

# ENFOQUE BASADO EN EL DESEMPEÑO PARA LA ESPECIFICACIÓN Y CONTROL DE LA DURABILIDADE DEL HORMIGÓN: ASPECTOS GENERALES Y EL CONTEXTO BRASILEÑO

Prof. Gustavo Bosel Wally  
([gustavo.wally@gmail.com](mailto:gustavo.wally@gmail.com))  
Prof. Fábio Costa Magalhães  
([fabiocmagalhaes@gmail.com](mailto:fabiocmagalhaes@gmail.com))



Laboratório de Estruturas e  
Materiais de Construção Civil  
IFRS - CAMPUS RIO GRANDE



# CONSIDERACIONES INICIALES

## DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

CAPACIDAD DE RESISTIR ACCIONES IMPUESTAS POR EL MEDIO AMBIENTE AL QUE ESTARÁ EXPUESTO DURANTE SU VIDA ÚTIL SIN QUE HAYA UNA PÉRDIDA SIGNIFICATIVA DE RENDIMIENTO O NECESIDAD DE ACCIONES DE CONSERVACIÓN<sup>1</sup>.



<sup>1</sup> ACI PRC-201.2, 2016; *fib* Bulletin 34, 2006; NBR 6118, 2014

# CONSIDERACIONES INICIALES

## ¿Y POR QUÉ NOS PREOCUPAMOS POR LA DURABILIDAD?

### ❖ DESEMPEÑO:

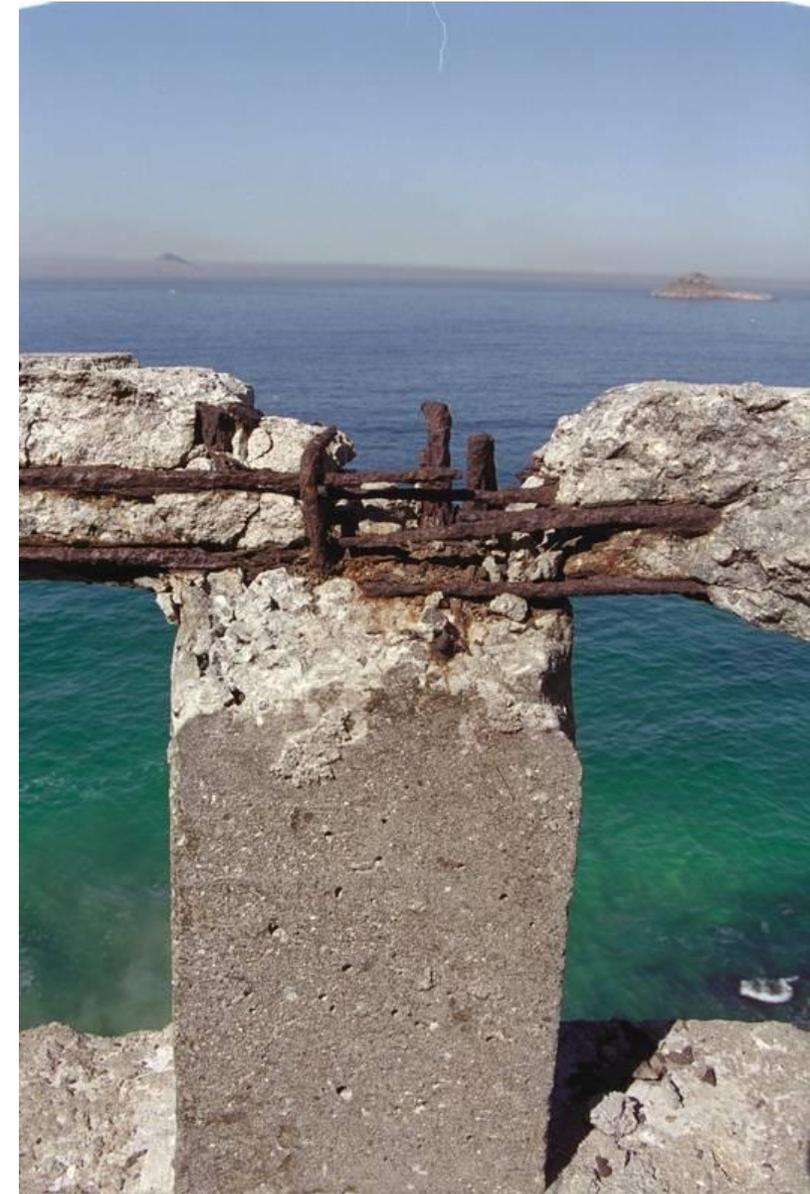
GARANTIA DE UTILIZAÇÃO PLENA DAS ESTRUTURAS;

### ❖ ECONÔMICO:

REDUÇÃO DE CUSTOS COM MANUTENÇÕES E *RETROFITS*;

### ❖ SUSTENTABILIDADE:

“NO CONCRETE IS SUSTAINABLE WITHOUT BEING DURABLE”.

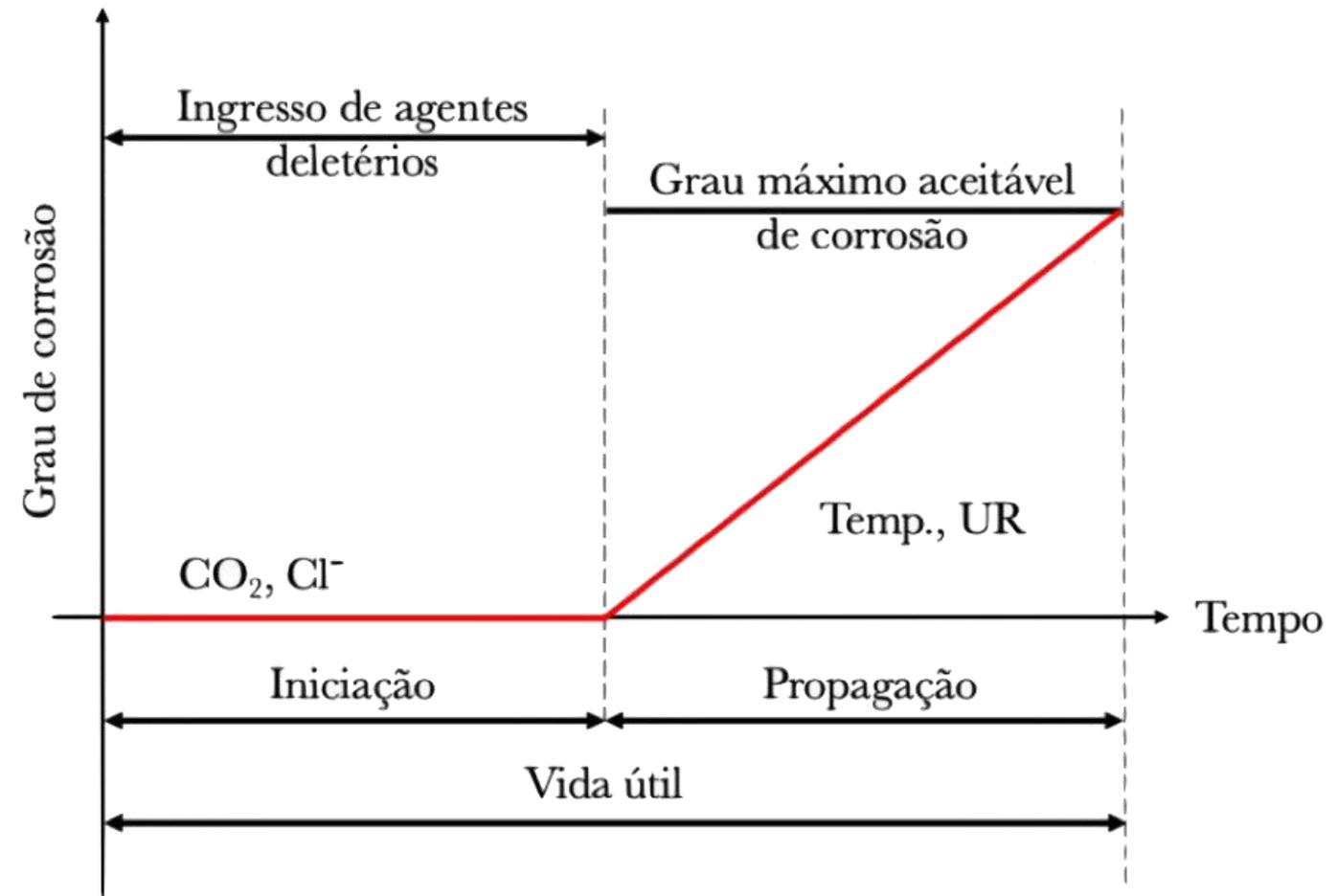


# CONSIDERACIONES INICIALES

## PENETRACIÓN DE AGENTES AGRESIVOS

LA PRINCIPAL CAUSA DEL DETERIORO TEMPRANO DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO ES LA CORROSIÓN POR **CLORURO** O **CARBONACIÓN**.

## PERIODO DE INICIACIÓN



Tuutti, K. "Corrosion of steel in concrete", Swedish Institute of Cement and Concrete Research, 1982.

# ¿CUÁL ES EL ESCENARIO ACTUAL?

## ABORDAGEM PRESCRITIVA

LIMITA-SE A PRESCREVER VALORES MÍNIMOS PARA ALGUNS **PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM** NO POTENCIAL DE DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS

## ABORDAGEM COM BASE NO DESEMPENHO

BUSCA-SE MENSURAR A PENETRABILIDADE DO CONCRETO (E A AGRESSIVIDADE DO AMBIENTE, A VIDA ÚTIL, ETC)

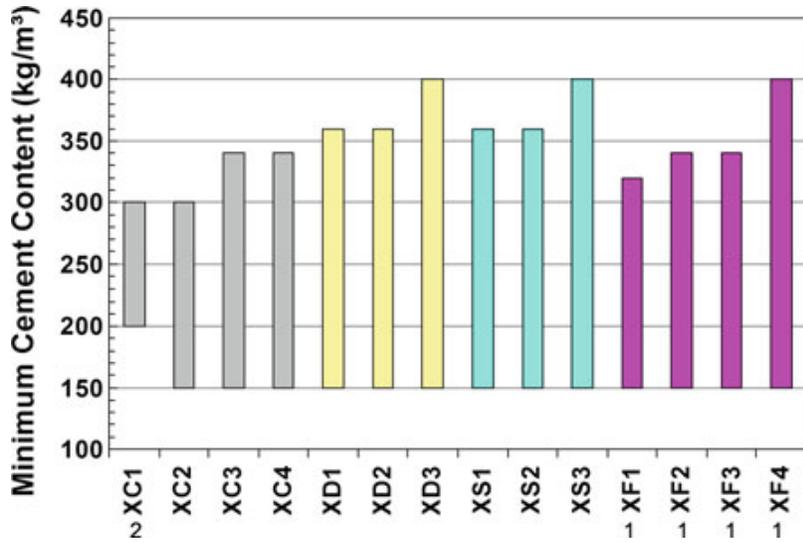
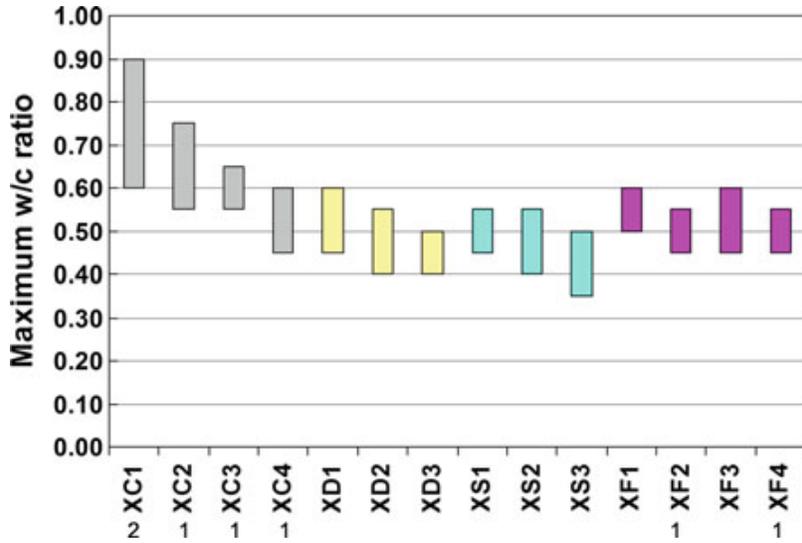
# ¿CUÁL ES EL ESCENARIO ACTUAL?

**ABORDAGEM PRESCRITIVA**

LIMITA-SE A PRESCREVER VALORES MÍNIMOS PARA ALGUNS **PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM** NO POTENCIAL DE DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS

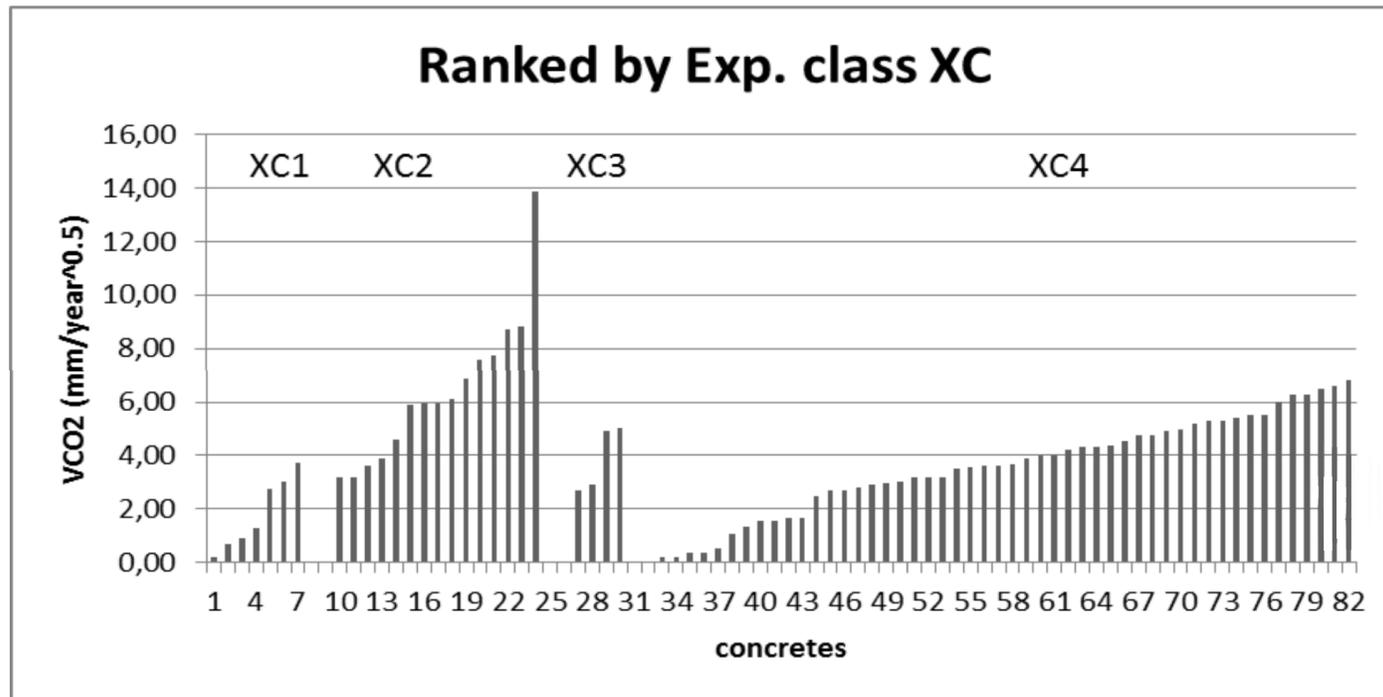
Concreto <sup>a</sup>	Tipo <sup>b, c</sup>	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

<sup>a</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.  
<sup>b</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.  
<sup>c</sup> CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.



# ¿CUÁL ES EL ESCENARIO ACTUAL?

LOS HORMIGONES QUE SIGUEN LOS MISMOS PARÁMETROS PRESCRIPTIVOS PUEDEN MOSTRAR COMPORTAMIENTOS DIFERENTES AL EVALUARSE DESDE LA PERSPECTIVA DE DURABILIDAD

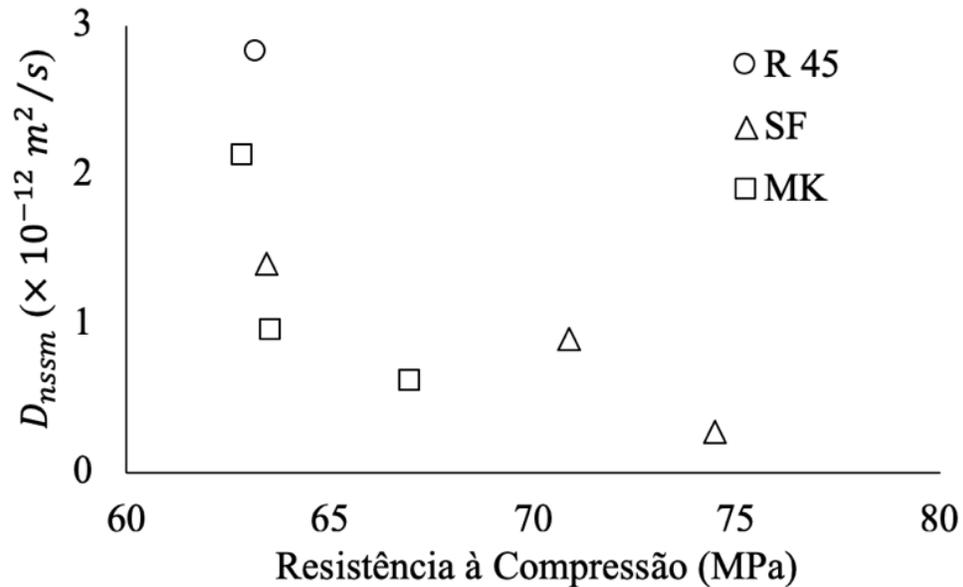


- ❖ INFLUENCIA DEL TIPO DE CEMENTO;
- ❖ MUCHOS HORMIGONES CONSIDERADOS CONFORMES SEGÚN LOS PARÁMETROS **DEEMED-TO-SATISFY** NO MUESTRAN RESULTADOS SATISFACTORIOS CUANDO SE EVALUA LA PENETRACIÓN DE CO<sub>2</sub>.

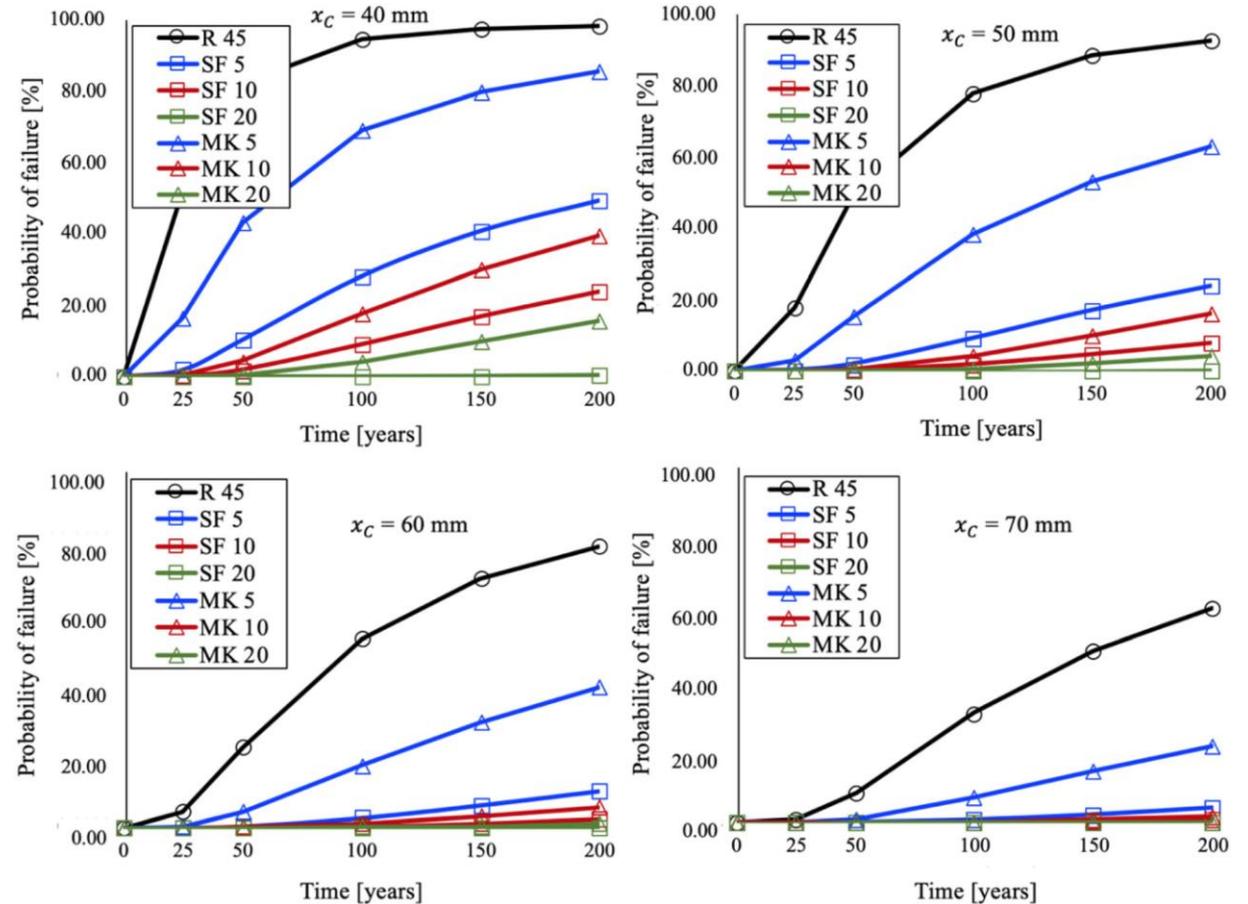
Andrade, C. "Novedades en el capítulo de durabilidad...", Cinpar, 2020.

► Tabela 1 – Influência do tipo e teor de adições minerais no desempenho de concretos frente à penetração de cloretos

Concreto	$f_{cm}$ (MPa)	$D_{nssm}$ ( $10^{-12}$ m <sup>2</sup> /s)*	$P_f$ (%)**
R 45	63,22	2,84	49,51
SF 5	63,46	1,40	1,86
SF 10	70,88	0,90	0,19
SF 20	74,51	0,27	0,00
MK 5	62,86	2,14	15,10
MK 10	63,55	0,96	0,52
MK 20	66,99	0,62	0,03

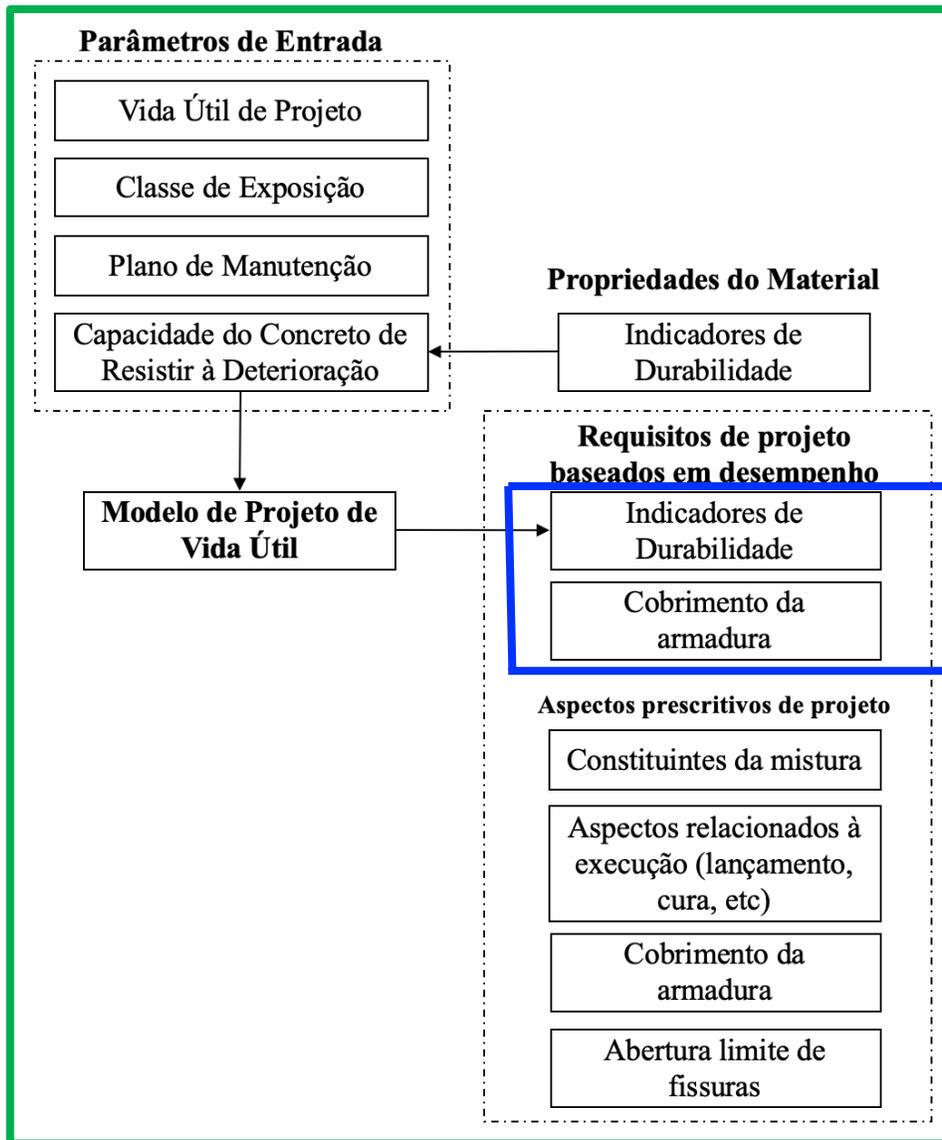


LOS HORMIGONES QUE SIGUEN LOS MISMOS PARÁMETROS PRESCRIPTIVOS PUEDEN MOSTRAR COMPORTAMIENTOS DIFERENTES AL EVALUARSE DESDE LA PERSPECTIVA DE DURABILIDAD

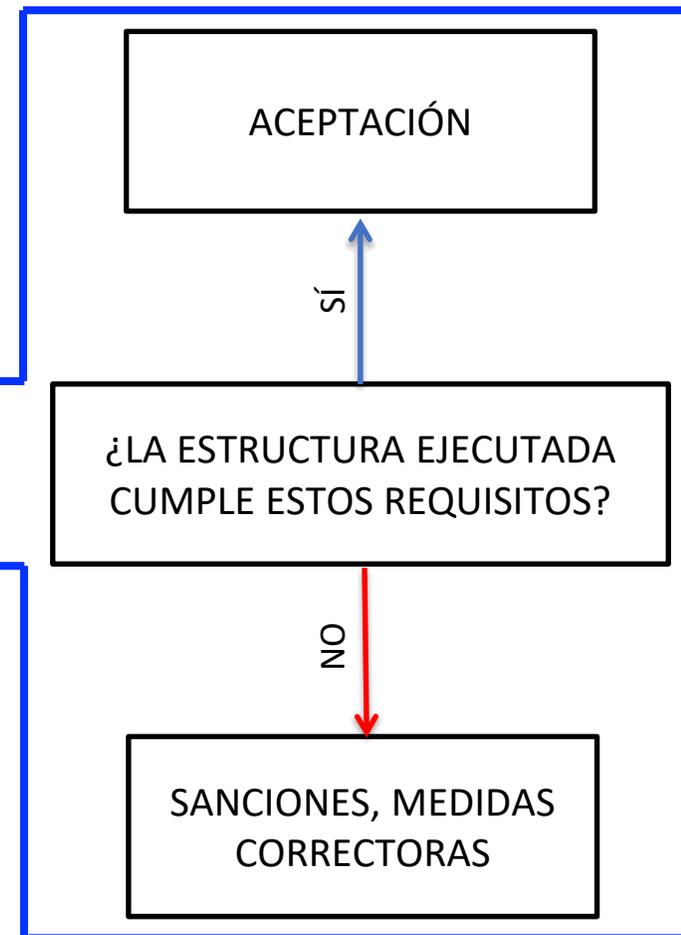


Wally, G.B., Magalhães, F.C., Silva Filho, L.C.P. "Conceitos e aspectos da abordagem...", Conc. & Cons., 2020.  
Wally, G.B., et al. "Estimating service life of reinforced concrete structures ..." Materials and Structures, 2021.

ABORDAGEM DE DESEMPENHO - PROJETO E ESPECIFICAÇÃO



ABORDAGEM DE DESEMPENHO - CONTROLE DE QUALIDADE E AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE



NÍVEIS DE ABORDAGEM	TIPO DE ABORDAGEM
NÍVEL 1	<b>ABORDAGEM PRESCRITIVA:</b> CONSUMO DE CIMENTO MÍNIMO, RELAÇÃO AG/AGL MÁXIMA, COBRIMENTO MÍNIMO, $f_{ck}$ MÍNIMO, ETC.
NÍVEL 2	<b>ABORDAGEM MISTA:</b> UTILIZA VALORES LIMITE PARA PARÂMETROS COMO PERMEABILIDADE, DIFUSIVIDADE, RESISTIVIDADE, ETC.
NÍVEL 3	<b>ABORDAGEM DE DESEMPENHO (DETERMINÍSTICA):</b> EMPREGA MODELOS DE PREVISÃO DE VIDA ÚTIL DETERMINÍSTICOS PARA ESTIMAR A PENETRAÇÃO DOS AGENTES AGRESSIVOS.
NÍVEL 4	<b>ABORDAGEM DE DESEMPENHO (PROBABILÍSTICA):</b> UTILIZA MODELOS DE PREVISÃO DE VIDA ÚTIL PROBABILÍSTICOS OU SEMI-PROBABILÍSTICOS.

**CONTEXTO ACTUAL!**

Andrade, C. "Multilevel (four) methodology for durability design", In: RILEM Workshop on Performance-based... Madrid, Spain, 2006.



Laboratório de Estruturas e  
Materiais de Construção Civil  
IFRS - CAMPUS RIO GRANDE

# ¿CÓMO PODEMOS AVANZAR?

LA TRANSICIÓN DE PRESCRIPTIVO A BASADO EN EL DESEMPEÑO REQUIERE MÉTODOS DE PRUEBA:

- ❖ FÁCIL DE INTERPRETAR EN EL CONTEXTO DE LA INGENIERÍA (VINCULADO A VALORES DE VIDA ÚTIL);
- ❖ FÁCIL DE MEDIR Y PROPORCIONAR RESULTADOS CONFIABLES;
- ❖ SENSIBLE A ASPECTOS DE LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN, COMO EL TIPO DE CEMENTO, EL USO DE ADICIONES MINERALES, EL VACIADO, EL CURADO, ETC.

Alexander, M., Thomas, M. "Service life prediction and performance...", Cem. Conc. Res., 2015.  
Torrent, R.J. "Bridge durability design after...", Struc. Infrastruct. Eng, 2018.

# ¿CÓMO PODEMOS AVANZAR?

COMO RESULTADO DE 30 A 40 AÑOS DE INVESTIGACIÓN SOBRE DURABILIDAD, SE HAN DESARROLLADO VARIAS METODOLOGÍAS DE PRUEBA PARA EVALUAR EL TRANSPORTE DE MASA A TRAVÉS DE LA ESTRUCTURA POROSA DEL HORMIGÓN;

- ❖ RESISTIVIDAD ELÉCTRICA
- ❖ MIGRACIÓN
- ❖ CARBONATACIÓN ACELERADA
- ❖ DIFUSIÓN DE CLORUROS

PARÁMETROS  
DE  
LABORATORIO



PARÁMETRO  
REAL DEL  
HORMIGÓN

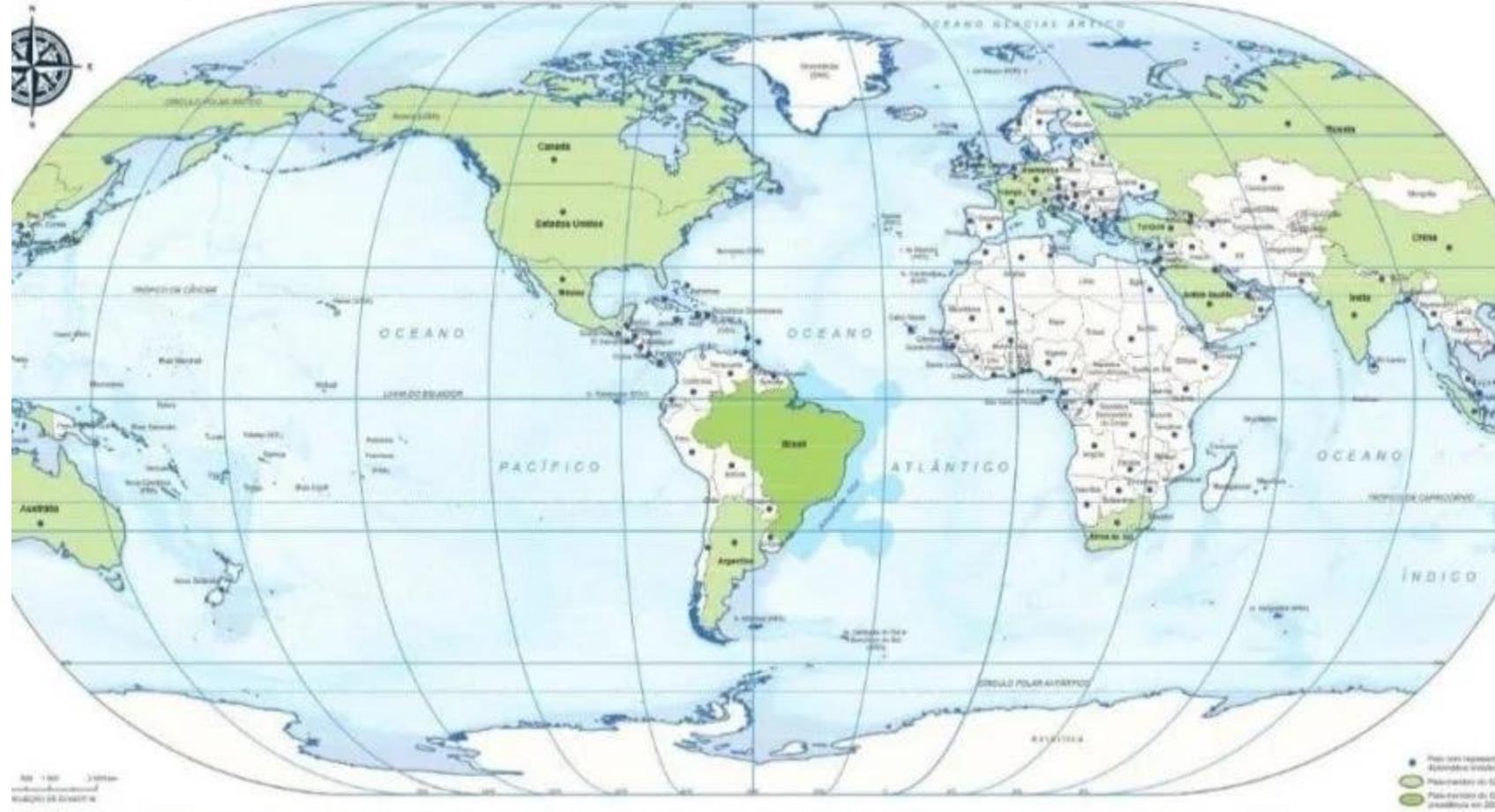


COMPORTAMIENTO  
DE LA ESTRUCTURA  
REAL



Alexander, M., Thomas, M. "Service life prediction and performance...", Cem. Conc. Res., 2015.  
Torrent, R.J. "Bridge durability design after...", Struc. Infrastruct. Eng, 2018.

# ¿Y LA EXPERIENCIA INTERNACIONAL?



# VISIÓN INTERNACIONAL

## SUDÁFRICA (South Africa)

ENFOQUE BASADO EM “ÍNDICES DE DURABILIDAD”: OPI, WATER SORPTIVITY INDEX E CCI;

LOS MODELOS DE VU ADOPTADOS PARA PREDECIR EL INICIO DE LA CORROSIÓN SE BASAN, A SU VEZ, EN EL PARÁMETRO DI CORRESPONDIENTE, DEPENDIENDO DE SI EL DISEÑO TIENE EN CUENTA LA INDUCIDA POR CARBONACIÓN O LA INDUCIDA POR CLORURO; CORROSIÓN

EL DISEÑO BASADO EN DI FUE ADOPTADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL MUELLE DE U'SHAKA. EN ESTE CASO EL DI UTILIZADO FUE EL CCI. DESPUÉS DE LA EJECUCIÓN DE LOS ELEMENTOS, SE EXTRAÍRON MUESTRAS PARA SU EVALUACIÓN.

Chloride conductivity	Concrete quality
<0.75	Very good
0.75–1.50	Good
–	Normal
1.50–2.50	Poor
>2.50	Very poor

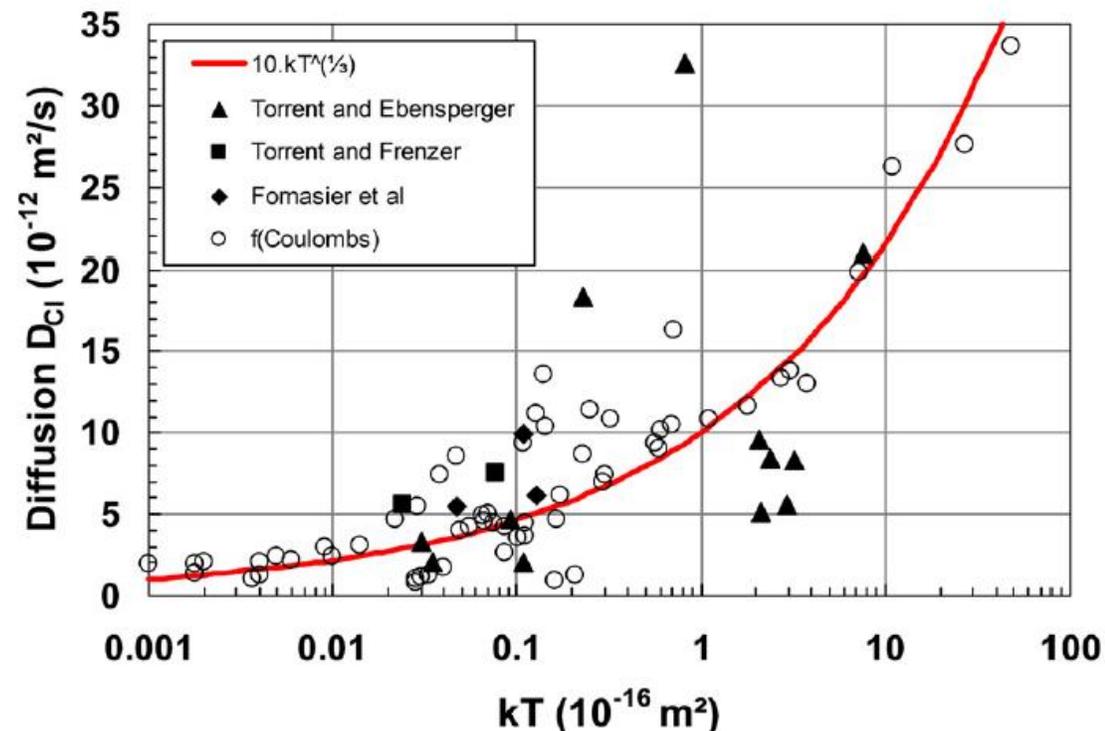
# VISIÓN INTERNACIONAL

## SUIZA (Switzerland)

DESDE O INÍCIO DOS ANOS 90, O **SWISS FEDERAL BUREAU OF ROADS** TEM APOIADO PROJETOS VOLTADOS AO DESENVOLVIMENTO DE UMA ABORDAGEM ADEQUADA PARA ESPECIFICAR E CONTROLAR A QUALIDADE DA CAMADA DE COBRIMENTO DO CONCRETO *ON SITE*;

NORMATIZAÇÃO DE UM MÉTODO NÃO DESTRUTIVO PARA MEDIR O COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE AO AR, CONHECIDO COMO “**MÉTODO DE TORRENT**”;

VALORES-LIMITE FORAM ESTABELECIDO DEPOIS DE AVALIADAS MAIS DE 100 ELEMENTOS EM CONSTRUÇÕES NOVAS E ANTIGAS E EM CORPOS DE PROVA PRODUZIDOS EM LABORATÓRIO;



Exposure	EN 206 classes	$kT_s$ ( $10^{-16}$ m <sup>2</sup> )
Moderate carbonation	XC1, XC2, XC3	Not required
Severe carbonation	XC4	2.0
Moderate chlorides	XD1, XD2a <sup>a</sup>	
Moderate frost	XF1, XF2	
Severe chlorides	XD2b <sup>a</sup> , XD3	0.5
Severe frost	XF3, XF4	

Year	Row	Exposure class	Carbonation-induced corrosion				Chloride-induced corrosion			
			XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2a	XD2b	XD3
2003		Durability indicator					Prescriptive			
	1	$w/C_{max}$	.65	.65	.60	.50	.50	.50	.45	.45
	2	$C_{min}$ (kg/m <sup>3</sup> )	280	280	280	300	300	300	320	320
	3	$f'c_{min}$ (MPa)	C20/25	C20/25	C25/30	C30/37	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37
	4	$c_{nom}$ (mm)	20	35	35	40	40	40	55	55
2008		Durability indicator					'Labcrete'			
	5	$qw_{max}$ (g/m <sup>2</sup> /h)	–	–	–	–	10	10	–	–
	6	$DCI_{max}$ (10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s)	–	–	–	–	–	–	10	10
	7	$K_{Nmax}$ (mm/y <sup>1/2</sup> )	–	–	5.0/4.0	5.0/4.5	–	–	–	–
2013		Durability indicator					'Realcrete'			
	8	$kT_s$ (10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup> )	–	–	–	2.0	2.0	2.0	.5	.5

$w/c$  = water/cement ratio by mass;

$C$  = cement content, including content of SCM corrected with corresponding 'k' factors

$f'c$  = strength class cylinder/cube;

$c_{nom}$  = nominal cover depth, values indicated are for reinforced concrete (values for prestressed concrete are 10 mm higher); tolerance  $\pm 10$  mm if  $c_{nom} \geq 30$  mm;

$qw$  = water permeability by capillary suction; rather complex indicator well correlated with the capillary suction after 24 hours  $M_{24}$  (g/m<sup>2</sup>):  $M_{24} = 217 + 326 \cdot q_w$ ;

$DCI$  = chloride migration coefficient, based on Tang–Nilsson method (Tang & Nilsson, 1992);

$K_N$  = carbonation resistance =  $2.6 K_S$ , with  $K_S$  (mm/day<sup>1/2</sup>) measured in accelerated test after 7, 28 and 63 days exposure to CO<sub>2</sub> concentration of 4% vol. The values indicated correspond to expected service lives of 50/100 years;

$kT$  = coefficient of air-permeability, measured after Torrent method (Torrent, 1992); (Torrent, Denarié, et al., 2012a).

Note 1: Class XD2 was subdivided in 2008 into XD2a and XD2b, for chloride contents of the solution in contact with the concrete of up to or over .5 g/L, respectively. Requirements for XD2a are identical to those of XD1; similarly, requirements for XD2b are identical to those of XD3.

Note 2: The values indicated in rows 4 and 5 are for the average of 5 cores drilled from cast specimens and those in row 6 for the average of 3 to 5 cores drilled from cast specimens. There are also indicative limiting values (higher) for cores drilled from the structure, tested at 28 days of age.

Note 3: In Switzerland, 8 concrete types are defined for the most common exposure conditions which combine more than one Exposure class.

# VISIÓN INTERNACIONAL

## CHINA

### GB/T 50476

### PROYECTO DE DURABILIDAD PARA ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

Class	Exposure condition	Design case	EuroCode2
III-C	Immersion in sea water	Bridge pier permanently in sea water, 1–1.5 m under lowest water level	XS2
III-D	Slight air borne salt	Members situated at 100–300 m from the coast line or 15 m above the sea level	XS1
III-E	Heavy salty frog	Members situated under 15 m above the sea level or <100 m from the coast line	XS1
	Tidal and splash zones in mild climate	Members exposed to the tidal and splash zones of sea water, or within 1.5 m under the lowest water level in a mild climate (yearly average temperature <20°C)	XS3
III-F	Tidal and splash zones in hot climate	Members exposed to the tidal and splash zones of sea water, or within 1.5 m under the lowest water level in a hot climate (yearly average temperature near or above 20°C)	XS3

Class	Binder (Cementitious materials)			Cl <sup>-</sup> content (%)	D <sub>RCM</sub> 10 <sup>-12</sup> (m <sup>2</sup> /s)	w/b (-)	Strength (MPa)	Cover (mm)
	Content (kg/m <sup>3</sup> )	Cement type	Composition					
III,IV-C	300	PO,PI,PII	$\geq 0.5f/0.5 + s/0.8 \leq 1$	0.1 (RC), 0.06 (PC)	–	0.50	C35	35
III,IV-D	320				$\leq 10$	0.45	C40	45
III,IV-E	340				$\leq 6$	0.40	C45	50
	360				$\leq 6$	0.36	C50	45
III-F	360				$\leq 6$	0.36	C50	55
	380				$\leq 6$	0.36	C50	50

# VISIÓN INTERNACIONAL

CHINA

HONG KONG-ZHUHAI-MACAU BRIDGE



# VISIÓN INTERNACIONAL

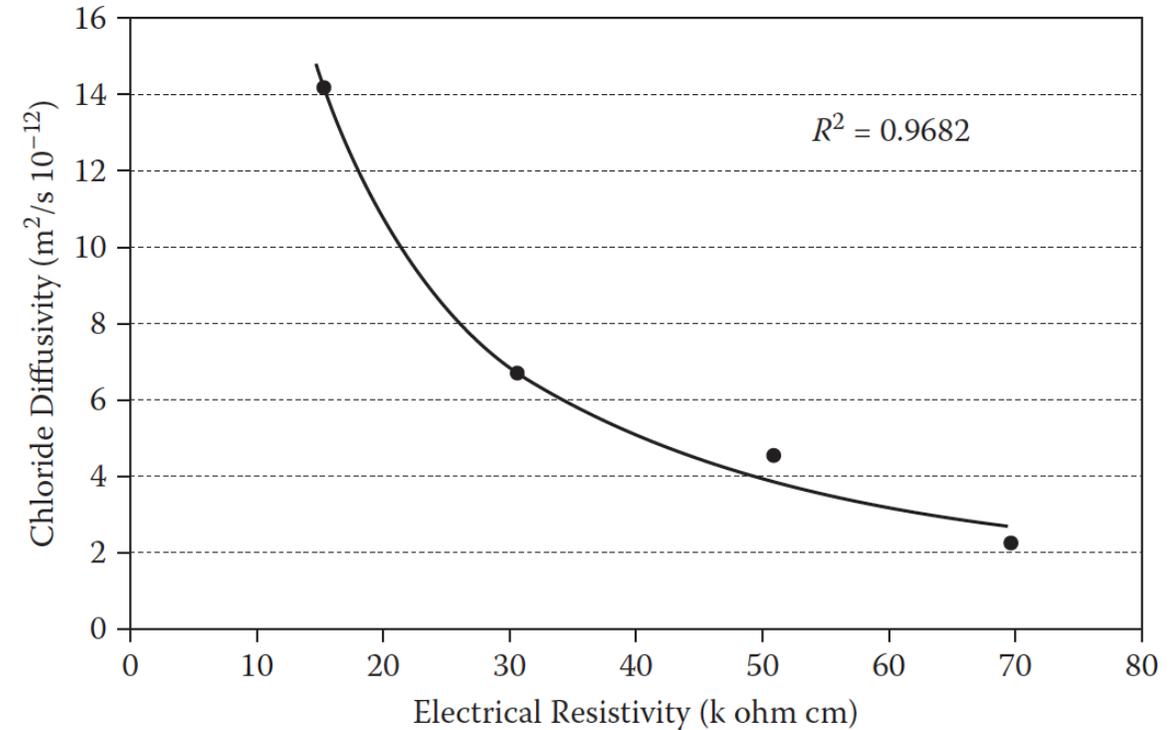
## NORUEGA (Norway)

EN 2005, COMENZÓ EL DESARROLLO DE UNA NUEVA CIUDAD EN LA REGIÓN PORTUARIA DE OSLO Y SE NECESITÓ UNA VU DE 300 AÑOS;

AL PRINCIPIO ADOPTADO EL MODELO DURACRETE (2000), PERO CON ÉXITO, A MEDIDA QUE SE ADQUIRIÓ EXPERIENCIA PRÁCTICA, SE MEJORÓ EL MODELO;

MODELO PROBABILÍSTICO DURACON ( $\beta_{alvo} = 1,3$ );

EVALUAR PRUEBAS ( $D_{nssm}$ ) A LOS 28 DÍAS Y RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE LA ESTRUCTURA EJECUTADA.





## ¿Y LA EXPERIENCIA BRASILEÑA?



# VISIÓN INTERNACIONAL

## BRASIL (Brazil)

### CLASES DE AGRESIVIDAD AMBIENTAL

Tabela 1 – Classes de agressividade ambiental

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

Tabela 2 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
Consumo de cimento Portland por metro cúbico de concreto kg/m <sup>3</sup>	CA e CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360

CA Componentes e elementos estruturais de concreto armado.  
CP Componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV <sup>c</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje <sup>b</sup>	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo <sup>d</sup>	30		40	50
Concreto protendido <sup>a</sup>	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

# VISIÓN INTERNACIONAL

BRASIL (Brazil)

INICIO DEL ENFOQUE  
BASADO EN EL  
DESEMPEÑO

PRÁCTICAS RECOMENDADAS  
CT 702 – IBRACON / ALCONPAT



# MÉTODOS DE ENSAYO

## BULK DIFFUSION TEST

- ❖ NT BUILD 443:1995,
- ❖ ISO 1920-11:2013,
- ❖ ASTM C1556:2016;

PRUEBAS INMERSAS EN SOLUCIÓN SALINA DURANTE AL MENOS 35 DÍAS;

165 g DE NaCl POR LITRO DE AGUA.

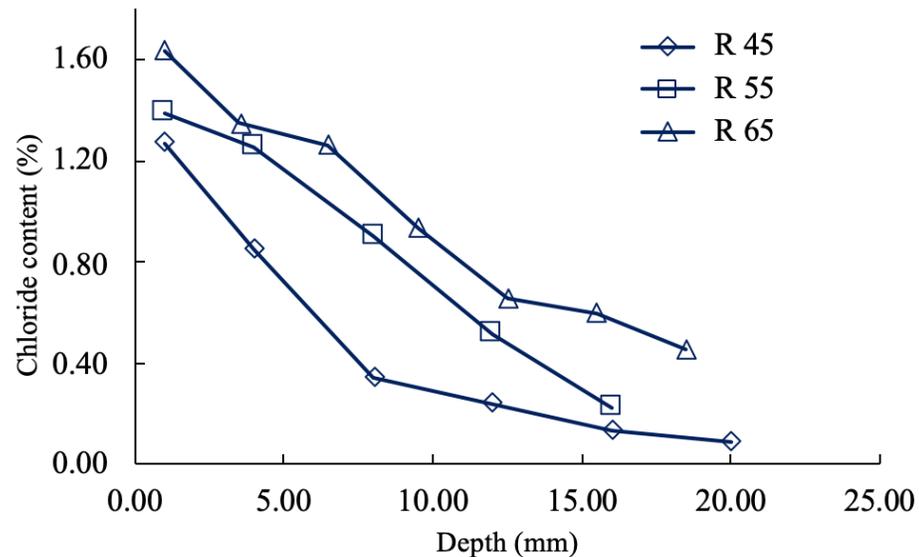


# MÉTODOS DE ENSAYO

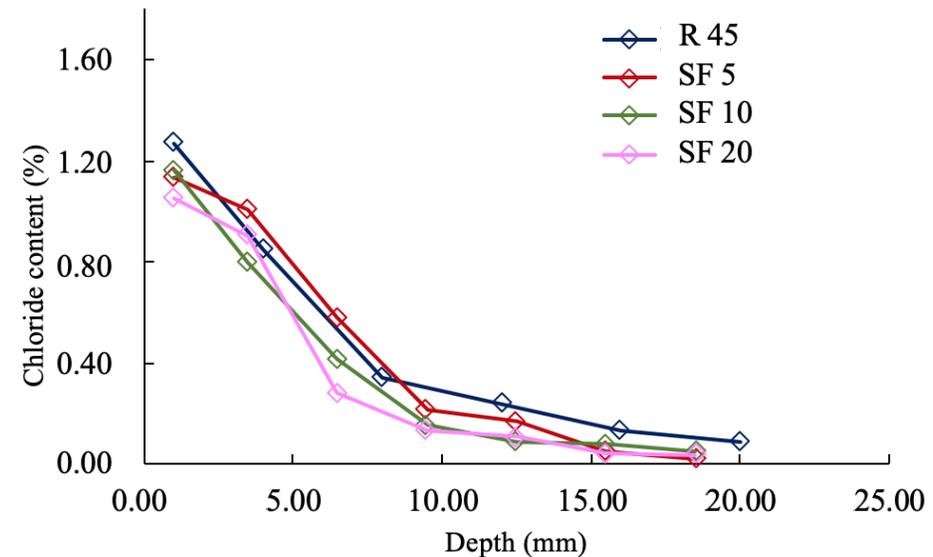
## BULK DIFFUSION TEST

DETERMINAÇÃO DE  $D_a$  UTILIZANDO REGRESSÃO NÃO-LINEAR:

$$C(x, t) = C_S - (C_S - C_i) \operatorname{erf} \left( \frac{x}{\sqrt{4 D_a t}} \right)$$



(a)



(b)

Sell Junior et al. (2021)

# MÉTODOS DE ENSAYO

## RAPID CHLORIDE PENETRABILITY TEST

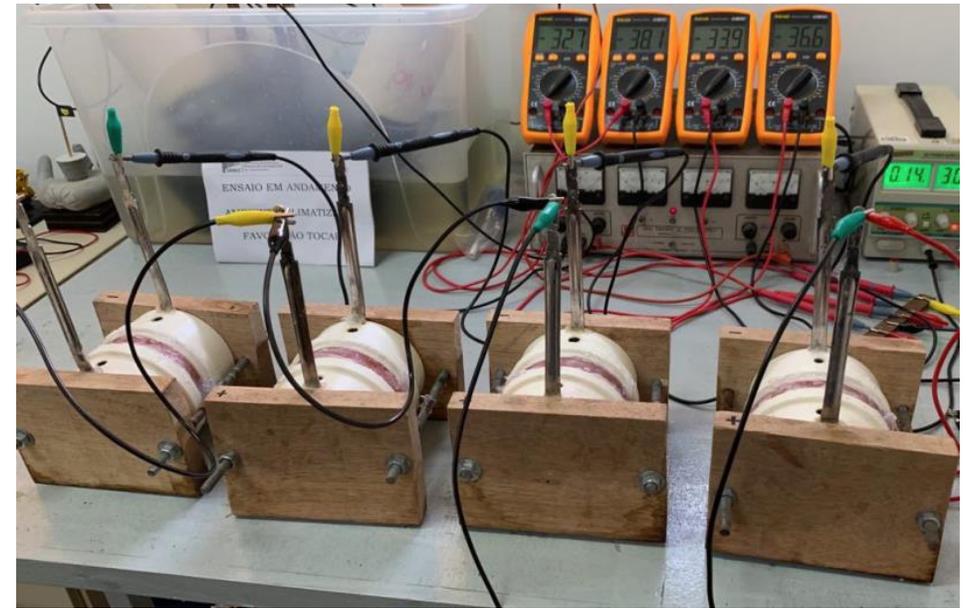
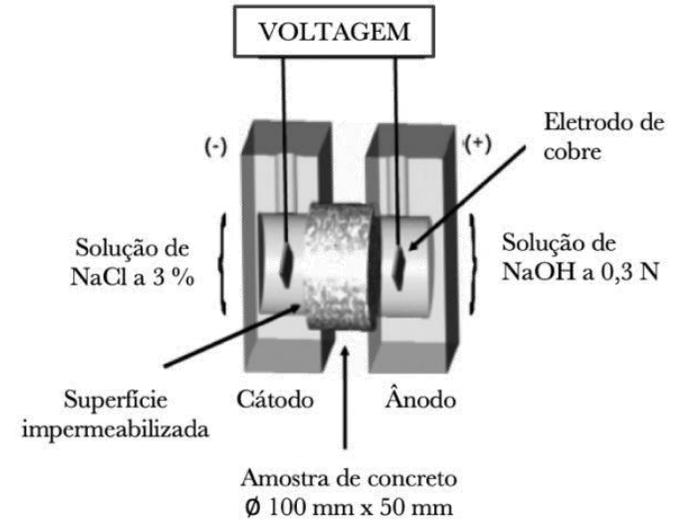
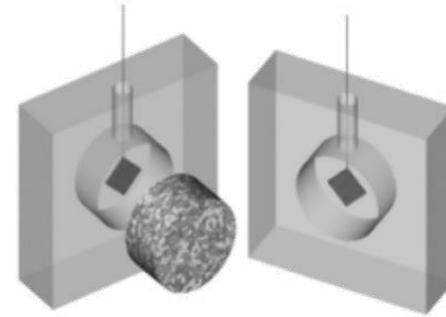
### ASTM C1202:2019

DURACIÓN DE 6h, CON LECTURAS DE CORRIENTE ELÉCTRICA CADA 30 MINUTOS;

PERMITE INFERENCIAS SOBRE LA PENETRABILIDAD DEL CONCRETO, PERO NO PROPORCIONA UN COEFICIENTE DE DIFUSIÓN;

LA CARGA DE PASO SE DETERMINA MEDIANTE ECUACIÓN:

$$Q = I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{330} + I_{360}$$



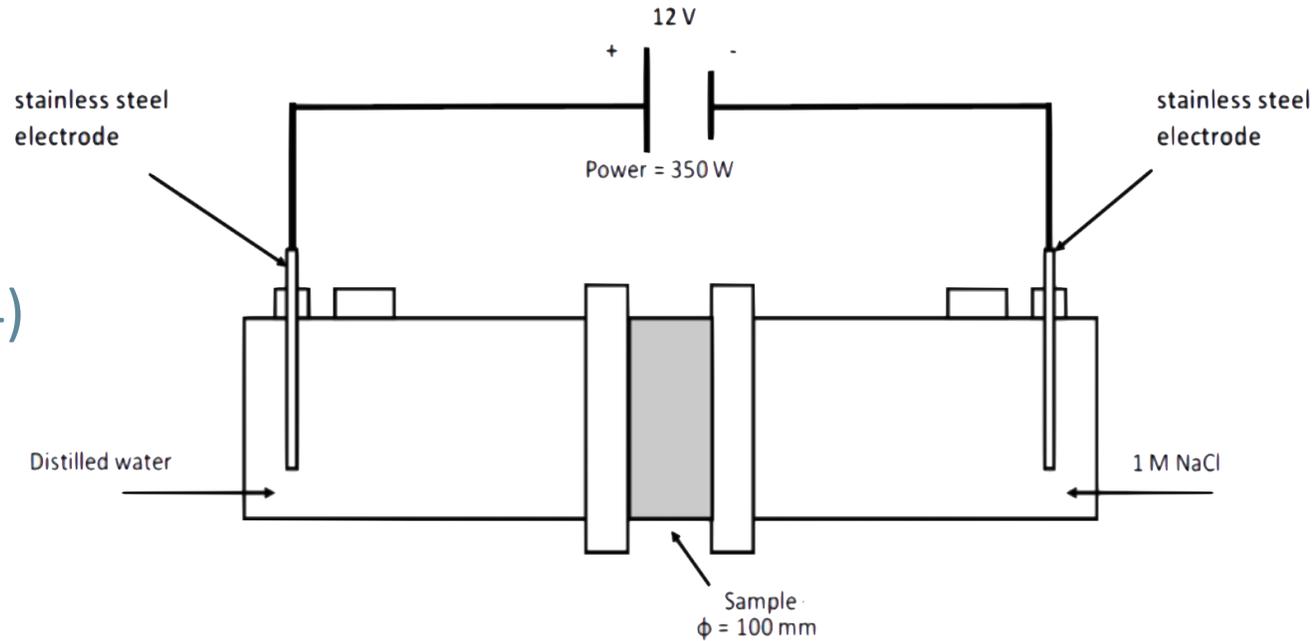
# MÉTODOS DE ENSAYO

## MÉTODO MULTIRRÉGIMEN

- ❖ PROPUESTO POR CASTELLOTE *et al.* (1994)
- ❖ NORMALIZACIÓN UNE 83987:2012;
- DURACIÓN DE UNAS SEMANAS;
- EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CLORURO EN LA CÁMARA DE ANODO;
- APORTA VALORES DE  $D_{NS}$  Y  $D_S$ ;

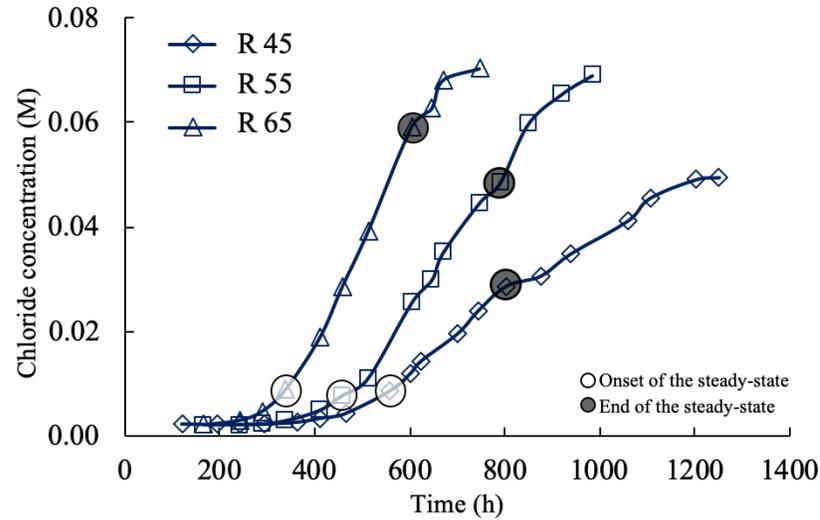
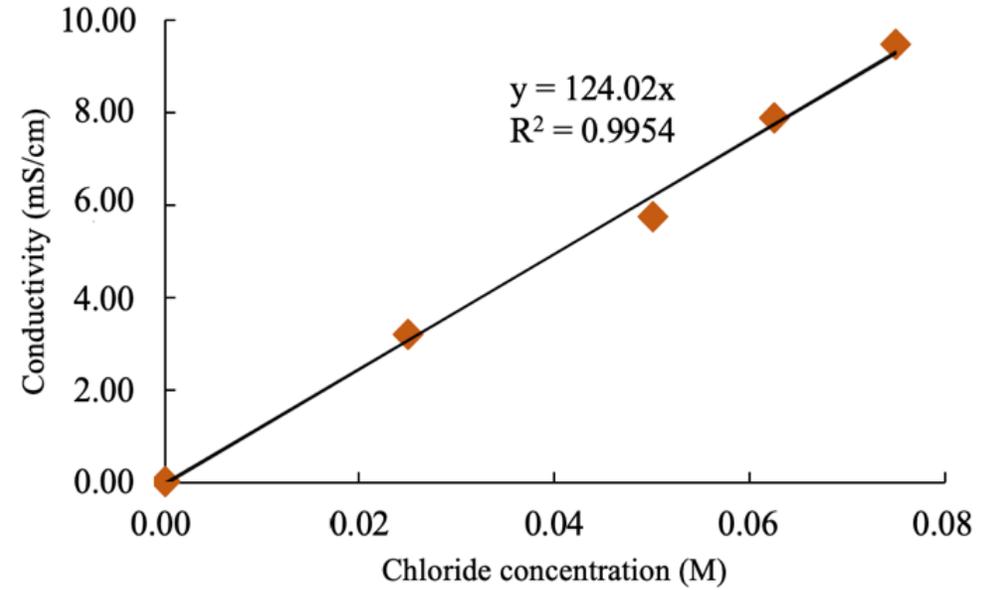
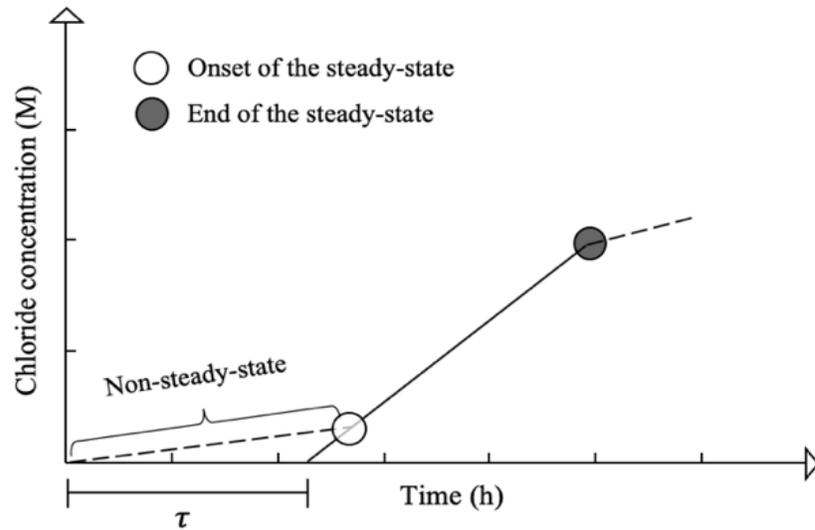
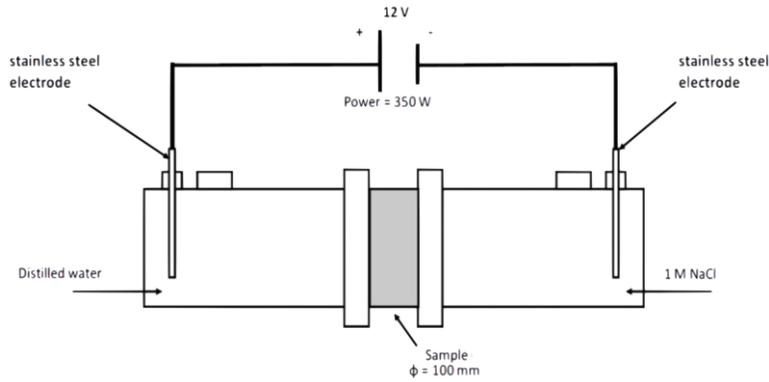
$$D_{ns} = \frac{2l^2}{\tau v^2} \left[ v \coth \frac{v}{2} - 2 \right] \quad v = \frac{ze\Delta\Phi}{kT}$$

$$D_s = \frac{J_{cl}RTl}{zFC_{cl}\gamma\Delta\theta} \quad J_{cl} = \frac{V}{A} \frac{dC}{dt}$$

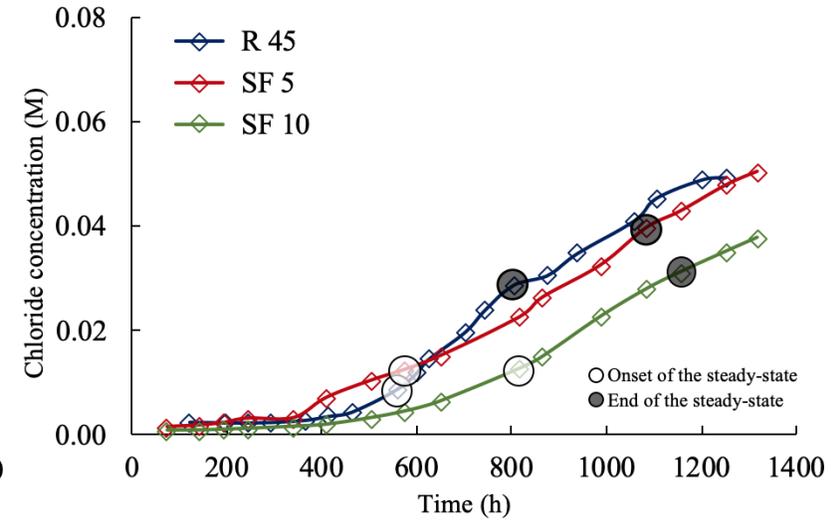


# MÉTODOS DE ENSAYO

## MÉTODO MULTIRRÉGIMEN



(a)



(b)

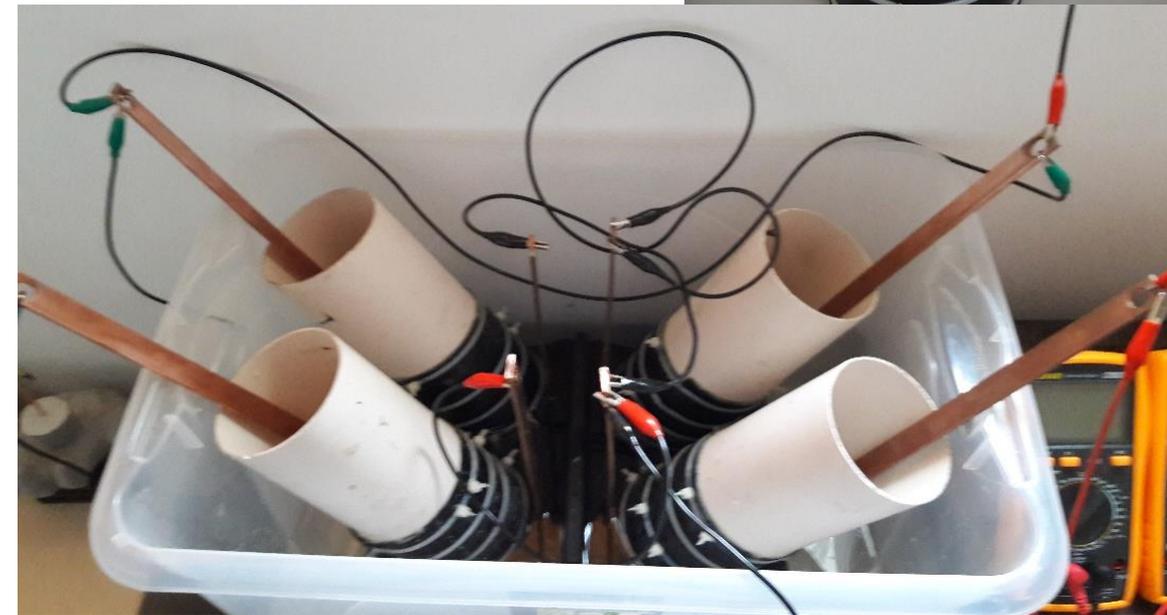
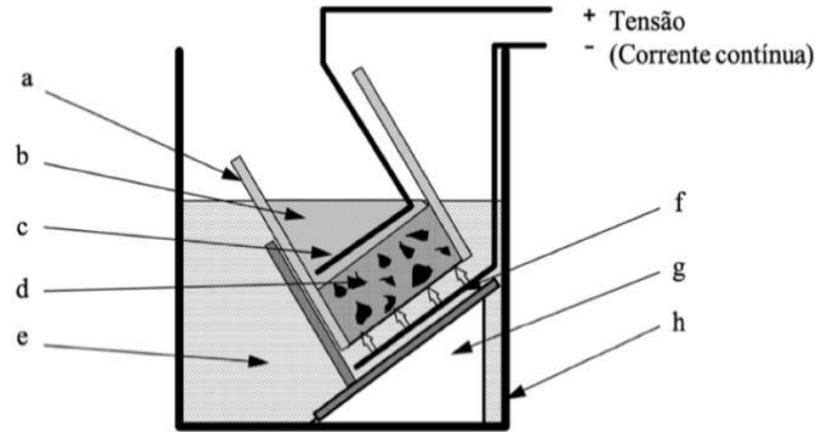
Sell Junior, F.K., et al. "Experimental assessment of accelerated test methods...", IBRACON Struct. Mat. J., 2021

# MÉTODOS DE ENSAYO

## RAPID CHLORIDE MIGRATION TEST

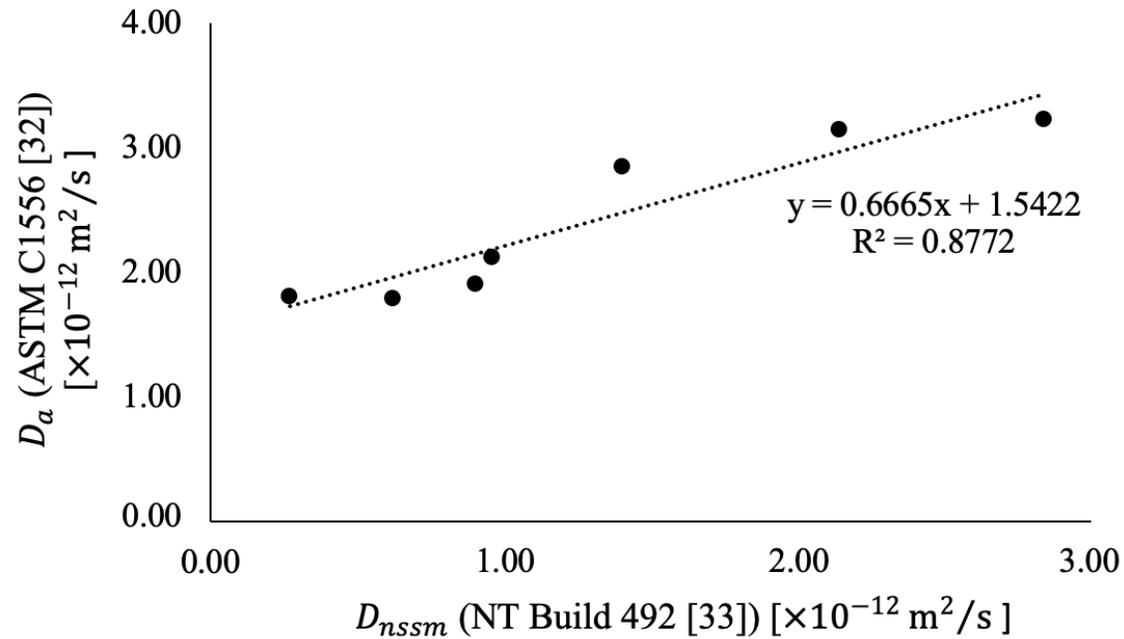
- ❖ PROPUESTO POR TANG (1996)
- ❖ NORMALIZACIÓN NT Build 492:1999;
- DURACIÓN ENTRE 6 Y 96 h;
- MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA DE LA SOLUCIÓN Y COMPROBACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN UTILIZANDO  $\text{AgNO}_3$ ;
- EL COEFICIENTE DE DIFUSIÓN (MIGRACIÓN)  $D_{nssm}$  SE CALCULA UTILIZANDO LA ECUACIÓN:

$$D_{nssm} = \frac{0,0239 (273 + T)L}{(U - 2)t} (x_D - 0,0238 \sqrt{\frac{(273 + T) L x_D}{U - 2}})$$

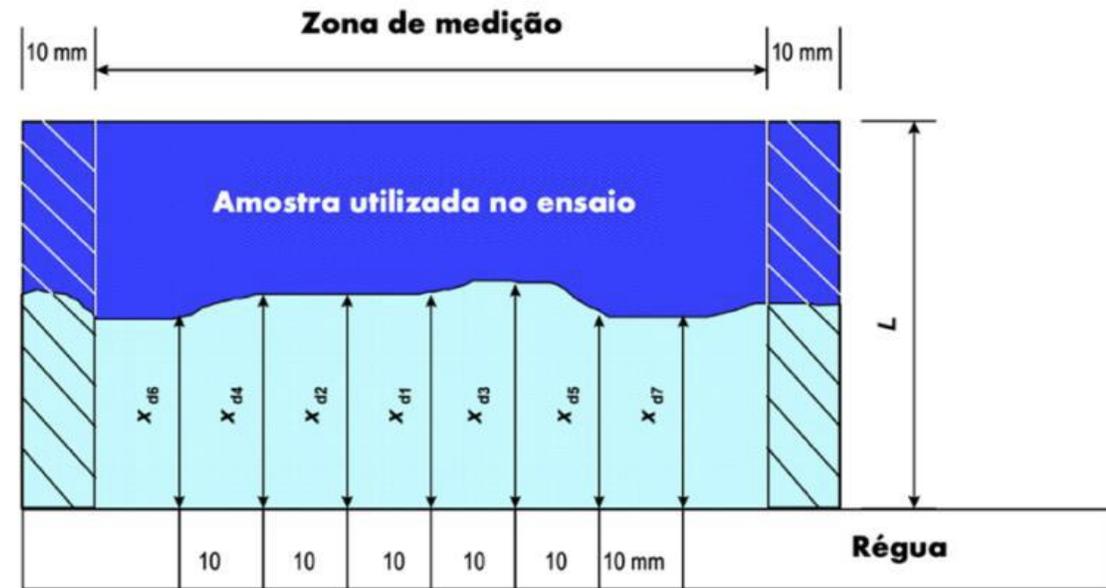


# MÉTODOS DE ENSAYO

## RAPID CHLORIDE MIGRATION TEST



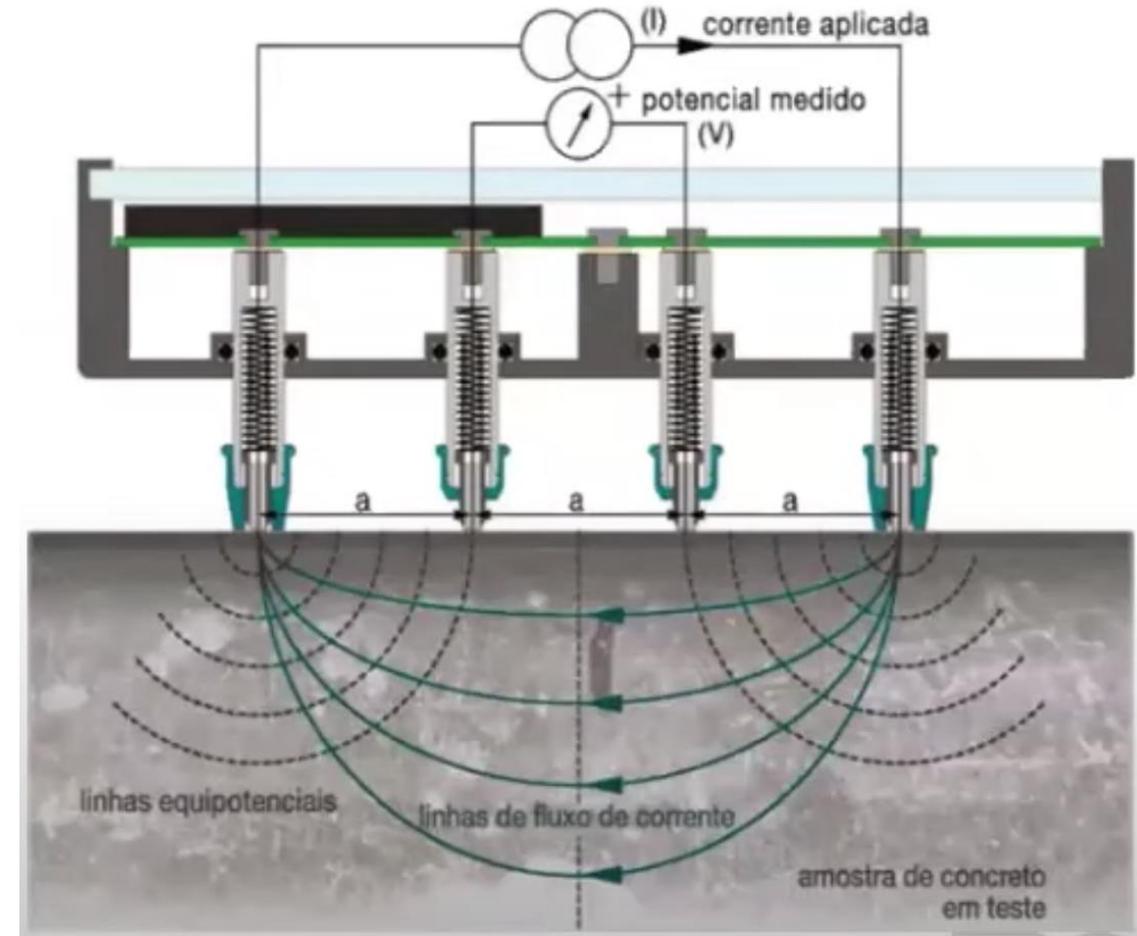
$$D_{nssm} = \frac{0,0239 (273 + T)L}{(U - 2)t} (x_D - 0,0238 \sqrt{\frac{(273 + T) L x_D}{U - 2}})$$



# MÉTODOS DE ENSAYO

## RESISTIVIDAD ELÉCTRICA SUPERFICIAL

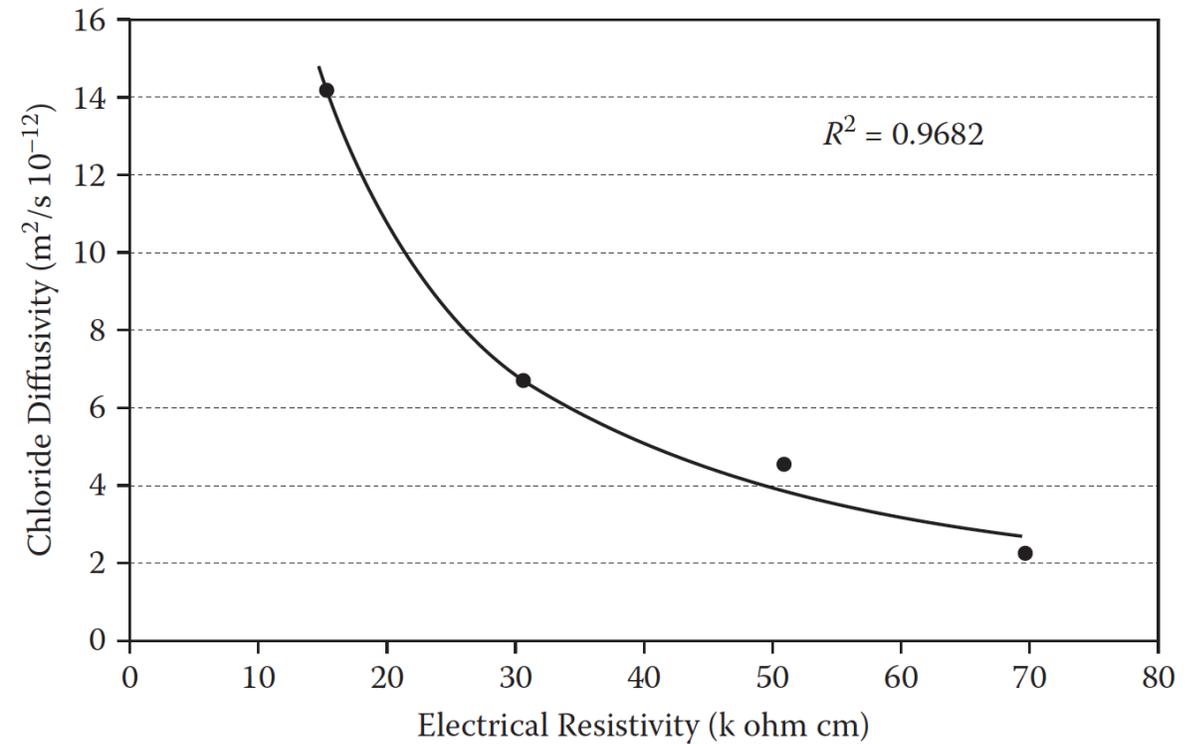
- ❖ LA RESISTIVIDAD DEL HORMIGÓN ES CRUCIAL PARA DEFINIR EL PERÍODO DE INICIO DE LA CORROSIÓN Y FUNDAMENTAL PARA LA PROPAGACIÓN DE LA CORROSIÓN
- ❖ UN MÉTODO SENCILLO Y MUY UTILIZADO ES EL MÉTODO DE LOS CUATRO ELECTRODOS (O MÉTODO WENNER)
- ❖ PERMITE LA MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD IN SITU Y DE FORMA NO DESTRUCTIVA
- ❖ UTILIZADO EN ALGUNOS PAÍSES NÓRDICOS PARA EVALUAR LAS CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN ELABORADO.



$$\rho = \frac{2 \pi a V}{I}$$

# MÉTODOS DE ENSAYO

## RESISTIVIDAD ELÉCTRICA SUPERFICIAL



## CONSIDERACIONES FINALES

- ❖ EL ENFOQUE DE LA DURABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO AVANZA HACIA EVALUACIONES DE DESEMPEÑO.
- ❖ LA INTRODUCCIÓN DE INDICADORES DE DURABILIDAD, LOS MODELOS DE PREDICCIÓN DE VIDA ÚTIL Y EL CONCEPTO DE VIDA ÚTIL CARACTERÍSTICA SE PRESENTAN COMO ASPECTOS FUNDAMENTALES EN LA EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES SUJETOS A AMBIENTES AGRESIVOS.

**¡GRACIAS!**

[lemcc@riogrande.ifrs.edu.br](mailto:lemcc@riogrande.ifrs.edu.br)

**Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção Civil – LEMCC**

[www.lemcc.com.br](http://www.lemcc.com.br)

Rua Eng. Alfredo Huch, 475 | Prédio 12

Bairro Centro | CEP 96201-460

Rio Grande - RS

