

# CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO DE LOTES

*Ing. María Fernanda Quintana Ytza*

Ingeniera Civil

Universidad de Montevideo

## 1. INTRODUCCIÓN<sup>1</sup>

Con base en el trabajo de WAHRHAFTIG, A; BERGER, D. e STUCCHI, F.R., la presente investigación busca mostrar los conceptos desarrollados en el estudio y sugestión de ajuste a la norma NBR12655/1995 (Norma Brasileira) para minimizar el rechazo de lotes aceptables.

También se intentará establecer posibles intervalos  $\Psi$  (multiplicador presente en la norma actual), para diferentes resistencias de hormigón. Estos valores tendrán como limite las curvas características de operación o curvas de eficiencia presentes en la CEB (*Comité Européen du Béton*).

Serán explicados los criterios existentes en la norma actual y la propuesta desarrollada por los autores ya citados. Además del análisis para los hormigones de resistencia a la compresión de 25 MPa, 35 MPa, 60 MPa y 70 MPa.

La norma actual NBR 12655 hace uso de la función estimadora conocida como estimador español, se fundamenta en el control del  $f_{ck,est}$  tomado como representativo de la parte inferior de 5% de la distribución normal. En general el hormigón es aceptado si el  $f_{ck}$  de proyecto esta encima del  $f_{ck,est}$  con base en este estimador.

La nueva propuesta tuvo como base simulaciones de Monte Carlo, con lotes de ensayo de 6, 12 e 19 ejemplares, de modo de proponer la aceptación de lotes para diferentes relaciones entre hormigones

producidos y estimativas de resistencias basadas en la media y en el desvío patrón de 10%, analizándose el estimador y la convergencia del  $\Psi_6$  (WAHRHAFTIG et alli, 2004).

También se hará la aplicación de la nueva propuesta a la CEB (*Comité Européen du Béton*), en que se proponen limites para la grafica de las curvas de eficiencia o de las curvas características de operación.

## 2. NBR 12655 – APLICACIÓN DE LA NORMA ACTUAL

### 2.1 Estimadores de resistencia del hormigón

La NBR 12655, publicada en 1995, trata de la normalización de las condiciones de preparación, del control de recepción del hormigón para la ejecución de estructuras tanto de hormigón armado como de pretensado.

Para la aceptación del hormigón, esta norma prevé dos etapas. La primera es la aceptación del hormigón fresco, que es provisoria, después la aceptación definitiva que es realizada por ensayos de control de aceptación del concreto.

La NBR 12655 también prevé que la composición de cada hormigón a ser utilizado en la obra sea definida en una dosificación racional y experimental antes del llenado en la obra.

La resistencia de la dosificación debe atender las condiciones de variabilidad prevalecientes durante la construcción. Esta variabilidad es medida por el desvío patrón  $S_d$ .

Así  $f_{cj}$ , que es la resistencia media del hormigón a compresión, prevista para la edad de  $j$  días en MPa, es obtenida por la siguiente ecuación:

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \cdot S_d$$

<sup>1</sup> Alumna de Postgrado de la UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA. DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS E FUNDAÇÕES. Prof. Dr. Fernando Rebouças Stucchi. Trabajo del Seminario presentado a la Escuela Politécnica de la Universidad de San Pablo en la disciplina PEF 5738. Acciones y Seguridad de las Estructuras

Donde:  $f_{ck}$  es la resistencia característica del hormigón a compresión en MPa.

El  $S_d$  adoptado no debe ser menor que 2 MPa y en el caso que se sepan las condiciones de preparación del hormigón, la norma actual presenta la tabla 1 con los valores a ser utilizados.

**Tabla 1** – Desvío patrón a ser adoptado en función de la condición de preparación del hormigón.

Condición de preparación del hormigón	Desvío-patrón MPa
A	4,0
B	5,5
C*	7,0

Para la condición de preparación C, y mientras no se conozca el desvío patrón, se exige para los hormigones de clase C15 el consumo mínimo de 350 kg de cemento por metro cúbico.

Fuente: NBR12655/1996, p.6.

Una de las variables para el cálculo de la resistencia de la dosificación del hormigón es su condición de preparación.

La NBR 12655 establece tres condiciones.

La **condición A** es aplicable a las clases C10 hasta C80, en que el cemento y los agregados son medidos en masa, el agua es medida en masa o volumen con un dispositivo de dosificación y corregida en función de la humedad de los agregados.

La **condición B** es aplicable a las clases C10 hasta C25, en que el cemento es medido en masa, el agua es medida en volumen mediante un dispositivo de dosificación y los agregados medidos en masa combinada con volumen.

Y también es aplicable a las clases C10 hasta C20, cuando el cemento es medido en masa, el agua es medida en volumen mediante un

dispositivo de dosificación y los agregados medidos en volumen

Finalmente, la **condición C** es aplicable apenas a los hormigones de clase C10 e C15, en que el cemento es medido en masa, los agregados son medidos en volumen, el agua de es medida en volumen y su cantidad es corregida en función de la estimativa de humedad de los agregados y de la determinación de la consistencia del hormigón.

## 2.2 Cálculo del valor estimado de la resistencia característica $f_{ckest}$ de los lotes de hormigón

### 2.2.1 Control estadístico del hormigón por muestras parciales.

Las muestras deben ser de por lo menos seis ejemplares para los hormigones del Grupo I (clases hasta 50 MPa) y doce ejemplares para los hormigones del Grupo II (clases superiores a 50 MPa).

Vale resaltar que cada ejemplar esta constituido por dos cuerpos de prueba de la misma hormigonada y que la resistencia del ejemplar es el mayor de los dos valores obtenidos en el ensayo.

Para lotes con números de ejemplares  $6 \leq n < 20$ , el valor estimado de la resistencia característica a la compresión,  $f_{ckest}$ , también llamado de **estimador español**, en la edad especificada, esta dado por:

$$f_{\alpha,est} = 2 \frac{(f_1 + f_2 + \dots + f_{n/2-1})}{n/2 - 1} - f_{n/2}$$

Donde:  $f_1, f_2 \dots f_m$  = valores de las resistencias de los ejemplares, en orden creciente.

Para el caso de un lote con seis ejemplares, el valor estimado de la resistencia característica a compresión,  $f_{ckest}$ , está dado por la ecuación:

$$f_{\alpha,est} = f_1 + f_2 - f_3$$

Siendo,

$$f_1 < f_2 < f_3$$

La norma advierte que valores de  $f_{ckest}$  menores que el producto  $\psi_6 f_i$ , no deben ser tomados. Por tanto,  $f_{ckest} \geq \psi_6 \cdot f_i$ .

Los valores de  $\psi_6$  están tabulados en la NBR 12655, en función de la condición de preparación del hormigón y del número de ejemplares de la muestra, admitiendo interpolación lineal.

**Tabla 2 – Valores de  $\psi_6$**

Condición de Preparación	Número de ejemplares (n)										
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	$\geq 16$
A	0,82	0,86	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,97	0,99	1,00	1,02
B ou C	0,75	0,80	0,84	0,87	0,89	0,91	0,93	0,96	0,98	1,00	1,02

Fuente: NBR12655/1996, p.7.

Ya para lotes con número ejemplares  $n \geq 20$ , basta estimar el valor de la resistencia característica a la compresión,  $f_{ckest}$ , por la ecuación:

$$f_{ckest} = f_{cm} - 1,65 \cdot S_d$$

Donde:

$f_{cm}$  es la resistencia media de los ejemplares del lote en MPa;  $S_d$  es el desvío patrón del lote para  $n-1$  resultados, en MPa.

### 2.2.2 Control estadístico del hormigón por muestras totales

Es utilizado en casos especiales, en el caso en que el responsable por la obra lo estime necesario. Se trata del ensayo de ejemplares, sin limitación de cada tirada de hormigón. El valor estimado de la resistencia característica a la compresión,  $f_{ckest}$ , es dado por la ecuación:

$$\text{Para } n \leq 20, f_{ckest} = f_i$$

$$\text{Para } n > 20, f_{ckest} = f_i$$

Donde:  $i = 0,05 n$ . Cuando el valor de  $i$  es una fracción, se adopta el número entero inmediatamente superior.

### 2.3 Criterio para aceptación y rechazo de los lotes

La NBR 12655 coloca como condición de aceptación o rechazo, el análisis de la relación entre el valor estimado de la resistencia

característica de los lotes de hormigón ( $f_{ckest}$ ) y la resistencia característica del hormigón a la compresión ( $f_{ck}$ ), que es el de proyecto.

Así, si  $f_{ckest} \geq f_{ck}$ , los lotes de hormigón deben ser aceptados.

En el caso de rechazo, se debe verificar nuevamente la estructura visando su aceptación, pudiendo ser utilizados los coeficientes de ponderación de las resistencias en el estado limite último.

Si fuera constatada la no conformidad final de parte o de toda la estructura, debe ser escogida una de las siguientes alternativas: determinar las restricciones de uso de la estructura; providenciar el proyecto de refuerzo; o decidir demolición parcial o total.

### 3. PROPUESTA PARA LA NUEVA NBR

Según el estudio de WAHRHAFTIG et alli (2004), la propuesta de cambio de la NBR 12655 implicaría nuevos procedimientos para la aceptación y rechazo del hormigón producido para las obras.

En el ensayo de la resistencia a la compresión, el hormigón de la estructura debe ser dividido en lotes que pertenezcan a una misma familia, por ejemplo, a cada semana de trabajo, a cada piso, etc.

El lote debe tener como mínimo cinco ejemplares se el hormigón es hasta la clase C50 y diez para clases superiores. El ejemplar es la media de las muestras y debe estar constituido con por lo menos dos cuerpos de prueba.

Para el acompañamiento de la producción, por ejemplo, para seis ejemplares, se propone:

$$f_{3,c} = \frac{\sum_{i=1}^3 f_i}{3}$$

Donde  $f_{3,c}$  es la media móvil de cualquiera de los tres resultados consecutivos, en MPa; con  $f_i$  siendo tres valores secuenciados y no ordenados para todos los casos. Entonces, para el caso de seis ejemplares se tendrán 4 medias móviles, en el

caso de 12 ejemplares serán 10 medias y por ultimo en el caso de 19 ejemplares serán 17 medias. Además de esto, otras verificaciones son necesarias para las muestras de los lotes.

Primero, todas las medias aritméticas de cualquiera de los tres resultados consecutivos deben atender a la condición:

$$f_{3c} \geq f_{ck,proj} + 0,7s$$

Donde: s es el desvío patrón en MPa.

En el caso contrario, el productor debe ser alertado, y lo mas importante es que la muestra es rechazada.

Si el desvío patrón no es conocido, se debe adoptar un valor tabulado en función de las condiciones de preparación del hormigón, de acuerdo con la tabla 3:

**Tabla 3:** Desvío-patrón a ser adoptado en el caso de desconocimiento del mismo de acuerdo con las condiciones de preparación del hormigón.

Condición de Preparación del hormigón	Desvío-patrón (MPa)	
	Clase de resistencia	
	C20 a C30	C35 a C90
A	3,0	0,09.fck
B	4,0	No aplicable
C	5,5	No aplicable

Fuente: STUCCHI, F.R.,2006

Además, ningún resultado individual de resistencia a la compresión, o sea, del ejemplar, debe ser menor que:

$$f \geq f_{ck,proj} - 2MPa$$

De lo contrario, la obra debe ser recalculada y se deben tomar las precauciones pertinentes en sentido de asegurar que la capacidad e carga de la estructura no sea perjudicada.

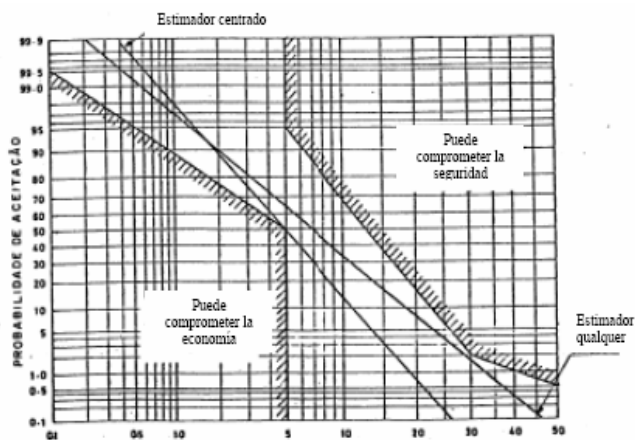
De este modo, f funciona como verificador y la condición citada en la ecuación encima, como criterio de aceptación o rechazo de los lotes.

Cabe destacar que en el caso de resultados bajos en los ensayos de resistencia, con los cálculos indicando que la capacidad de carga de la estructura está significativamente reducida, WAHRHAFTIG et alli (2004) resalta la necesidad de proceder a la extracción de testimonios de la región en cuestión para que sean ensayados a la compresión. La resistencia media de estos ensayos, debe ser mayor o igual a f<sub>ck</sub> y ninguna resistencia individual debe ser menor que f<sub>ck</sub> - 2,0 MPa.

#### 4. APLICACIÓN A LA CEB

Como extensión de esta investigación, la idea es aplicar los conceptos de la nueva propuesta a la CEB. Una de las maneras de comparar diferentes estimadores es en función de sus curvas de eficiencia, también llamadas curvas características de operación. Cuanto mayor la eficiencia de un estimador, mayor es su capacidad de discriminación entre un *hormigón bueno* que puede ser aceptado y un *hormigón malo* que debe ser rechazado. Las decisiones que derivan del empleo de diferentes estimadores, pueden tener en la practica efectos similares sobre la seguridad y la economía de la obra. Por tanto, es imposible presentar un estimador como más recomendado. Así, cada país adoptar el estimador que mejor represente sus condiciones de trabajo.

Considerando esta situación, la comisión mixta CEB/CIB/FIP/RILEM, considera apropiado presentar fronteras para la curva de eficiencia de los estimadores como se ve en la figura siguiente, donde fue utilizado papel de probabilidad bi-normal de tal forma que las curvas resultaron rectas.

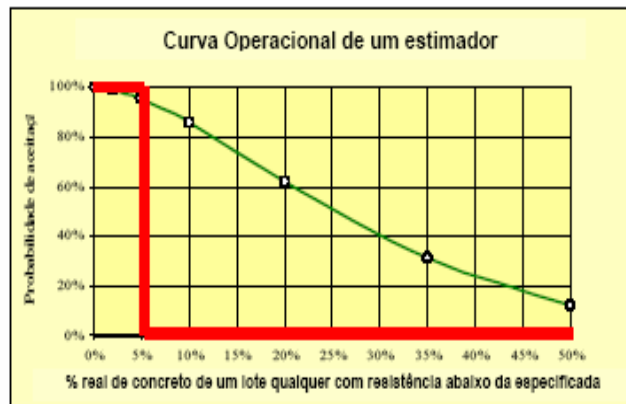


**Figura 1** – Control de Calidad del Hormigón – Fronteras para la curva de eficiencia del estimador (HELENE, P., 1980, p.91).

Como se verifica en la Figura 1, **consideraciones de seguridad estructural** llevaron a sugerir la definición de una **frontera superior** en la región de calidad inaceptable donde el porcentaje real de hormigón de un lote cualquiera, con resistencia debajo de la especificada sobrepasa mucho los 5%. De esta forma queda limitado superiormente el riesgo del consumidor, evitando que este tenga la probabilidad de aceptar un hormigón de calidad muy baja.

Por otro lado, **consideraciones de economía** llevaron a la fijación de una **frontera inferior** en la región de calidad aceptable, donde el porcentaje real de hormigón del lote, con resistencia abajo da especificada, no alcanza los 5%. De esta forma queda limitado inferiormente el riesgo del productor, evitando que este tenga la probabilidad de ver rechazado un hormigón de calidad muy alta.

El estimador perfecto es aquel capaz de identificar con absoluta seguridad los lotes de hormigón que poseen 5% o menos de resistencias reales debajo de la especificada. Así, la probabilidad de aceptación de los primeros es de 100%, y de los segundos es nula, lo que lleva al rechazo. (HELENE, P., 1980).



**Figura 2** – Esquema genérico de curvas características de operación de un estimador (HELENE, P., 1980, p.88).

Es importante destacar que en la presente investigación, los resultados que serán presentados a través de los gráficos muestran estos límites invertidos, esto porque la Figura 1 trabaja en el eje x, con porcentaje real de hormigón de un lote cualquiera con resistencia debajo de la especificada (%), mientras que la propuesta presentada trabaja con  $f_{ck}$  producido /  $f_{ck}$  de proyecto. Este detalle podrá ser apreciado mas adelante.

## 5. PROCESAMIENTO DE DATOS

Para el análisis de la nueva propuesta, se realizo un estudio comparativo con la norma actual, de modo de verificar se hay minimización del rechazo de lotes aceptables. También se limitaron las curvas de los estimadores haciendo uso de los límites presentados en la CEB; hallándose, así, el valor máximo y mínimo de  $\Psi$  que podría ser usado para testear los lotes. De esta forma, no solo se contemplaría el productor, sino que también se contemplaría al consumidor.

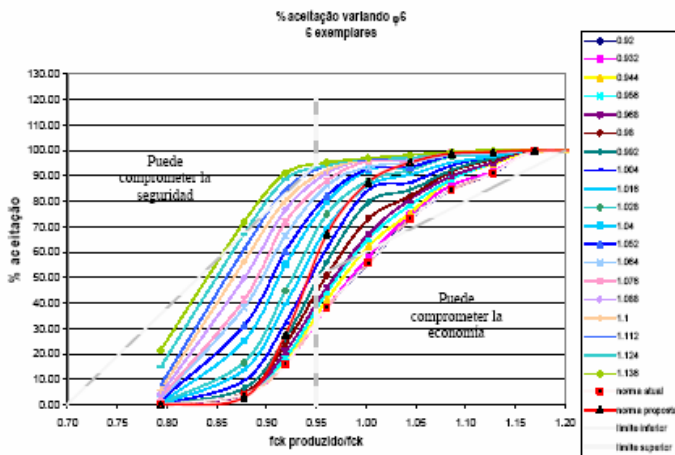
### 5.1 Resultados obtenidos

Los gráficos presentados a continuación, muestran el porcentaje de aceptación versus el  $f_{ck}$  producido para varios  $\Psi_6$ . De esta forma, es posible comparar los resultados obtenidos por la norma actual con los de la propuesta y también como seria el resultado si cambiara  $\Psi_6$ .

También se dibujaron los límites establecidos por la CEB, donde queda clara la diferencia entre las zonas que podrían comprometer la economía y aquellas que podrían comprometer la seguridad. A modo de ejemplo se muestran algunos gráficos obtenidos.

### Resultados para hormigones con fck igual a 25 MPa

#### 6 ejemplares



Este gráfico muestra las curvas de aceptación de un hormigón con fck de 25 MPa para diferentes  $\Psi$ . Además de estas curvas, se muestran también los límites superior e inferior dados por la CEB.

El objetivo del trabajo es dar un intervalo de  $\Psi$  en el cual ni el productor, ni el consumidor sean perjudicados. Los valores de  $\Psi$  escogidos son los tangenciales a las rectas límites. Por lo tanto, estos valores son:  $\Psi_{\text{máx}} = 1,1$  e  $\Psi_{\text{min}} = 0,992$ .

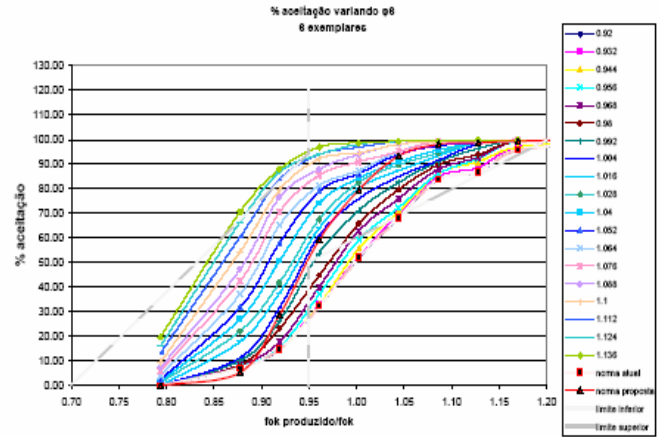
De la misma forma, se hará para todos los demás casos presentes. Obteniéndose así una gama e valores de  $\Psi_{\text{máx}}$  y  $\Psi_{\text{min}}$ .

Es importante destacar que, por el análisis del gráfico, la norma actual esta fuera del intervalo de

aceptación – rechazo, mientras la norma propuesta esta dentro.

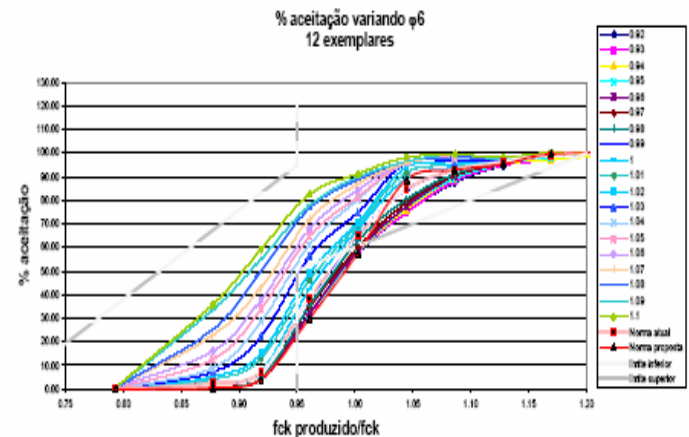
### Resultados para hormigones con fck igual a 35 MPa

#### 6 ejemplares



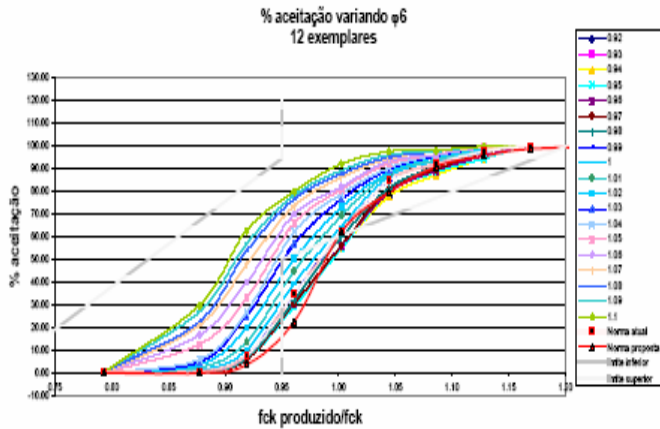
### Resultados para hormigones con fck igual a 60 MPa

#### 12 ejemplares



### Resultados para hormigones con fck igual a 70 MPa

#### 12 ejemplares



## 6. CONSIDERACIONES FINALES

Para cada gráfico se presentan intervalos de confianza de  $\Psi$ . Llegándose a las siguientes conclusiones:

Fck	Nº exemplares	$\Psi_{min}$	$\Psi_{max}$
25	8	1.004	1.1
	12	1.04	~1.18
	19	1.07	~1.19
35	8	1.004	1.1
	12	1.04	~1.18
	19	1.07	~1.19
60	12	1.04	~1.18
	19	1.06	~1.19
70	12	1.04	~1.18
	19	1.07	~1.19

Considerándose los resultados reales de la investigación, el valor de  $\Psi_{max}$  tendría que ser en todos os casos 1,1. Pero tomándose en cuenta que la planilla fue hecha con una variación de  $\Psi$  hasta 1,1, se puede estimar aproximadamente un valor de  $\Psi$  mayor que sea coherente con los gráficos anteriores.

Además de esto, se resaltan otras consideraciones. Primero, en la norma propuesta, cuanto mas ejemplares en el lote haya, mayor es la probabilidad de tener un número mas bajo de resistencias dentro del grupo, disminuyendo el porcentual de aceptación.

En la norma actual, el porcentaje de aceptación es muy bajo, generando costos elevados de producción del hormigón.

No siempre el criterio de evaluación de la norma actual y la propuesta están dentro del intervalo de aceptación dado por las rectas limites de la CEB.

En los casos de 6 ejemplares, la norma propuesta es uno de los valores que están tangentes al limite inferior.

Generalmente, cuando se aumenta el número de ejemplares, los valores límites del intervalo de  $\Psi$  aumentan, por lo tanto, los intervalos alcanzan valores mas extremos.

Aunque el fck del hormigón cambie, los valores del intervalo son casi iguales.

## 7. LISTA DE REFERENCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 12655: Concreto – Preparo, controle e recebimento*. Rio de Janeiro, mai.1996.

FUSCO, P.B. *Estruturas de Concreto - Conceitos Estatísticos Associados à Segurança das Estruturas*. v.2, Grêmio Politécnico: São Paulo, 1975.

HELENE, P. *Contribuição ao Estabelecimento de Parâmetros para Dosagem e Controle dos Concretos de Cimento Portland*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Departamento de Construção Civil: São Paulo, 1987.

HELENE, P. *Controle de Qualidade do Concreto*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Departamento de Construção Civil: São Paulo, 1980.

SCHNEIDER, J.. *Structural Enegineering Documents 5 – Introduction to Safety and Reliability of Structures*. IABSE/AIPC/IVBH: Zurich, 1997.

STUCCHI, F.R.. *Notas de aula da disciplina PEF-5738 – Ações e Segurança das Estruturas*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: São Paulo, 2006.

WAHRHAFTIG, A; BERGER, D. e STUCCHI, F.R.. *Eficácia da Estimativa da Resistência Característica do Concreto*. USP - Escola Politécnica. Depto de Engenharia de Estruturas: São Paulo, 2004.