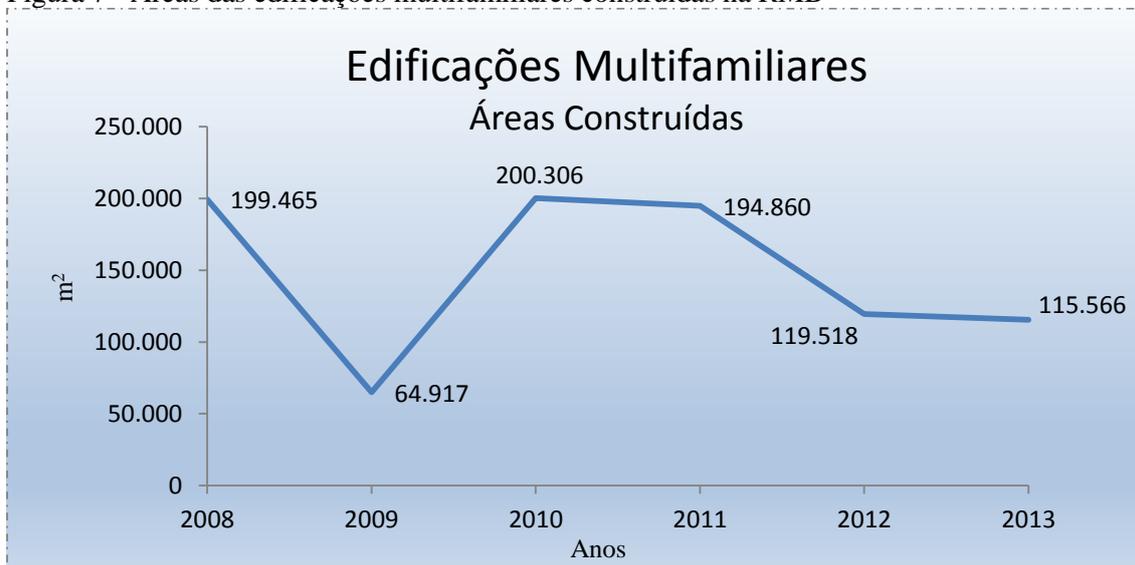


Fonte: Corpo de Bombeiros Militar do Pará (2014).

Esses números são provenientes das solicitações (mediante projeto arquitetônico e de incêndio), que as construtoras fazem ao CBMPA para obterem o HABITE-SE, documento que certifica que o imóvel recém-construído está em conformidade com as Normas Brasileiras (NBR's) e com o Decreto Estadual nº 357 de 2007 - Quanto aos sistemas de prevenção contra incêndio e pânico das edificações - liberando a edificação para ser habitada.

Com a construção desses novos empreendimentos a RMB ganhou 894.632 m<sup>2</sup> a mais de área construída. A maioria das edificações são obras de médio e grande porte destinadas a habitações multifamiliares (Figura 7).

Figura 7 - Áreas das edificações multifamiliares construídas na RMB



Fonte: Corpo de Bombeiros Militar do Pará (2014).

O volume total de concreto utilizado na construção dessas edificações no período de 2008 a 2013 foi de 161.036 m<sup>3</sup>. A maioria das construtoras optaram pelo concreto usinado com resistência entre 30 e 45 Mpa (Figura 8).

Figura 8 - Volume de concreto das edificações multifamiliares construídas na RMB



Fonte: Corpo de Bombeiros Militar do Pará (2014).

### 3.2 ETAPAS DA PRODUÇÃO DO CONCRETO USINADO

No setor da construção civil, a unidade funcional pode ser representada pelo edifício como um todo ou por apenas um recinto ou área de trabalho, analisado em determinado período (SOARES et al., 2006).

O concreto usinado produzido na Região Metropolitana de Belém, se dá através das etapas de obtenção de matéria-prima, fabricação, transporte e entrega do concreto (Figura 9).

Figura 9 - Etapas da produção do concreto usinado



Fonte: Modificado de ASBEC (2007); Carvalho et al., (2013).

Na etapa correspondente a obtenção de **matéria-prima**, os materiais (seixo e areia fina) necessários para a fabricação do concreto usinado, em sua maioria, são provenientes de jazidas localizadas na região Nordeste do Estado do Pará. Ao chegarem na usina, estes materiais são armazenados em recipientes separados. O cimento é armazenado em silos verticais (fechados), localizados no pátio de abastecimento; e o seixo e a areia são armazenados em silos horizontais, localizados, a 'céu aberto', por essa razão é necessário que se faça o controle de umidade da areia (em laboratório), antes da dosagem.

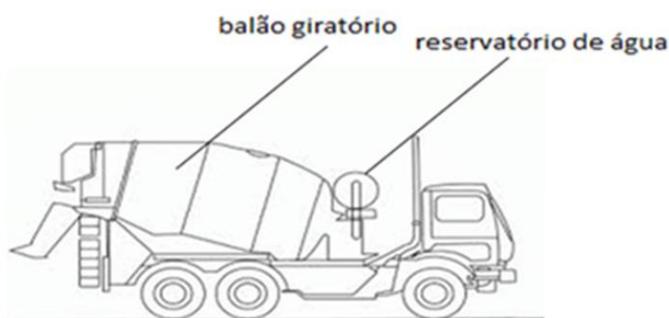
Esse controle permite conhecer a porcentagem de água existente na areia e caso ocorra uma variação muito grande na umidade, é necessário que a quantidade deste agregado seja compensada, pois existe uma proporção adequada entre a quantidade de água e de cimento adicionados ao concreto.

Na etapa de **fabricação**, ocorre a pesagem e a mistura do cimento, dos agregados, da água e dos aditivos. Os materiais secos são pesados individualmente obedecendo a dosagem (peso em massa), em seguida são adicionados a água e os aditivos (peso em volume).

Os aditivos atualmente mais empregados em centrais dosadoras de concreto são os plastificantes. O uso desse tipo de aditivo justifica-se principalmente pela redução do consumo de água do concreto, para uma dada consistência (WEIDMANN et al., 2007).

Após a pesagem, os materiais são colocados dentro do balão giratório acoplado ao caminhão betoneira e misturados a uma velocidade de 16 á 20 rpm. Os balões giratórios armazenam de sete a dez metros cúbicos de concreto e o reservatório de água tem capacidade de armazenar de 300 a 600 litros de água (Figura 10).

Figura 10 - Ilustração de um caminhão betoneira



Fonte: Modificado de ASBEC (2007).

Esses tipos de caminhões são classificados dependendo da velocidade de rotação da betoneira. Quando as rotações são realizadas a uma velocidade de 6 à 15 rpm são agitadores, e quando realizadas a uma velocidade de 16 à 20 rpm, são misturadores. Quando os caminhões têm dupla finalidade, a mistura pode ser terminada na obra (WEIDMANN et al., 2007).

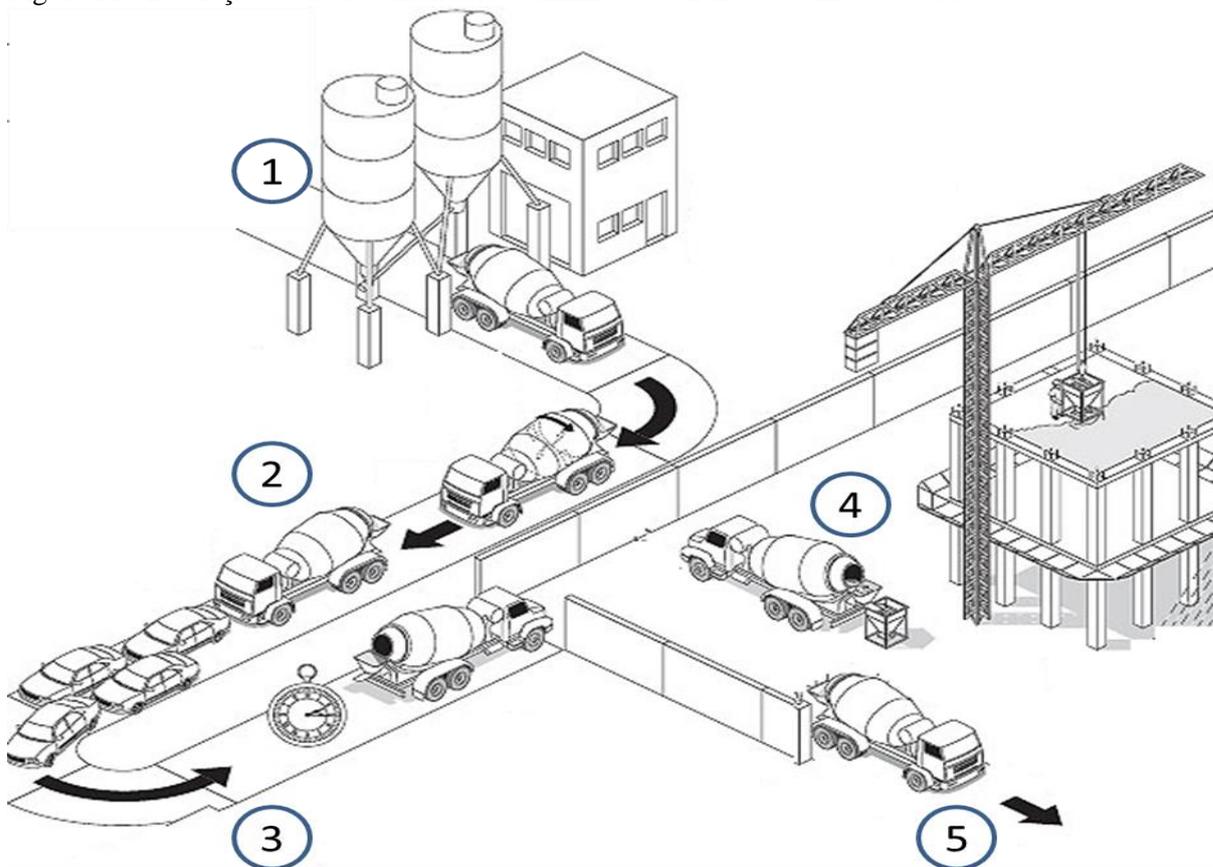
A quantidade de água adicionada na mistura dependerá do tipo de concreto, do  $f_{ck}$  e do slump solicitados pelo cliente, uma vez que, quanto maior o slump, maior a quantidade de água e conseqüentemente menor será a resistência do concreto. Além do que, o  $f_{ck}$  e o slump são informações que influenciarão no preço final do metro cubico do concreto usinado.

Na etapa do **transporte**, o caminhão betoneira transporta o concreto até a obra, misturando lentamente o concreto a uma velocidade de duas a cinco voltas por minuto, para que a massa não se deposite no fundo.

Durante o trajeto, a água é adicionada dentro do balão giratório a fim de se manter o slump (perda de abatimento). Esse controle é necessário em virtude do tempo gasto com o deslocamento do caminhão betoneira partindo da usina até a obra (Figura 11).

A perda de abatimento do concreto é um fenômeno normal e pode ser definida como a perda de fluidez com o passar do tempo. Essa propriedade do concreto é particularmente importante no caso de concreto dosado em central, visto que o início da mistura dos materiais ocorre na central, enquanto que o lançamento e o adensamento somente serão feitos alguns minutos ou horas depois, quando o caminhão-betoneira chegar ao canteiro de obras (WEIDMANN et al., 2007).

Figura 11 - Ilustração do deslocamento do caminhão betoneira da usina até a obra



Fonte: Modificado de FARIA (2009).

Legenda:

- 1. Os silos abastecem o caminhão betoneira:** O concreto é produzido de acordo com sua resistência e slump (ambos informados pelo cliente no momento da compra do concreto) e misturados dentro do caminhão betoneira.

**2. O caminhão sai da usina em direção à obra:** O tempo de deslocamento do caminhão betoneira até a obra depende principalmente das condições de trafegabilidade das vias. Na Região Metropolitana de Belém, os congestionamentos e os engarrafamentos são as principais causas do aumento no tempo de deslocamento dos caminhões. Das cinco usinas existentes, duas estão localizadas em Belém e as demais no município de Ananindeua, distante 19 km da capital.

A NBR:7212 (Execução do concreto dosado em central) estipula o tempo máximo de transporte da central até a obra em 90 min, e o tempo máximo para que o concreto seja descarregado e aplicado completamente na obra em 150 min. Porém, na prática, ocorrem situações onde os caminhões betoneiras ficam carregados com concreto por quatro ou cinco horas, em função principalmente de atrasos no transporte (POLESSELO et al., 2013).

**3. Tempo de agitação do concreto:** Durante o trajeto da central até a obra, o concreto começa a perder água por evaporação devido às condições climáticas - temperatura e umidade relativa do ar. Sendo assim, para não prejudicar a consistência do concreto, parte da água da mistura deve ser repostada na obra (ASBEC, 2007).

A Norma Americana (ASTM-C) estabelece uma hora e meia como tempo máximo entre a entrada da água em contato com os materiais secos e a descarga. Alguns autores consideram que, dependendo das condições favoráveis (concreto bom, meteorologia e boa trabalhabilidade), o tempo permitido pode ser de duas horas e meia a três horas, e outros admitem um tempo de até seis horas (FALCÃO BAUER, 2011).

**4. Chegada do caminhão betoneira à obra:** O responsável técnico deverá avaliar se há falta ou excesso de água no concreto, uma vez que a adição de água não deve ultrapassar a medida do abatimento especificada (slump) e se o concreto que está sendo entregue está de acordo com o fck, solicitado. É necessário realizar o teste do slump, para verificar se a consistência do concreto fresco está em conformidade com o determinado no projeto (ASBEC, 2007).

O lançamento do concreto na obra pode ser convencional, por meio de carrinhos ou jericas com pneumáticos; por bombas de lanças (mecânicas) ou estacionárias (mangotes). O lançamento por bombas dependerá da viabilidade de acesso do caminhão betoneira na obra. Em obras de fácil acesso, a descarga do concreto é feito por bombas de lanças, e dura em média 10 minutos; para os locais de difícil acesso, o mais recomendável é o uso de bombas estacionárias, e o tempo de descarga dura em média 20 minutos.

**5. Retorno do caminhão a usina:** Ao retornar para a usina, o caminhão betoneira deverá estar limpo, afim de evitar que o concreto endureça no interior do caminhão. A limpeza é feita pelo motorista do caminhão, no próprio canteiro de obra, se houver espaço suficiente, caso contrário, a limpeza deverá ser feita imediatamente ao chegar na usina. Para a limpeza de um caminhão betoneira, são utilizados em média 1000 litros de água.

### 3.3 A ÁGUA REAL E VIRTUAL

Nas etapas de fabricação do concreto usinado, a água está presente, seja na condição de água virtual, seja na condição de água real (Figura 12).

Figura 12 - Presença da água real e virtual na etapas de fabricação do concreto usinado



Fonte: Modificado de ASBEC (2007); Carvalho et al., (2013).

Na etapa correspondente a **matéria-prima**, a água (real) é utilizada durante o processo de extração, beneficiamento e processamento dos agregados miúdos (areias) e graúdos (seixo); e na fabricação do cimento, durante o resfriamento do clínquer. No momento que estes materiais começam a ser comercializadas como materiais de construção, a água (real) utilizada nas jazidas se transforma em água virtual.

Para o cálculo do teor de água virtual do produto final, o primeiro passo é obter o teor de água virtual do produto de entrada mais a água necessária para processá-lo. O total destes dois elementos são distribuídos ao longo dos vários produtos de saída, com base na fração do produto e na fração do valor (CHAPAGAIN e HOESKTRA, 2004).

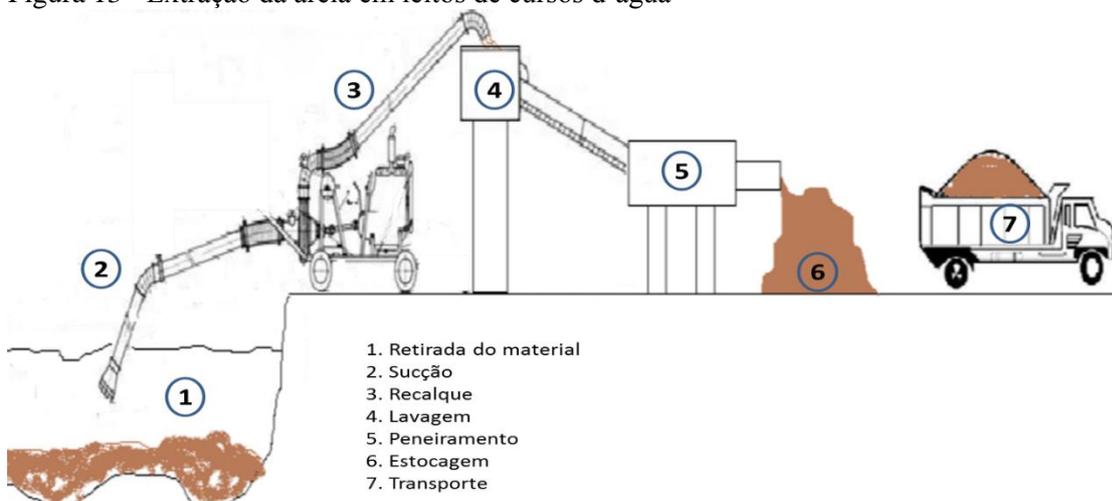
Por ausência de medições ‘in loco’ para o conhecimento do volume de água utilizada durante o processo de extração e beneficiamento dos agregados miúdo, graúdo e do cimento, esta pesquisa considerou o volume de água por tonelada de material segundo os estudos de Coelho (2010), da Agência Nacional de Águas (ANA, 2013) e da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2013), respectivamente.

No estado do Pará, grande parte das matérias primas necessárias para a fabricação do concreto usinado são provenientes de jazidas localizadas no Nordeste paraense. Segundo Carvalho et al., (2013) a proximidade da jazida com os centros consumidores permite o favorecimento da economia local, barateamento do produto e aumento das receitas municipais, em virtude da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM).

### 3.3.1 Agregado miúdo

A cadeia produtiva da areia é constituída da extração do material natural, remoção de impurezas finas (lavagem), classificação granulométrica e armazenamento (Figura 13).

Figura 13 - Extração da areia em leitos de cursos d’água



Fonte: Modificado de COELHO (2010).

A areia natural é **extraída** dos cursos d'água através de um sistema de dragagem (bombeamento de sucção e recalque). Em seguida, a areia é transportada para a unidade de lavagem para que ocorra a **remoção das impurezas** e a separação das frações síltico-argilosa. Essas frações de finos representam até 20% da areia processada e geralmente é descartada para as lagoas de decantação.

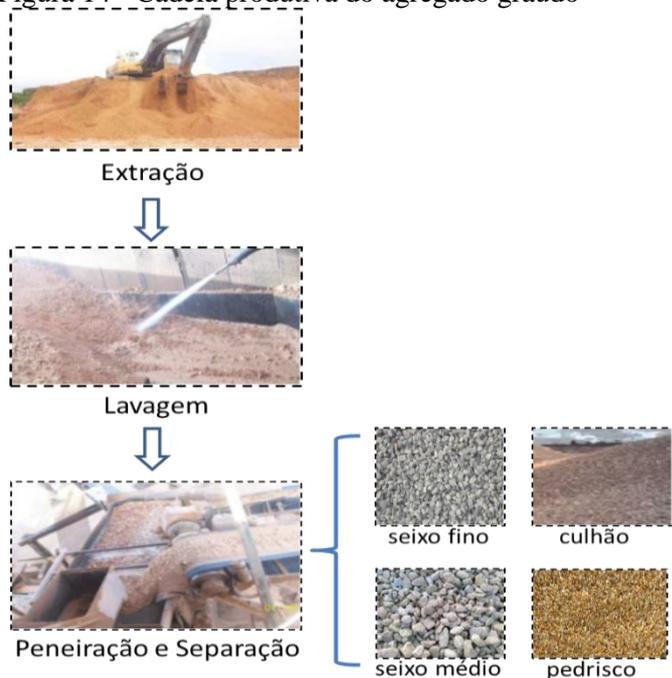
Após a lavagem, a areia é peneirada, classificada conforme sua **granulometria** e conduzida aos locais de **armazenamento** para que seja feito o abastecimento dos caminhões destinado aos centros consumidores.

A quantidade de água utilizada no processo de extração da areia é de 7,5 m<sup>3</sup> por tonelada de minério (COELHO, 2010).

### 3.3.2 Agregado graúdo

O agregado graúdo mais utilizado na Região Metropolitana de Belém é o seixo. Segundo Carvalho et al., (2013) a cadeia produtiva deste agregado é constituído da extração do material bruto, lavagem do material, peneiração e separação dos agregados (Figura 14).

Figura 14 - Cadeia produtiva do agregado graúdo



Fonte: Modificado de Carvalho et al., (2013).

O material bruto (seixo bruto) é **extraído** a uma profundidade de 10 m e encontra-se misturado a outros materiais, como areia, raízes e argila. O seixo é colocado em caminhões e levado para o local onde receberá fortes jatos d'água de maneira a separa-lo de partículas e materiais indesejados. A água utilizada para a **lavagem** do seixo é retirada de dois igarapés localizados na bacia do rio Guamá.

Após os jatos d'água, o seixo é transportado por uma esteira até as peneiras vibratórias, para que seja realizada a **peneiração e a separação** do seixo. As aberturas das malhas das peneiras permitirá que o seixo seja dividido conforme sua granulometria, em seixo fino, médio, pedrisco e culhão.

A quantidade de água utilizada durante o processo de extração do seixo é de aproximadamente 6,25 m<sup>3</sup> por tonelada de material (ANA, 2013).

### 3.3.3 Cimento

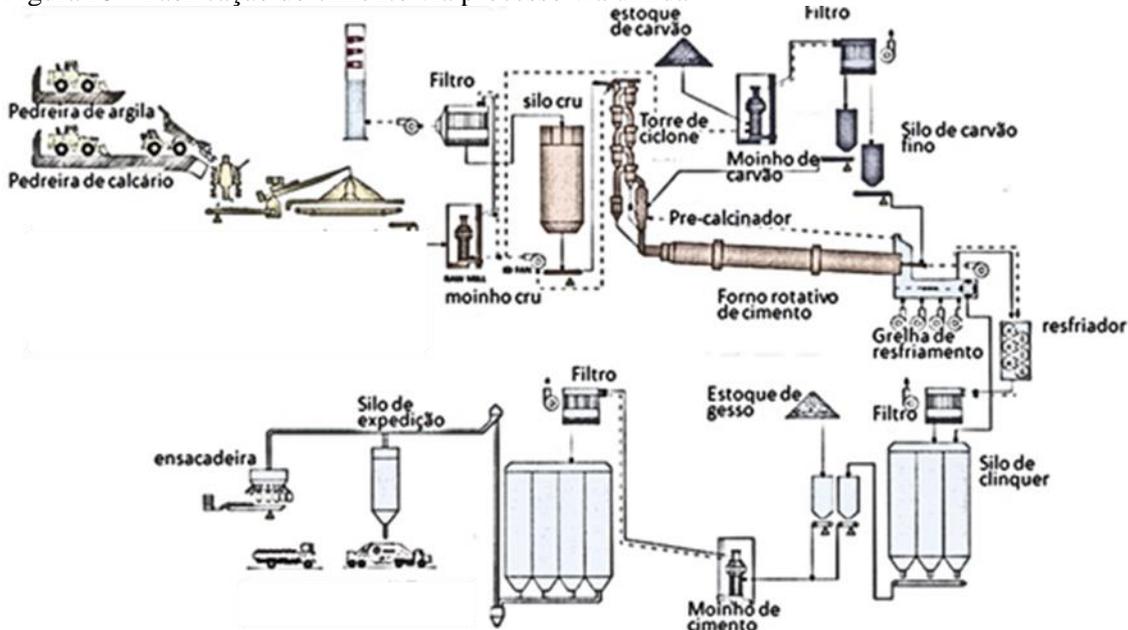
A produção brasileira de cimento voltou a crescer nos últimos anos, passando de 41,9 milhões de toneladas em 2006, para 51,9 milhões de toneladas em 2008, indicando um crescimento de 23,9%. Diversos fatores contribuíram para esta evolução, entre eles, o aumento das construções habitacionais neste período (SILVA, 2009).

A principal fábrica de cimento Portland do Estado do Pará está situada no município de Capanema, distante 160 km da capital, na qual o CP II Z-32 (NASSAU) é o mais fabricado. É um empreendimento, com mais de 50 anos de implantação, que utiliza a via úmida na fabricação do cimento. Recentemente, a mesma empresa iniciou o processo fabril de cimento em outra unidade, no município de Itaituba, distante 1 626 km de Belém, utilizando a tecnologia via seca.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2010), existem três tipos de processos de fabricação de cimento atualmente utilizados no Brasil, o processo via seca correspondendo a 98% da produção e os de via úmida, correspondendo a aproximadamente 2% da produção. No processo via úmida, o material cru é moído com aproximadamente 40% de água e entra no forno na forma de pasta.

De acordo com a ABCP (2013) na produção de cimento, a água é utilizada nas torres de arrefecimento e injeção nos moinhos para resfriamento do clinker, representando um consumo de  $0,1 \text{ m}^3$  de água por tonelada de cimento (Figura 15).

Figura 15 - Fabricação do cimento via processo via úmida



Fonte: Modificado do Ministério do Meio Ambiente (2010).

Na etapa de **fabricação** do concreto, água (real) é dosada e adicionada ao cimento formando uma pasta que une os agregados (miúdos e graúdos) quando endurecida, e deve estar livre de impurezas e substância nocivas.

A consistência de um concreto fresco depende essencialmente da quantidade de água por metro cúbico adicionada a mistura (TUTIKIAN e HELENE, 2011), uma vez que, inicialmente o concreto encontra-se em estado plástico, permitindo ser moldado nas mais diversas formas, texturas e finalidades (ASBEC, 2007).

Nas centrais, a água utilizada na fabricação do concreto é proveniente de poços artesianos. Esta é uma das razões pelo qual a água não é inserida como insumo, uma vez que, não há cobrança pelo uso desta água.

Na etapa de **transporte** do concreto, a água (real) armazenada dentro do reservatório do caminhão betoneira, a qual é adicionada (durante o trajeto da usina até a obra) ao concreto afim de mantê-lo consistente é parte integrante do produto, assim como a água utilizada durante a 'cura' do concreto a ser realizada na etapa de **entrega** do concreto na obra.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados coletados, foram criadas planilhas de cálculo, apresentando o quantitativo de água real e virtual presente nos insumos necessários para a confecção de um metro cúbico de concreto; e planilhas de custos unitários, considerando e desconsiderando a água real e virtual como insumos. Nesse contexto, foi possível mensurar a variação no preço do metro cúbico do concreto de 30 MPa produzido na RMB, no período de 2008 a 2103.

Um estudo de dosagem deve ser realizado visando obter a mistura ideal e mais econômica, com materiais disponíveis de uma determinada região (TUTIKIAN e HELENE, 2011). Na Região Metropolitana de Belém, o agregado graúdo mais utilizado na fabricação do concreto é o seixo, por ser um tipo de material extraído de jazidas localizadas próximo a RMB.

A quantidade de água utilizada para a fabricação do concreto usinado depende do  $f_{ck}$  estabelecido nos métodos de dosagem. A redução no consumo de matérias primas reflete no setor financeiro de cada empresa, uma vez que a quantidade de insumos varia em função do traço utilizado.

Por sigilo comercial, nenhuma das empresas forneceu a quantidade de insumos (incluindo a água) utilizados na fabricação de um metro cúbico de concreto. Sendo assim, considerou-se o estudo de dosagem experimental obtido através de Barboza e Bastos (2008), dos quais utilizaram o método do IPT/EPUSP (Helene e Terzian, 1995), para determinação do traço em massa do concreto, no qual estabelece que a quantidade de cimento, areia e seixo sejam obtidas em quilo e a água em litros (Tabela 5).

Tabela 5 - Quantidade de insumos utilizados na fabricação de um metro cúbico de concreto

<b>Resistência</b>	<b>Cimento</b>	<b>Areia</b>	<b>Seixo</b>	<b>Água</b>
(Mpa)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Litros)
25	292	906	904	0,190
<b>30</b>	<b>317</b>	<b>903</b>	<b>920</b>	<b>0,184</b>
35	344	891	932	0,186
40	365	883	942	0,186
45	387	870	949	0,186

Fonte: Barboza e Bastos (2008).

Na Região Metropolitana de Belém, os preços de mercado relativos ao ano de 2014 do saco (50 Kg) de cimento custa R\$ 28,00; do metro cubico da areia R\$ 35,00, do seixo, R\$ 80,00 e o do concreto usinado varia de R\$ 250,00 a 300,00.

A partir da quantidade de cimento, areia e seixo, utilizados na dosagem do concreto, a Tabela 6 apresenta o custo do metro cubico do concreto usinado desconsiderando a água real e virtual como insumos, além da mão de obra, a perda de materiais e as despesas administrativas.

Tabela 6 - Preço de custo do concreto usinado desconsiderando a água como insumo

Resistência	Cimento		Areia		Seixo		TOTAL
	Traço	Preço/50 Kg	Traço	Preço/m <sup>3</sup>	Traço	Preço/m <sup>3</sup>	Preço/m <sup>3</sup>
(MPa)	(Kg)	R\$ 28,00	(m <sup>3</sup> )	R\$ 35,00	(m <sup>3</sup> )	R\$ 80,00	(R\$)
25	292	R\$ 163,52	0,651	R\$ 22,79	0,607	R\$ 48,56	R\$ 234,87
<b>30</b>	<b>317</b>	<b>R\$ 177,50</b>	0,649	<b>R\$ 22,72</b>	0,618	<b>R\$ 49,44</b>	<b>R\$ 249,66</b>
35	344	R\$ 192,64	0,64	R\$ 22,40	0,626	R\$ 50,08	R\$ 265,12
40	365	R\$ 204,40	0,598	R\$ 20,93	0,632	R\$ 50,56	R\$ 275,89
45	387	R\$ 216,72	0,625	R\$ 21,88	0,637	R\$ 50,96	R\$ 289,56

Fonte: Autora.

Para o cálculo destes custos, o traço da areia e do seixo foi convertido de massa para volume (Eq. 2). Essa correção da massa (kg) se deu através da determinação da umidade (Eq. 3) e do consumo de agregado corrigido (Eq. 4), conforme Método do IPT/EPUSP ((Helene e Terzian, 1995).

$$V = \frac{\text{massa}}{\text{massa unitária}} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$h = \left[ \left( \frac{P_h - P_s}{P_s} \right) \cdot 100 \right] \quad (\text{Eq. 3})$$

$$P_h = P_s \cdot \left( 1 + \frac{h\%}{100} \right) \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

h = umidade

Ph = Peso da massa úmida

Ps = Peso da massa seca

De acordo com a ANA (2013) o abastecimento industrial é o terceiro maior responsável pelo uso de água no país em termos de vazão de retirada e o quarto em termos de consumo. A indústria brasileira tem buscado equacionar o suprimento de água perfurando poços e reutilizando a água em seus processos.

A Tabela 7 apresenta o volume de água virtual presente no cimento (coluna 1); na areia (coluna 2), no seixo (coluna 3), além do volume de água (real) utilizada na mistura do cimento e dos agregados (coluna 4).

Tabela 7 - Quantidade de água real e virtual presente em um metro cubico de concreto

Resistência	Cimento		Areia		Seixo		Concreto	TOTAL	
	Traço	Água Virtual	Traço	Água Virtual	Traço	Água Virtual	Água Real	Água Virtual	Água Real
Mpa	(Kg)	(m <sup>3</sup> )	(Kg)	(m <sup>3</sup> )	(Kg)	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )
	(1)		(2)		(3)		(4)	(5)	(6)
25	292	0,029	906	6,795	904	5,650	0,190	12,474	0,190
<b>30</b>	<b>317</b>	<b>0,032</b>	<b>903</b>	<b>6,773</b>	<b>920</b>	<b>5,750</b>	<b>0,184</b>	<b>12,554</b>	<b>0,190</b>
35	344	0,034	891	6,683	932	5,825	0,186	12,542	0,190
40	365	0,037	883	6,623	942	5,888	0,186	12,547	0,190
45	387	0,039	870	6,525	949	5,931	0,186	13,670	0,190

Somando as colunas (1), (2) e (3) a coluna (5) apresenta o volume total de água virtual presente em um metro cubico de concreto usinado. E a coluna (6) apresenta o volume total de água (real) presente na dosagem do concreto. Portanto, o volume de água virtual no concreto usinado apresentou um valor muito maior do que o da água real.

A água utilizada para a produção do concreto usinado em centrais é proveniente de poços artesianos e as empresas não pagam pela utilização dessa água. Segundo Pessarello (2008) nos casos de obras de grande porte e longa duração, a água proveniente de poços, desde que adequada às condições de uso, pode tornar-se uma alternativa economicamente viável.

No Estado do Pará, os municípios são predominantemente abastecidos por mananciais subterrâneos. Isso ocorre devido à existência de aquíferos com elevado potencial hídrico e em função da simplicidade operacional do abastecimento por poços, para o atendimento de municípios de pequeno porte (ANA, 2013).

A Tabela 8 apresenta a variação no preço do metro cubico do concreto usinado, considerando e desconsiderando a água real e virtual como insumos. Na coluna (1) tem-se o preço do metro cubico do concreto, considerando apenas o cimento, a areia e o seixo; na coluna (2) tem-se o preço do metro cubico do concreto considerando o cimento, a areia, o seixo e a água real (preço unitário da água<sup>2</sup> no valor de R\$ 6,68/m<sup>3</sup>); na coluna (3) tem-se o preço do metro cubico do concreto, considerando o cimento, a areia, o seixo e a água virtual (preço unitário da água no valor de R\$ 6,68/m<sup>3</sup>); na coluna (4) tem-se o preço do metro cubico do concreto, considerando a areia, o seixo, a água virtual e a água real.

Tabela 8 - Variação no preço do metro cubico do concreto usinado

Resistência	Preço	Preço	Preço	Preço	% Variação	% Variação	% Variação
Fck	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
25	R\$ 234,87	R\$ 236,14	R\$ 318,20	R\$ 319,47	0,54%	35,48%	36,02%
<b>30</b>	<b>R\$ 249,66</b>	<b>R\$ 250,89</b>	<b>R\$ 333,52</b>	<b>R\$ 334,75</b>	<b>0,49%</b>	<b>33,59%</b>	<b>34,08%</b>
35	R\$ 265,12	R\$ 266,36	R\$ 348,90	R\$ 350,14	0,47%	31,60%	32,07%
40	R\$ 275,89	R\$ 277,13	R\$ 359,70	R\$ 360,94	0,45%	30,38%	30,83%
45	R\$ 289,56	R\$ 290,80	R\$ 380,88	R\$ 382,12	0,43%	31,54%	31,97%

Fonte: Autora

Analisando as colunas (1) e (2), tem-se na coluna (5) a variação no preço do concreto considerando apenas a água real. Percebe-se que o percentual máximo de acréscimo é relativamente pequeno, inferior a 0,60%, mas segundo Crawford e Treloar (2005) “apesar de insignificante, não pode ser desprezível”.

Analisando as colunas (1) e (3), tem-se na coluna (6), a variação no preço do concreto considerando apenas a água virtual. Sendo assim, o percentual máximo de acréscimo é de 35,48%.

Analisando as colunas (1) e (4), tem-se na coluna (7) a variação no preço do concreto considerando a água real e virtual. Neste caso, o percentual máximo de acréscimo é de 36,02%. Ou seja, ao inserir a água real e virtual como insumos, o preço do concreto usinado na Região Metropolitana de Belém seria em torno de R\$ 340,00 a R\$ 410,00.

<sup>2</sup> Determinado pela Companhia de Saneamento do Estado do Pará (COSANPA, 2014).

A Tabela 9 apresenta a variação no valor obtido com a venda do concreto usinado no período de 2008 a 2013 considerando o volume de concreto produzido neste período (coluna 1); o preço de R\$ 249,66 (desconsiderando a inflação do período) para o metro cúbico do concreto de 30 Mpa (coluna 2); o custo do metro cúbico de concreto inserindo a água real e virtual como insumos (coluna 3).

Tabela 9 - Custo do concreto de 30 MPA produzido na RMB no período de 2008 a 2013

Resistência	Concreto	Preço	Preço	TOTAL	TOTAL	Varição
Fck	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
2008	35.903	R\$ 249,66	R\$ 334,75	R\$ 8.963.542,98	R\$ 12.018.571,47	R\$ 3.055.028,49
2009	11.684	R\$ 249,66	R\$ 343,72	R\$ 2.917.027,44	R\$ 4.015.974,66	R\$ 1.098.947,22
2010	36.056	R\$ 249,66	R\$ 343,72	R\$ 9.001.740,96	R\$ 12.393.014,58	R\$ 3.391.273,62
2011	35.076	R\$ 249,66	R\$ 343,72	R\$ 8.757.074,16	R\$ 12.056.173,16	R\$ 3.299.099,00
2012	21.514	R\$ 249,66	R\$ 343,72	R\$ 5.371.185,24	R\$ 7.394.700,34	R\$ 2.023.515,10
2013	20.803	R\$ 249,66	R\$ 343,72	R\$ 5.193.676,98	R\$ 7.150.318,46	R\$ 1.956.641,48
<b>TOTAL</b>	<b>161.036</b>			<b>R\$ 40.204.247,76</b>	<b>R\$ 55.028.752,66</b>	<b>R\$ 14.824.504,90</b>

Fonte: Autora

Analisando as colunas (1) e (2) tem-se na coluna (4), o valor total do concreto usinado desconsiderando a água real e virtual como insumos. Analisando as colunas (1) e (3) tem-se na coluna (5), o valor total do concreto usinado obtido considerando a água real e virtual como insumos. E analisando as colunas (4) e (5) tem-se na coluna (6) a variação no preço do metro cúbico do concreto usinado. Percebe-se que a diferença no preço do concreto foi superior a 14 milhões de reais.

Ou seja, o valor econômico gerado com a inserção da água real e virtual como insumos não pode ser desprezada, mesmo porque, segundo Silva (2009) é possível estudar a água como insumo na construção civil e elaborar um orçamento em que a mesma possa estar inserida na composição de custos unitários de qualquer produto ou atividade.

Apesar desta pesquisa não ter se aprofundado no estudo econômico, social e ambiental da água, os resultados mostraram que os percentuais de acréscimos obtidos com a inserção da água real e virtual como insumos, merece destaque. No Brasil estudos relacionados a água virtual ainda são tímidos, mas deve-se considerar que a água é um recurso hídrico utilizado tanto para a manutenção da vida quanto para as atividades de diversos segmentos da economia, incluindo o da construção civil.

## 5 CONCLUSÃO

A construção civil é uma atividade que necessita de grandes volumes de água tanto no desenvolvimento dos serviços quanto na fabricação dos materiais de construção. Em todo o processo produtivo do concreto usinado identificou-se presença de água, desde a extração de matérias-primas até a demolição da edificação.

A partir do estudo da água real e virtual no concreto usinado foram criadas planilhas de cálculo considerando e desconsiderando a cobrança pelo uso da água real e virtual na produção de um metro cúbico de concreto, uma vez que, atualmente apenas para o cimento, a areia e o seixo são atribuídos preços unitários.

Os cálculos mostraram que o percentual máximo de acréscimo considerando a tarifa de R\$ 6,68 estabelecida pela Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA) pelo uso da água no concreto usinado foi inferior a 0,60% para a água real; 35,48% para a água virtual e 36,02% para a água real e virtual.

A porcentagem de acréscimo considerando o preço da água real na produção de um metro cúbico de concreto usinado foi relativamente pequeno. A variação deste valor em termos monetários (R\$/m<sup>3</sup>) depende, principalmente da resistência característica do concreto e do tipo de construção.

Diferentemente do pouco impacto econômico-financeiro que a água real causa no orçamento de uma obra, o impacto da água virtual é relativamente alto, o que ocasionaria um aumento no preço unitário do concreto usinado em cerca de 36%, constituindo-se assim um acréscimo bastante significativo nos custos de produção.

Portanto, é possível que o conceito de água virtual, proposto dentro do segmento da construção, possa mudar a forma como atualmente a água vem sendo utilizada. Sendo assim é necessário que sejam realizados mais estudos, pesquisas e medições ‘in loco’ com o intuito de abranger o tema, água virtual, entre a comunidade acadêmica.

Para que futuramente tanto a água real quanto a água virtual possam ser consideradas como insumos no concreto e nas demais etapas da construção civil e que seus valores sejam efetivamente percebidos e apropriados pela sociedade, nesta e nas próximas gerações.

## REFERÊNCIAS

ABIKO, A. K. **Setor de construção civil**: segmento de edificações. In: ABIKO, A. K.; MARQUES, F. S.; CARDOSO, F. F.; TIGRE, P. B. (Org.). SENAI. Brasília. 2005. p.19-21.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Demandas e usos múltiplos**. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Capítulo 3. 2013. p.87-139.

ARAÚJO, J. A. **O conceito de água virtual aplicado a fabricação de laminados de aço**. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió. 2011. 14p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL. **Manual do concreto dosado em central**. São Paulo. 2007. 36p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Básico sobre cimento**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br>>. Acesso em: 16 jan. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7212**: Execução de concreto dosado em central. Rio de Janeiro. 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO. **O que é entulho?** Disponível em: <<http://www.abrecon.org.br/>>. Acesso em: 01 out. 2015.

BARBOZA, M. R.; BASTOS, P. S. Traços de concreto para obras de pequeno porte. **Revista Concreto e Construção**, v. XXXVI. IBRACON, 2008. p.32-36.

BARROS, F. G. N.; AMIN, M.M. Água: um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**. Taubaté - SP, v.4, n. 1. 2008. p.75-108.

BARROSO, L. P. M. **Construção sustentável – soluções comparativas para o uso eficiente da água nos edifícios de habitação**. Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Dissertação. Lisboa. 2010. 110p.

BOGGIO, A. J. **Estudo comparativo de métodos de dosagem de concreto de cimento Portland.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Dissertação. Porto Alegre. 2000. 182p.

CARMO, R. L.; OJIMA, A. L. R.O; OJIMA, R; NASCIMENTO, T.T. Água virtual, escassez e gestão: O Brasil como grande “exportador” de água. **Ambiente & Sociedade.** Campinas, v. X, n.1. 2007. p.83-96.

CARVALHO, M. B.; SILVA, R. T. L.; COUTINHO, P. W. R.; NETO, C. F. O.; LIMA, L. G. S. **Cadeia produtiva de agregados de construção em mineradora no município de Ourém - Pará.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer. Goiânia, v.9, n. 16. 2013. p.2524-2539.

CEOTTO, L. H. **Avaliação de sustentabilidade:** balanço e perspectivas no Brasil. In: I Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável – SBCS 08. São Paulo. 2008.

CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. Water footprints of nations. **Volume 1: Main Report.** Value of Water Research Report Series. No.16. UNESCO - IHE. Delft, Netherlands. 2004. 80p.

CHAPAGAIN, A.K.; HOEKSTRA, A. Y.; SAVENIJE, H. H. G. **Saving water through global trade.** Value of Water Research Report Series No. 17. UNESCO - IHE Delft, Netherlands. 2005. 40p.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ. **Tarifas.** Disponível em: <<http://cosanpa.pa.gov.br>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

COELHO, J. M. **Areia Industrial.** Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Banco mundial. Relatório Técnico 44. 2010. p.20-24.

COSTA, S. S. **Água virtual em louças sanitárias – caso de estudo.** Universidade de Aveiro. Departamento de Engenharia Civil. Dissertação. Portugal. 2012. 125p.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO PARÁ. Centro de Atividades Técnicas. **Sistema Integrado de Análise de Projetos e Inspeções.** 2014.

CRAWFORD, R. H.; TRELOAR, G. J. **An assessment of the energy and water embodied in commercial building construction.** In: 4<sup>th</sup> Australian LCA conference. Sydney. 2005. 11p.

DALIN, C.; KONARA, M.; HANASAKIB, N.; RINALDO, A.; RODRIGUES-ITURBE, I. **Evolution of the global virtual water trade network.** Article. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. v, 109, n. 21. 2012. 7p.

**Declaração Universal dos Direitos da Água.** Organização das Nações Unidas. Dublin. 1992.

DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS. Estudo Setorial da Construção. **Estudos e Pesquisas.** n.56. São Paulo. 2011. 31p.

FALCÃO BAUER, L. A. **Materiais de Construção.** v,1. 5<sup>a</sup> edição. LTC: Rio de Janeiro. 2011. 488 p.

FARIA, R. Concreto não conforme. **Revista Técnica.** Pini. Edição 152. Ano 17. 2009.

FRACALANZA, A. P. Água: de elemento natural à mercadoria. **Sociedade & Natureza.** Uberlândia - MG. 2005. p.21-36.

HELENE, P.R.L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto.** São Paulo. Ed. Pini. 1995. 349p.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. **Globalization of Water:** Sharing the Planets Freshwater Resources. Blackwell Publishing, Oxford. 2008.

HOEKSTRA, A.Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN, M. M. **The water footprint assessment manual:** setting the global standard. Earthscan. London. Washington - DC. 2011. 228p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades@: Belém – PA.** Censo 2013. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

LUNARDI, J.; FIGUEIRÓ, A. Problematizando a água virtual em educação ambiental: conceito e forma de cálculo. **Revista Geonorte**. Edição Especial. v.3, n.4. 2012. p.290-300.

MARZULLO, R. C. M.; FRANCKE, I.; MATAI, P. H. L. S. **Pegada hídrica da água tratada**: necessidade de água para a obtenção de água. In: 2º Congresso Brasileiro em Gestão de Ciclo de Vida de Produtos e Serviços. Artigo. Florianópolis. 2010. p.18-23.

MCCORMACK, M.; TRELOAR, G. J.; PALMOWSKI, L.; CRAWFORD, R. Modelling direct and indirect water requirements of construction. **Building research & information**. 2007. p.156-162.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Proposta de limites de emissão de fontes fixas existentes – setor cimento**. 2010. 16p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/>>. Acesso em: 10 nov. 2015

ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. Sustainability in the construction industry: a review of recent developments based on LCA. **Construction and Building Materials**. v. 23, n. 1. 2009. p.28-39.

PESSARELLO, R. G. **Estudo exploratório quanto ao consumo de água na produção de obras de edifícios**: avaliação e fatores influenciadores. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Monografia. 2008. 114p.

PIMENTA, D. S. **Produção de concreto convencional com a utilização de pó de brita**. Universidade Federal da Paraíba. Centro de Tecnologia. Trabalho de Conclusão de Curso. João Pessoa. 2012. 60 p.

POLESELLO, E.; ROHDEN, A. B.; DAL MOLIN, D. C. C.; MASUERO, A. B. O limite de tempo especificado pela NBR 7212, para mistura e transporte do concreto, pode ser ultrapassado? **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**. v, 6. n.2. 2013. p.339-359.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM. **Plano Diretor**. 2012. Disponível em: <<http://www.belem.pa.gov.br/planodiretor>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

QUARESMA, L. F. **Perfil de brita para a construção civil**. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Banco mundial. Relatório Técnico 30. 2009. p.16-18.

SILVA, J. O. **Perfil do cimento**. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Banco mundial. Projeto de Assistência Técnica ao Setor de Energia 2009. 68p.

SILVA, M. D. N. **O valor da água como insumo na orçamentação da obra na construção civil**: estudo de caso em edificações residenciais. Universidade Federal do Pará. Instituto Tecnológico. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Dissertação. Belém. 2011. 81p.

SOARES, S. R.; SOUZA, D. M.; PEREIRA, S. W. A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil. Coletânea Habitare. **Construção e Meio Ambiente**. v, 7. Porto Alegre. 2006. p.97-128.

TABELAS DE COMPOSIÇÕES DE PREÇOS PARA ORÇAMENTOS. 13ª ed. Ed. Pini. 2008. 620p.

TAN, R. R.; CULABA, A. **Environmental life-cycle assessment**: a tool for public and corporate development. De La Salle University, Manila. 2002.

TUTIKIAN, B.; HELENE, P. Dosagem dos Concretos de Cimento Portland. In: ISAIA, G. C L(org.). **Concreto**: Ciência e Tecnologia. 1ª ed. São Paulo: Ibracon, 2011, v. 1, p. 415-451.

UNEP. **Life Cycle Management**: a business Guide to sustainability. 2007. 52p. Disponível em: <<http://www.unep.org>>. Acesso em: 01 out. 2015.

WEIDMANN, D.; OLIVEIRA, A. L.; SOUZA, J.; PRUDÊNCIO JR, L. R.; BIANCHINI, M. Avaliação do desempenho de aditivos redutores de água para uso em centrais de concreto: Estudo de caso. **Anais**. In: 49º Congresso Brasileiro do Concreto. 2007. Bento Gonçalves – RS. 16p.

WICHELNS, D. Virtual Water: a helpful perspective, but not a sufficient policy criterion. **Water Resources Management**. Article. August 2010, v, 24, Issue 10, pp. 2203-2219.

**APÊNDICE A – Número de edificações multifamiliares construídas na RMB**

<b>ANO</b>	<b>ÁREA CONSTRUÍDA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>VOLUME DE CONCRETO (m<sup>3</sup>)</b>
2008	680.0	122
2008	918.0	165
2008	10.456	1.882
2008	680.0	122
2008	20.121	3.622
2008	918.0	165
2008	10613	1.910
2008	74.976	13.496
2008	747	134
2008	16.710	3.008
2008	2.543	458
2008	5.604	1.009
2008	15.597	2.807
2008	7.404	1.333
2008	10.289	1.852
2008	11.664	2.100
2008	9.545	1.718
2009	1.800	324.0
2009	8.776	1.580
2009	6.468	1.164
2009	14.584	2.625
2009	552	99
2009	2.057	370
2009	1.180	212
2009	11.000	1.980
2009	10.000	1.800
2009	8.500	1.530
2010	6.624	1.192
2010	13.114	2.361
2010	8.811	1.586
2010	10.523	1.894
2010	15.364	2.766
2010	761	137
2010	410	74
2010	926	167
2010	13.114	2.361
2010	15.144	2.726
2010	8.811	1.586
2010	31.557	5.680
2010	872	157
2010	8.094	1.457
2010	8.811	1.586

**APÊNDICE A** – Número de edificações multifamiliares construídas na RMB

<b>ANO</b>	<b>ÁREA CONSTRÚIDA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>VOLUME DE CONCRETO (m<sup>3</sup>)</b>
2010	1.330	239
2010	15.652	2.817
2010	13.579	2.444
2010	604	109
2010	2.244	404
2010	7.500	1.350
2010	3.347	602
2010	13.114	2.361
2011	74.976	13.496
2011	11.960	2.153
2011	2.316	417
2011	1.488	268
2011	10.324	1.858
2011	12.754	2.296
2011	13.688	2.464
2011	978	176
2011	14.026	2.525
2011	10.025	1.805
2011	27.028	4.865
2011	6.129	1.103
2011	9.168	1.650
2012	14.272	2.569
2012	5.912	1.064
2012	24.480	4.406
2012	7.126	1.283
2012	7.779	1.400
2012	13.082	2.355
2012	23.800	4.284
2012	1.438	259
2012	11.176	2.012
2012	10.453	1.882
2013	281	51
2013	7.254	1.306
2013	16.796	3.023
2013	24.394	4.391
2013	5.520	994,0
2013	2.220	400,0
2013	28.112	5.060
2013	1.340	241
2013	4.800	864

**APÊNDICE A** – Número de edificações multifamiliares construídas na RMB

<b>ANO</b>	<b>ÁREA CONSTRUÍDA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>VOLUME DE CONCRETO (m<sup>3</sup>)</b>
2013	15.500	2.790
2013	1.105	199,0
2013	6.620	1.192
<b>TOTAL</b>	<b>931.928</b>	<b>167.747</b>