

## **CADERNOS DO IME – Série Estatística**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ  
Rio de Janeiro - RJ - Brasil  
ISSN impresso 1413-9022 / ISSN on-line 2317-4536 - v. 35, p. 35 - 52, 2013

### **UMA AVALIAÇÃO INTEGRADA COM O CEQ, ISHIKAWA E AHP EM UMA EMPRESA DE CONCRETAGEM**

Douglas Nascimento Gomes  
Instituto Tecnológico e das Ciências Sociais Aplicadas e da Saúde  
douglasngomes@hotmail.com

Luand Paes Crespo Ribeiro  
Instituto Tecnológico e das Ciências Sociais Aplicadas e da Saúde  
luand\_paes@yahoo.com.br

Raphael Carvalho Rangel  
Instituto Tecnológico e das Ciências Sociais Aplicadas e da Saúde  
rapha.carvalho7@gmail.com

Henrique Rego Monteiro da Hora  
Instituto Federal Fluminense (IFF)  
henrique.dahora@iff.edu.br

Helder Gomes Costa  
Universidade Federal Fluminense (UFF)  
hgc@pq.cnpq.br

#### **Resumo**

*O concreto no Brasil é um dos principais produtos utilizados na construção civil e a resistência à compressão é um dos principais parâmetros definidores de sua qualidade. O trabalho objetiva avaliar a eficiência do processo de produção de uma empresa de concretagem localizada no Norte Fluminense considerando normas da ABNT. Com os resultados obtidos pela aplicação do CEQ, verificou-se que a empresa era incapaz de fornecer concreto dentro das especificações, então foi aplicado o método ISHIKAWA-AHP para identificação da causa principal do problema. Verificou-se que a causa que mais estava interferindo na resistência à compressão do concreto era a proporção do cimento, e as ações que melhor iriam inibi-la seriam “Controlar com maior rigidez a quantidade de cimento utilizada” e “Reavaliar a quantidade de água”. Ficou claro que o método ISHIKAWA-AHP em conjunto das ferramentas do CEQ, podem ser utilizadas para a melhoria contínua da capacidade do processo de produção do concreto.*

**Palavras-chave:** Controle Estatístico da Qualidade (CEQ), Resistência à compressão do concreto, AHP, Ishikawa.

## 1. Introdução

Um dos materiais mais utilizados na construção civil no Brasil é o concreto, tanto pela generalização de seu uso, quanto pelos aspectos econômicos. Desta forma sendo extremamente necessário haver um controle de qualidade na produção deste material devido a sua importância no mercado. A composição do concreto é indispensável para a sua qualidade, onde de acordo com Vieira (2003), um dos principais parâmetros fundamentais definidor da qualidade do concreto é a resistência à compressão.

De acordo com o Dieese (2010), a construção civil tem sido um dos principais impulsionadores do crescimento econômico atual, dados do IBGE (2011) confirmam que a construção civil cresceu 11,6% no ano de 2010 em comparação com o ano de 2009.

Neste artigo investiga-se eficiência do processo de produção de uma empresa de concretagem por meio das ferramentas do Controle Estatístico da Qualidade (CEQ). É possível fazer uma avaliação da eficiência do processo da empresa e saber se o concreto executado está atendendo às especificações do cliente, de acordo com a metodologia da ABNT.

O problema abordado envolve o valor da resistência à compressão do concreto conforme o nível da eficiência do processo da empresa de concretagem analisada, pois com base nos dados da empresa de concretagem, é possível perceber a variação do valor da resistência de uma massa para outra de mesmo  $F_{ck}$  (resistência inferior a compressão), exigido pelos clientes.

Neste artigo investiga-se eficiência do processo de produção de uma empresa de concretagem por meio das ferramentas do Controle Estatístico da Qualidade (CEQ), verificando se está atendendo às especificações do cliente, de acordo com a metodologia da ABNT. Em caso de não conformidade, é utilizado um tratamento multicritério para apontamento da causa-raiz.

O problema abordado envolve o valor da resistência à compressão do concreto conforme o nível da eficiência do processo da empresa de concretagem analisada, pois com base nos dados da empresa de concretagem, é possível perceber a variação do valor da resistência de uma massa para outra de mesmo  $F_{ck}$  (resistência inferior a compressão), exigido pelos clientes.

Para se determinar o nível de resistência do concreto, é necessário obedecer às normas brasileiras 6118, 12655 e 5738 da ABNT (2003, 2006, 2007), na qual afirmam os procedimentos técnicos que devem ser seguidos para a avaliação.

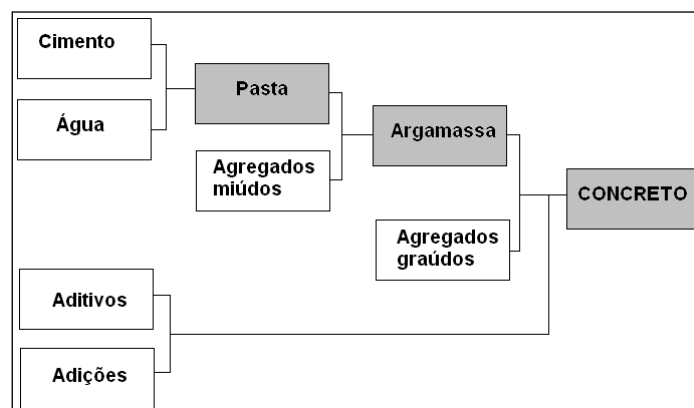
Este trabalho não se ocupa em explicar em detalhes tanto o AHP, quanto o diagrama de Ishikawa, bem como sua integração. Explicações detalhadas acerca destes temas podem ser encontradas em Saaty (1977, 1991), Ishikawa (1993) e Hora e Costa (2009, 2011), respectivamente.

## 2. Qualidade na produção de concreto

### 2.1. Composição do Concreto

Segundo Helene (1986), o concreto pode ser definido com um material formado pela mistura de cimento, água, agregado graúdo (brita ou cascalho) e agregado miúdo (areia). Lima *et al.* (2003), completam dizendo que se pode ainda, adicionar outros materiais com o objetivo de atingir propriedades específicas para o concreto, tais como: adições minerais, fibras, polímeros etc., como ilustra a Figura 1.

Figura 1: Sequência da obtenção do concreto



Fonte: LIMA *et al.*, 2003.

### 2.2. Resistência do Concreto

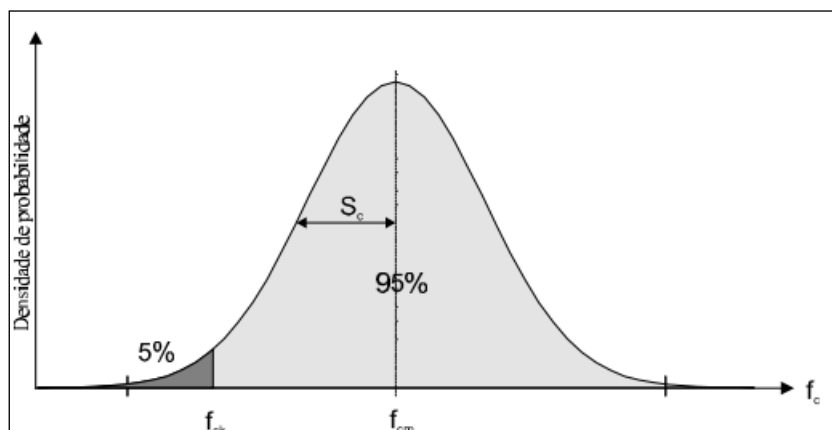
Segundo Helene (1986), a propriedade do concreto que melhor o qualifica, é a resistência à compressão, porém são vários os fatores que intervêm na resistência à compressão do concreto da estrutura; desde a heterogeneidade dos materiais, até o transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto na obra. No entanto, a resistência à compressão do concreto se restringe à resistência potencial do concreto, medida na boca da betoneira.

Sempre que se pretende controlar a qualidade de um determinado produto, é essencial que se estabeleçam quais as características que irão defini-la, e quais os valores que estas devem assumir. O controle da resistência à compressão constitui um parâmetro da maior relevância para a garantia da segurança e durabilidade das estruturas de concreto. Embora a qualidade do concreto não seja identificada somente pela sua resistência à compressão axial, este parâmetro é de importância fundamental na avaliação da qualidade do concreto como produto final (CERQUEIRA, 2010). A resistência à compressão simples do concreto é, em geral, determinada em corpos de prova (CP) cilíndricos padronizados com idade de 28 dias (CERQUEIRA, 2010; HELENE, 1986).

### 2.3. Normas e Especificações da ABNT

A NBR 6118 estabelece os requisitos básicos necessários para projetos de estruturas de concreto. Onde deve-se considerar que a característica de qualidade do processo, esteja entre o limite inferior e o limite superior de especificação, ou seja especificação bilateral, tendo o  $F_{ck}$  o valor da resistência que tem 5% de probabilidade de não ser alcançado, em ensaios de corpos de prova de um determinado lote de concreto (ABNT, 2007).

Figura 2: Curva normal de distribuição da resistência à compressão do concreto.



Fonte: Helene (1986).

De acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2006), o corpo de prova deve possuir dimensões de 100 mm por 200 mm ou 150 mm por 300 mm de diâmetro e altura, respectivamente, além disso, para se obter a resistência à compressão do concreto, o

corpo de prova (CP) deverá ser mantido em processo de cura úmida até a idade de ensaio, devendo ser rompido saturado. Onde o valor do resultado deverá ser expresso em Megapascal (MPa), igual a kgf/cm<sup>2</sup>, além disso o concreto quando produzido com os mesmos materiais, mesmos equipamentos e sob condições similares de produção, o desvio padrão deve ser calculado com base em no mínimo, 20 resultados consecutivos obtidos no intervalo de 30 dias.

Segundo NBR 5738 (ABNT, 2003) cada exemplar deve ser constituído por dois corpos de prova da mesma massada e devendo ser moldados no mesmo ato. Toma-se como resistência do exemplar o maior dos dois valores obtidos no ensaio, pois se julga que o valor mais alto foi menos afetado negativamente pelas operações de ensaio e representa melhor a resistência potencial do concreto.

### **3. Gráficos para Controle Estatístico da Qualidade**

Os gráficos de controle são as ferramentas principais utilizadas no controle estatístico de processo e têm como objetivo, detectar desvios de parâmetros representativos do processo, reduzindo a quantidade de produtos fora de especificações e os custos de produção (HINES *et al.*, 2006).

De acordo com Pires (2000), as cartas de controle permitem o monitoramento de variáveis (características de qualidade expressa em valores contínuos) ou atributos (características de qualidade expressas como presença ou ausência do atributo), que determinam o desempenho do processo. Além disso, a utilização de cartas de controle de processo apresenta vantagens como i) Prevenir a incidência de defeitos; ii) Evitar ajustes desnecessários no processo; iii) Proporcionar aumentos de produtividade; e iv) Fornecer um diagnóstico da situação atual dos processos.

#### **3.1. Gráfico de Observação Individual e Amplitude Móvel (IMR)**

De acordo com Ishikawa (1993), a utilização de cartas de controle para valores individuais, apresenta algumas vantagens, tais como:

- Cada ponto é marcado assim que é coletado, o que permite que os estados do processo sejam avaliados e ações possam ser tomadas em menor tempo;
- Quando existe uma grande flutuação ou periodicidade em um processo ou quando a média do processo sofre uma mudança abrupta, esse tipo de carta mostra, claramente, como a mudança ocorre.

### 3.2. Capacidade do Processo

A capacidade do processo refere-se à uniformidade e a variabilidade do processo e é uma medida da uniformidade do resultado obtido, que por sua vez, permitirá avaliar a sua qualidade. Quando o analista pode observar diretamente o processo e controla/monitorea a aquisição dos dados conhecendo então a seqüência dos dados no tempo, ele pode fazer inferências sobre a estabilidade do processo ao longo do tempo (MONTGOMERY, 2004; SAMOHYL, 2009).

De acordo com Schlünzen Jr. (2003), calculada a capacidade do processo, existem quatro casos possíveis de serem encontrados conforme Quadro 1.

Quadro 1: Quadro da Capacidade de Produção.

		Capacidade do Processo	
		Capaz	Incapaz
Controle da Produção	Sob Controle	CASO 1	CASO 2
	Fora de Controle	CASO 3	CASO 4

Fonte: Schlünzen Jr., 2003.

- Caso 1: Processo estável (sob controle) e capaz: Situação adequada. Não há pontos fora dos limites de controle e os índices  $C_p$  e  $C_{pk}$  estão iguais ou superiores a 1,33;
- Caso 2: Processo estável (sob controle), porém incapaz: nesse caso o processo não é capaz de produzir dentro dos limites de especificação;
- Caso 3: Processo instável (fora de controle), mas capaz: o processo é capaz de produzir de acordo com as especificações, no entanto, apresenta em determinados momentos instabilidade como pontos fora dos limites de controle;
- Caso 4: Processo instável (fora de controle) e incapaz: esta é a pior situação que se pode ter e indica sérios problemas no processo.

## 4. Materiais e Métodos

### 4.1. Procedimentos Metodológicos

Na criação dos limites de especificação para o controle estatístico da resistência à compressão do concreto, utiliza-se o teste por amostragem parcial para lotes, com números de exemplares  $n > 20$ , conforme descrito pela NBR 12655 (ABNT, 2006) e como ferramenta para o controle estatístico, são utilizados os gráficos de controle.

De acordo com Pires (2000), os gráficos de controle são as principais ferramentas utilizadas para controlar um processo. O objetivo dos gráficos de controle é possibilitar uma avaliação da estabilidade do processo e identificação de causas especiais de variação.

Pires (2000) ainda sugere a utilização dos índices de capacidade do processo, que permitem prever o quanto um processo irá atender às especificações; reduzir a variabilidade no processo de fabricação; além de otimizar a produtividade e a qualidade.

Após a avaliação, utiliza-se o diagrama de Ishikawa (causa e efeito), para separar a causa do efeito do problema no processo de fabricação do concreto, pois o diagrama de Ishikawa é um método simples e prático, além de eficiente (ISHIKAWA, 1993; PARANHOS FILHO, 2007; SELEME & STADLER, 2008).

Para auxiliar na escolha da causa que maior afeta o processo e da ação mais eficiente para o problema, é utilizado o método AHP, pois na opinião de Saaty (1977, 1991), o método AHP, permite a escolha da melhor alternativa de decisão e considera múltiplos critérios, expressos por meio de valores qualitativos ou quantitativos.

O método de integração entre o AHP e o diagrama de Ishikawa utilizado como parte da abordagem metodológica neste trabalho é proposto em Hora e Costa (2009, 2011), onde as técnicas qualitativas de hierarquização de não-conformidades são associadas aos procedimentos do Método da Análise Hierárquica para definir, potencialmente, qual é o problema mais grave, e qual é a ação que causa maior impacto nos problemas.

A avaliação paritária inerente ao método AHP é realizada por consulta a um engenheiro civil, com atuação em obras, mestrado em Engenharia Civil e Doutorado em Engenharia Industrial, assumindo este a responsabilidade de decisor ao emitir os julgamentos necessários. A coleta de dados é considerada confiável, pelo fato do consultado ser especialista no assunto (HORA *et al.*, 2010).

#### **4.2. Procedimentos Técnicos**

Devido às características de processo contínuo, não é possível a formação de subgrupo amostral, e por isto, indica-se a técnica de controle por amplitude móvel (IMR – *Individual Mobile Range*) (RAMOS, 2000).

#### 4.2.1. Controle Estatístico do Concreto

Nesse tipo de controle são retirados exemplares de algumas betoneiras de concreto, para lotes com número de exemplares  $n > 20$ , o valor estimado da resistência característica à compressão ( $F_{ckest}$ ), na idade especificada é dado por (1):

$$F_{ckest} = F_{cm} - 1,65 \times S_d \quad (1)$$

Onde (ABNT, 2007):

- $F_{cm}$  é a resistência média dos exemplares do lote, em Megapascal (MPa);
- $S_d$  é o desvio padrão da dosagem;
- O valor 1,65 corresponde aos 5% dos corpos de prova que possuem  $F_c < F_{ck}$ .

#### 4.2.2. Determinação dos Limites de Controle do Processo

Para a determinação dos limites de controle são necessárias três etapas. A 1ª etapa consiste na definição dos valores que são utilizados, neste caso, a resistência, e calcular a média das variáveis individuais e definir a média dos valores (Equação 2).

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad I_{MR} = |x_i - x_{i+1}| \quad (2)$$

A 2ª etapa consiste na determinação do desvio padrão. De acordo com Costa *et al.*, (2005), o desvio padrão para o gráfico da amplitude móvel pode ser calculado conforme apresentado na Equação 3.

$$S_d = \frac{\bar{I}_{MR}}{d_2} \quad (3).$$

Onde o valor de  $d_2$  é igual a 1,128, por se tratar do gráfico da amplitude móvel (COSTA *et al.*, 2005; MONTGOMERY, 2004). Para se calcular o desvio padrão da amplitude móvel, deve-se utilizar o  $d_3$  com o valor de  $n=2$ , na Equação 4 (SAMOHYL, 2009).

$$\sigma_R = d_3 \times \sigma_x \quad (4)$$

Na 3ª e última etapa é feita enfim a definição dos limites de controle, tanto para o controle de posição (média), quanto para dispersão (amplitude móvel), conforme a Equação 5.

$$\begin{aligned} LSC_x &= \bar{X} + 3 \cdot \sigma_x & LSC_R &= \bar{X} + 3 \cdot \sigma_R \\ LIC_x &= \bar{X} - 3 \cdot \sigma_x & LIC_R &= \bar{X} - 3 \cdot \sigma_R \end{aligned} \quad (5)$$

Onde LSC é o Limite superior de controle e LIC é o Limite inferior de controle.



### 4.2.3. Capacidade de Processo

A capacidade de um processo corresponde à sua probabilidade de satisfazer às expectativas dos consumidores, dadas em termos das especificações definidas para os produtos por ele produzidos (MONTGOMERY, 2004; PIRES, 2000).

Para que se possa avaliar o nível de processo é necessário utilizar os índices de capacidade do processo (ICP), no qual são parâmetros adimensionais que indiretamente medem o quanto o processo consegue atender às especificações. Atualmente os mais utilizados nas indústrias são os Cp, Cpk e Cpm (COSTA *et al.*, 2005; MONTGOMERY, 2004; SAMOBYL, 2009).

De forma geral, quando os ICP's forem maiores que um, o processo é “capaz”, e quando os (ICP's) forem menores que um o processo é considerado incapaz, assumindo que a distribuição é normal (SAMOBYL, 2009).

Costa *et al.* (2005), explicam ainda que o índice Cp deve ser usado quando o processo estiver centralizado, ou seja, quando o ponto médio dos limites de especificação coincidir com o ponto médio dos limites de controle. Já o Cpk deverá ser utilizado seguindo o mesmo princípio que o Cp, porém adaptado à realidade de processos descentralizados. Já o índice Cpm visa penalizar mais a descentralização do processo do que a produção fora da especificação.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad / \quad C_{pk} = \min\left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - LIE}{3\sigma}\right) \quad / \quad C_m = \frac{LSE - LIE}{6 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (d - \mu)^2}} \quad (6)$$

### 4.3. Análise dos Resultados

Os índices de capacidade de processo (ICP) correspondem à sua probabilidade de satisfazer às expectativas dos clientes, dadas em termo das especificações definidas para os produtos por ele produzidos. Primeiramente, há a definição dos limites de controle onde há uma crítica ao controle da qualidade, em seguida os resultados são analisados de acordo com as faixas de valores da capacidade de processo (COSTA *et al.*, 2005; MONTGOMERY, 2004), apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Valores mínimos recomendados da razão da capacidade do processo.

Interpretação	Valor do ICP
Capaz	$ICP \geq 1,33$
Razoavelmente capaz	$1,00 < ICP < 1,33$
Incapaz	$ICP \leq 1,00$

## 5. Estudo de Caso

### 5.1. Caracterização do Objeto de Estudo

O presente estudo analisa uma prestadora de serviços de concretagem, que atende ao mercado nacional e internacional. Possui no Brasil, cerca de 150 centrais fixas e dispõe ainda de centrais móveis para obras especiais, montadas diretamente no canteiro de obras, além de filiais fora do Brasil. No estado do Rio de Janeiro possui 16 filiais espalhadas em várias cidades como: Araruama, Cabo Frio, Macaé, Rio das Ostras, Teresópolis, Campos dos Goytacazes (Filial base de coleta dos dados), entre outras.

A filial em estudo se localiza na cidade de Campos dos Goytacazes, onde possui uma produção mensal média de 5.000 m<sup>3</sup> de concreto, tendo um processo de produção intermitente, pois a produção do concreto depende da especificação do cliente, sendo composta por aproximadamente 30 colaboradores, entre motoristas e ajudantes de caminhões betoneira e caminhões bomba, operador de pá carregadeira, o responsável pelo laboratório, programador-balanceiro, setor administrativo e gerente. Havendo também aproximadamente 16 equipamentos para trabalho, sendo estes em torno de 12 caminhões betoneira, três caminhões bomba e uma pá carregadeira. Atendendo desde pequenas obras, como lajes, calçadas, pisos (particulares), até obras de maior porte, como prédios, pontes, *shopping centers* etc.

### 5.2. Resultados e Discussão

Para o presente estudo foram utilizadas 76 amostras com idade de 28 dias, pois na opinião de Leonhardt e Monnig (1982), é nesse período que o concreto chega a cerca de 60 a 90% de sua resistência, desta forma sendo o melhor período para se fazer uma avaliação.

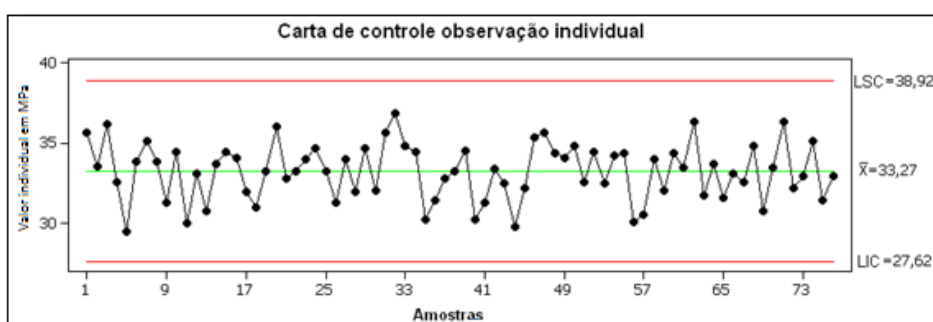
O período da produção analisada neste estudo foi do mês de janeiro de 2010, para o estudo do controle de produção é utilizado à carta de controle para valores individuais e para amplitude móvel, onde se utiliza para a geração da carta de controle e o gráfico de capacidade do processo o software Minitab 15, pois é possível obter-se resultados com precisão. O objeto de estudo é o concreto onde se avalia sua qualidade através da resistência à compressão, pois de acordo com Helene (1986), é uma das características mais importante do concreto.

O estudo do controle de produção e a capacidade do processo, onde as formulas para a criação dos limites de controle e limites de especificação foram definidos na metodologia, são apresentados a seguir.

### 5.3. Carta de Controle da Resistência do Concreto

Na Figura 3 é apresentada a carta de controle por observação individual com o limite superior de controle = 38,92; a média = 33,27 e o limite superior de controle = 27,62.

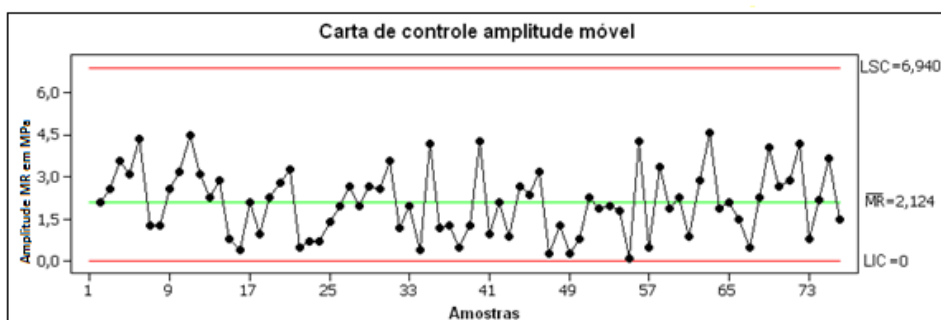
Figura 3: Carta de controle das amostras de resistência à compressão do concreto.



Fonte: os autores.

Na Figura 4 é apresentada a carta de controle amplitude móvel com o limite superior de controle = 6,940; a média da amplitude móvel = 2,124 e o limite inferior de controle = 0.

Figura 4: Carta de controle amplitude móvel da resistência à compressão do concreto.



Fonte: os autores.

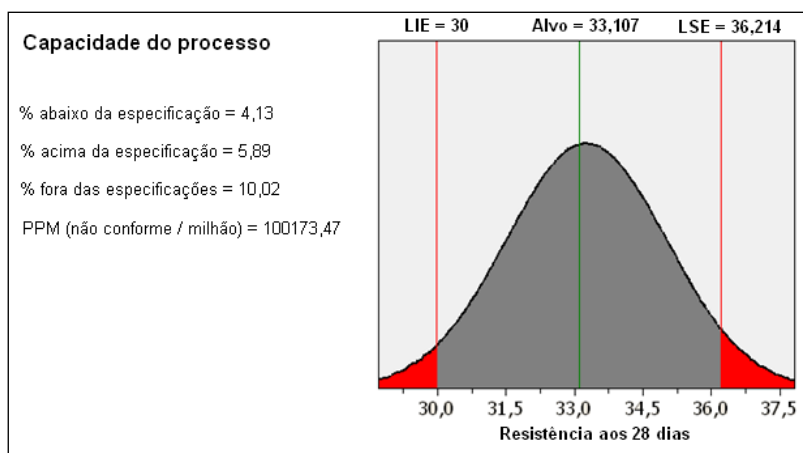
Nos gráficos de observação individual e amplitude móvel visto acima, é possível observar logo na primeira tentativa, de que o processo de produção da empresa de concretagem no mês de janeiro de 2010 encontra-se sob controle, não havendo causas especiais no processo. Desta forma não sendo necessário fazer nenhum ajuste para

posteriormente avaliar a eficiência do processo, pois a estabilidade do processo é condição necessária para se fazer uma avaliação, podendo haver apenas causas comuns.

#### 5.4. Avaliação da eficiência do processo por meio da capacidade do processo

O resultado da avaliação da capacidade do processo é apresentado na Figura 5.

Figura 5: Capacidade do processo da empresa de concretagem no mês de Janeiro de 2010.



Fonte: Os autores.

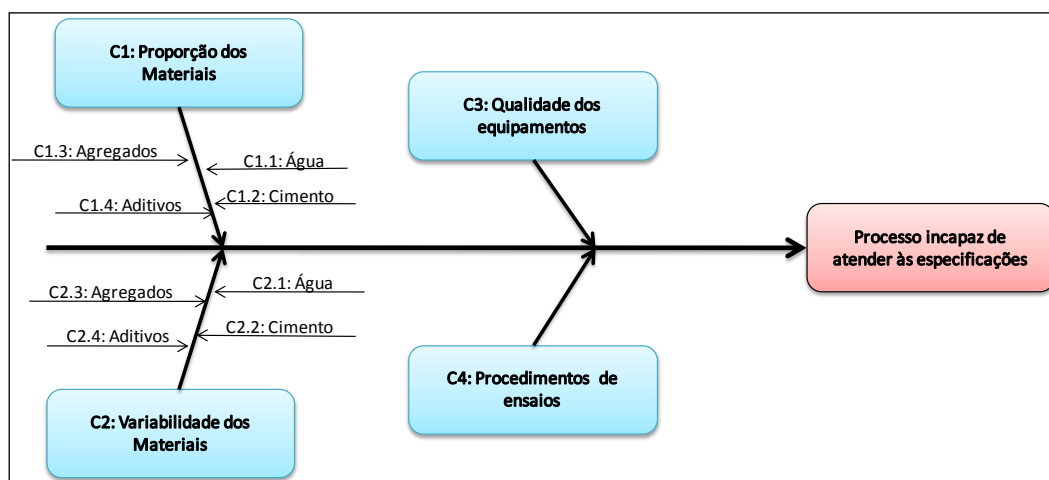
No gráfico da capacidade do processo (Figura 5) observa-se que o processo está descentralizado estando acima do alvo, como confirmado pelo índice ( $C_{pm} = 0,59$ ), que penaliza a descentralização, o processo também, se encontra com grande parte da produção fora dos limites de especificação identificada na parte vermelha e confirmada pelo índice ( $C_{pk} = 0,52$ ) e o índice ( $C_p = 0,55$ ) indica que a distribuição normal não cabe dentro da especificação, desta forma o resultado encontrado mostra que estão sendo produzidas aproximadamente 10% das amassadas de concreto fora da especificação.

#### 5.5. Primeira Fase do ISHIKAWA-AHP: estruturação da hierarquia por Ishikawa

De acordo com Helene e Terzian (1992), os fatores que mais influenciam na resistência à compressão do concreto são: variabilidade do cimento, dos agregados, da água, dos aditivos e da proporção relativa desses materiais; qualidade e operação dos equipamentos de dosagem e mistura; eficiência das operações de ensaio e controle.

A partir desta afirmação, é feita uma análise destas prováveis causas que estão interferindo na capacidade do processo da empresa de concretagem, através do diagrama de causa e efeito (Figura 6).

Figura 6: Diagrama de Ishikawa com as causas que mais estão influenciando na capacidade do processo.



Fonte: Os autores.

Após a análise do diagrama de causa efeito, são definidas as causas mais prováveis da incapacidade do processo (foco) e as ações para inibi-las, conforme o Quadro 2.

Quadro 2: Causas mais provável e ações corretivas.

Causa mais provável	Ações corretivas propostas
C1 – Variabilidade dos Materiais C1.1 – Água C1.2 – Cimento C1.3 – Agregados C1.4 – Aditivos	A1 – Armazenamento dos componentes em ambientes ideais. A2 – Reavaliar a fórmula que indica a quantidade de componentes necessária.
C2 – Proporção dos Materiais C2.1 – Água C2.2 – Cimento C2.3 – Agregados C2.4 – Aditivos	A3 – Controlar com maior rigidez a quantidade de cimento utilizada. A4 – Reavaliar a quantidade de água.
C3 – Qualidade dos Equipamentos	A5 – Realizar manutenções periódicas nos equipamentos, para garantir seu funcionamento adequado.
C4 – Procedimentos de Ensaios	A6 – Seguir as etapas de maneira correta seguindo as normas da ABNT.

Fonte: Os autores.

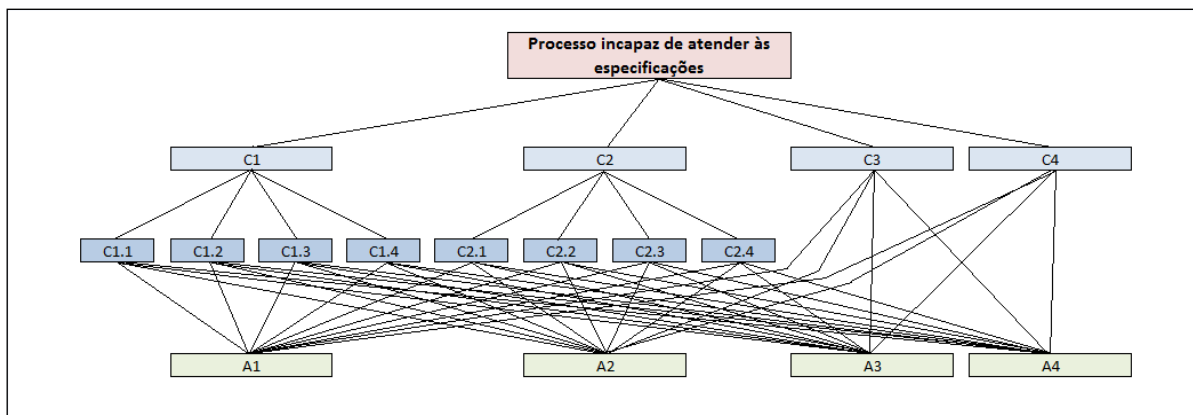
Através das informações acima, é possível avaliar a causa que mais interfere na resistência à compressão do concreto e a ação que agirá com maior eficiência no foco e para isso é utilizado o método integrado entre o diagrama de Ishikawa e o AHP proposto por Hora e Costa (2009, 2011).

## 5.6. Segunda fase do ISHIKAWA-AHP: aplicação do método AHP

A Figura 7 apresenta a estruturação do problema abordado (processo incapaz de atender às especificações), hierarquizado pelo diagrama de Ishikawa para a aplicação do

Método AHP. Como as ações A5 e A6 não influenciam o resultado avaliado, pois não estão relacionadas à causa principal, foram removidas da hierarquia.

Figura 7: Modelagem do problema segundo a proposta de Hora e Costa (2009, 2011).



Fonte: Os autores.

Os julgamentos para as causas e ações foram feitas por meio de entrevista a especialistas no assunto através de um questionário, onde os especialistas compararam as causas de acordo com a sua influência no processo da fabricação do concreto.

Tabela 2: Resultado da aplicação do AHP de acordo com Hora e Costa (2009, 2011).

	<b>Foco</b>		<b>C2</b>		<b>C2.2</b>
<b>C1</b>	0,088	<b>C2.1</b>	0,233	<b>A1</b>	0,178
<b>C2</b>	0,668	<b>C2.2</b>	0,300	<b>A2</b>	0,043
<b>C3</b>	0,101	<b>C2.3</b>	0,068	<b>A3</b>	0,390
<b>C4</b>	0,143	<b>C2.4</b>	0,068	<b>A4</b>	0,390
(i)		(ii)		(iii)	

Fonte: Os autores.

Com isso o resultado das comparações das causas relacionadas com o problema aponta a causa C2.2 (proporção do cimento) como a mais provável. Já as ações que agirão com maior eficiência considerando as causas levantadas são A3 (Controlar com maior rigidez a quantidade de cimento utilizada) e A4 (Reavaliar a quantidade de água).

Não foram encontradas inconsistências relevantes, pois o valor encontrado de 0,03 ou 3% não compromete o resultado e é considerado admissível dentro da capacidade da compreensão humana (SAATY, 1991).

## 6. Conclusões

Este trabalho utilizou as ferramentas do CEQ, com o intuito de avaliar a eficiência do processo de uma empresa de concretagem do Norte Fluminense, através da resistência á compressão do concreto. Com os resultados obtidos, utilizou-se o método AHP para que pudesse descobrir a causa que mais estava interferindo na capacidade do processo e dentre as ações levantadas, a que fosse mais eficiente para inibi-la.

Os resultados mostraram que mesmo o processo estando sob controle, a empresa foi incapaz de fornecer concreto com resistência dentro das especificações dos clientes e seguindo a metodologia da ABNT, com isso o processo se enquadrando no caso 2, conforme verificado nos índices da capacidade do processo. Além disto, a proporção do cimento era a causa mais influente na sua capacidade do processo, já as ações que melhor irá inibi-la são “Controlar com maior rigidez a quantidade de cimento utilizada” e “Reavaliar a quantidade de água”.

Através do estudo realizado verificou-se que as ferramentas do CEQ e a proposta Ishikawa-AHP (HORA & COSTA, 2009, 2011) são de extrema importância quando se deseja fazer um melhoramento contínuo da capacidade do processo, podendo assim estar monitorando a produção constantemente e agindo sempre no alvo do problema com as melhores ações.

Recomenda-se para trabalhos posteriores o acompanhamento de todas as etapas e processos de fabricação do concreto, para que haja um conhecimento mais detalhado dos problemas que poderão ocorrer no processo, assim podendo elaborar um plano de ação mais efetivo. Além disso, sugere-se como melhoria a realização de um estudo posterior para a verificação da eficácia da implementação dos métodos utilizados neste trabalho.

## Referências

ABNT. NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro: **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 2003.

ABNT. NBR 12655 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro: **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 2006.

ABNT. NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 2007.

CERQUEIRA, F. C. D. Controle Estatístico da Resistência à Compressão do Concreto. **Revista Tecnologia**, v. 21, n. 1, 8 fev. 2010.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle Estatístico de Qualidade**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

DIEESE. Crescimento do setor da construção civil favorece a expansão de postos de trabalho e do rendimento: Trabalho e Construção. São Paulo. **DIEESE**, 2010. Disponível em: <<http://www.dieese.org.br/boletimtrabalhoeconstrucao/2010/2010boletimConstrucaoCivil4.pdf>>. Acesso em: 2 ago. 2014.

HELENE, P. H. L. **Controle de qualidade do concreto**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1986. Disponível em: <[http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT\\_00003.pdf](http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00003.pdf)>. Acesso em: 7 abr. 2012.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

HINES, W. W.; MONTGOMERY, D. C.; GOLDSMAN, D. M.; BORROR, C. M. **Probabilidade e estatística na engenharia**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

HORA, H. R. M. DA; MONTEIRO, G. T. R.; ARICA, J. Confiabilidade em Questionários para Qualidade: Um Estudo com o Coeficiente Alfa de Cronbach. **Produto & Produção**, v. 11, n. 2, 24 jun. 2010.

HORA, H. R. M.; COSTA, H. G. Tomada de decisão no MASP: uma contribuição para decisões utilizando a matriz AHP. In: XXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais**. Salvador: ABEPRO, 2009

HORA, H. R. M.; COSTA, H. G. Hierarquização de problema no MASP: a interação entre o diagrama de causa-e-efeito e o método AHP. In: VI Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia. **Anais...** Maputo/Moçambique: INEGI, 2011

IBGE. Em 2010, PIB varia 7,5% e fica em R\$ 3,675 trilhões. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 3 mar. 2011. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/20RDQ>>. Acesso em: 6 ago. 2013

ISHIKAWA, K. **Controle de qualidade total à maneira japonesa**. Rio de Janeiro: Campus, 1993.

LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. **Construções de Concreto - Princípios Básicos do Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado**. Rio de Janeiro: Interciência, 1982. v. 1

LIMA, F. B.; BARBOZA, A. S. R.; GOMES, P. C. C. **Produção e controle de qualidade do concreto**. 1. ed. Maceió: UFAL, 2003.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

PARANHOS FILHO, M. **Gestão da produção industrial**. Curitiba: Ibpex, 2007.

PIRES, V. T. Implantação do controle estatístico de processos em uma empresa de manufatura de óleo de arroz. **Dissertação**. Mestrado em Engenharia de Produção, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2000.

RAMOS, A. W. **CEP para processos contínuos e em bateladas**. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234–281, jun. 1977.

SAATY, T. L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: Makron, 1991.

SAMOHYL, R. W. **Controle estatístico de qualidade**. Rio de Janeiro: Campus, 2009.



SCHLÜNZEN JR., K. **Aprendizagem, cultura e tecnologia: desenvolvimento potencialidades corporativas**. São Paulo (SP): UNESP, 2003.

SELEME, R.; STADLER, H. **Controle de Qualidade: as ferramentas essenciais**. São Paulo: Editora Ibplex, 2008.

VIEIRA, G. **Cálculo de concreto armado**. v. 1 Pernambuco: UFPE, 2003.

## AN INTEGRATED EVALUATION WITH SPC, ISHIKAWA AND AHP TECHNIQUES IN A CONCRETING COMPANY

### Abstract

*The concrete in Brazil nowadays is one of the main products used in construction and the compressive strength is a major quality parameters defining. This study evaluates the concrete company production efficiency, located in Northern Fluminense, considering the ABNT normative specifications. The results obtained using SPC shows that the company was unable to provide concrete within specifications, then we applied the ISHIKAWA-AHP method that integrates the Ishikawa diagram and AHP to identify the main cause of the problem. It was found that the cause what most interfering with the compressive strength of concrete was the cement proportion, since the actions that will inhibit it will be best "control with greater rigidity the amount of cement used" and "reassessing the quantity of water". It was clear that the ISHIKAWA-AHP together the SPC tools can be used for continuous capacity improvement of the concrete production process.*

**Keywords:** *Statistical Process Control (SPC), Compressive strength of concrete, AHP, Ishikawa.*