

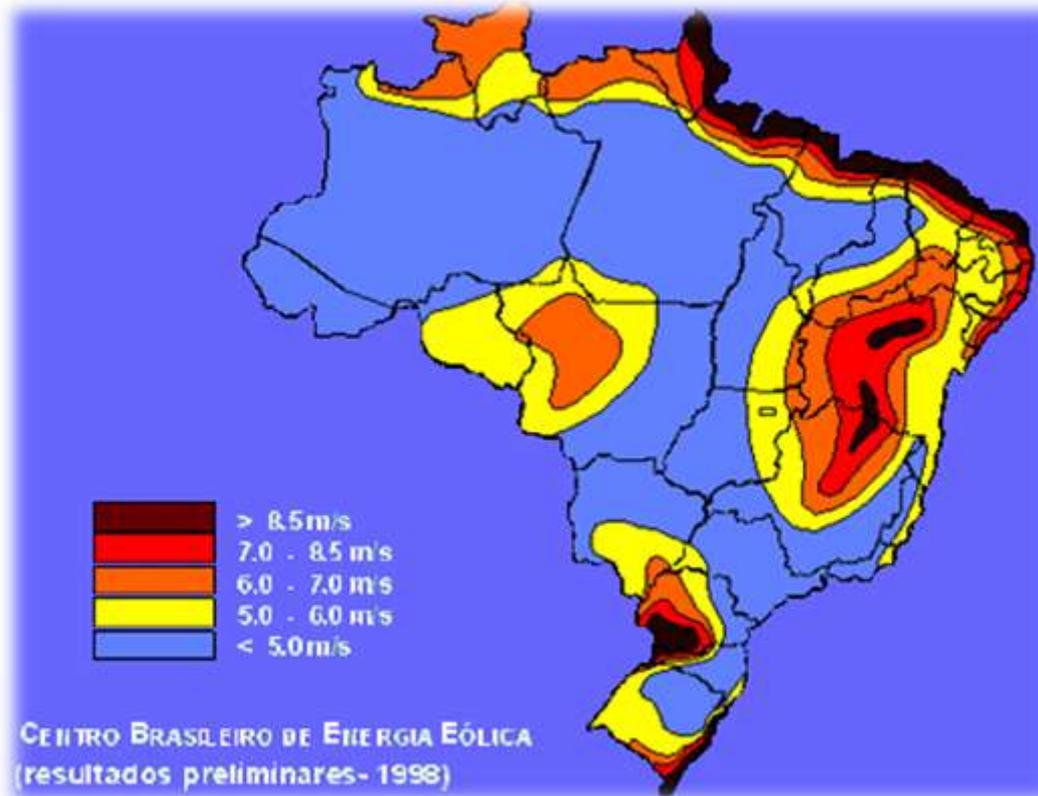


56°
congresso
Brasileiro
do
concreto
NATAL / RN



***“ Experiências no Controle
Tecnológico de Concreto em 22
Parques Eólicos no Nordeste “***

Potencialidades Eólicas



O potencial é imenso: Cerca de 250 000MW, ou seja, mais que o dobro de tudo que o Brasil tem instalado hoje em Hidrelétricas, Térmicas, Eólicas, Nuclear, etc...

Alguns Números do RN:

- Hoje tem no Rio Grande do Norte entre implantadas e em implantação mais de 20 Parques Eólicos.
- 900 Aero Geradores
- Investimento da ordem de 1 Bilhão
- Aproximadamente 500 mil metros cúbicos de concreto lançado.
- 50 mil toneladas de aço consumidas
- Aproximadamente 400.000 Corpos de Prova Moldados.

Dados do Projeto

ITEM	DESCRIÇÃO
FUNDAÇÃO	Estacas – Hélice Contínua / Estaca Raiz - > 12 metros
BLOCO DE COROAMENTO	Concreto Armado com : +- 400 m ³ de Concreto e +- 25 t de aço
TORRE	Torre em Concreto ou Aço - > 70,0 m
HÉLICE - PÁ	Em aço com ~ 60,0 m

Dados do Projeto



O Futuro para as próximas AE

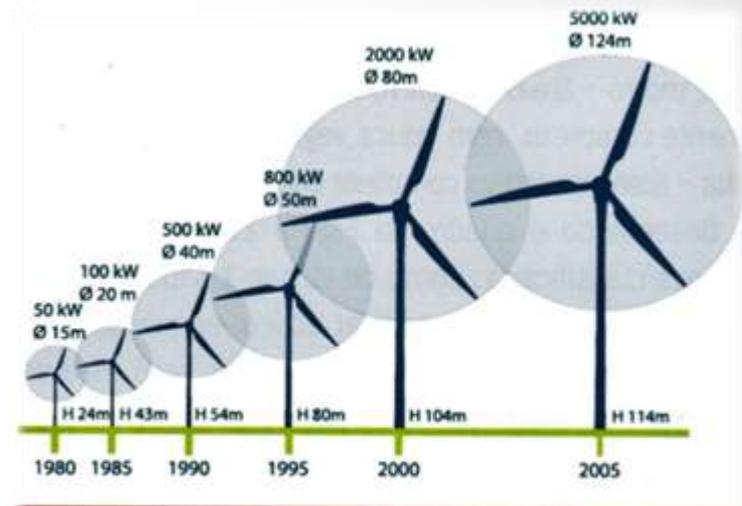


Figura 15 – Evolução da altura das torres com a potência das turbinas

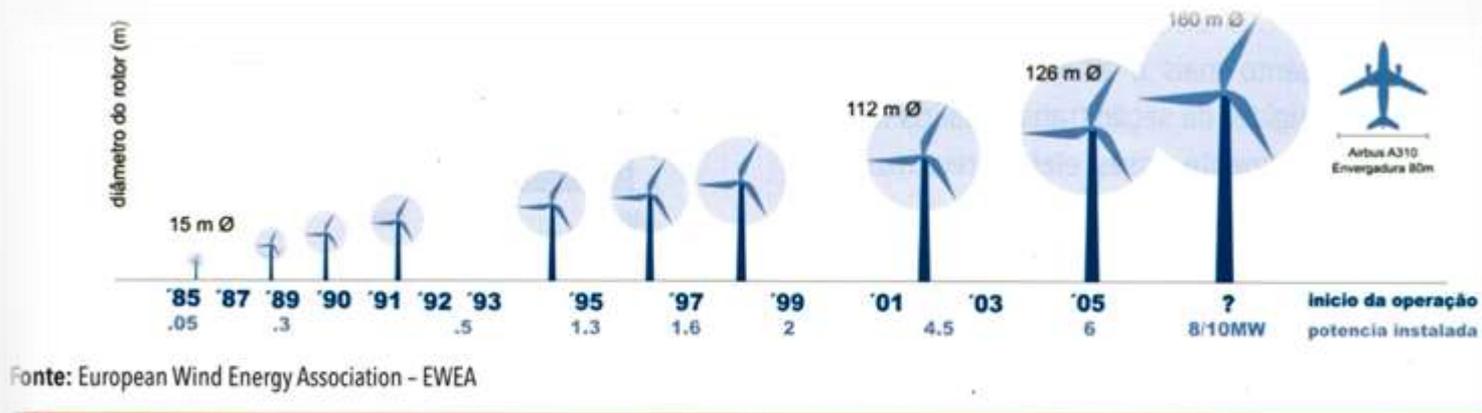
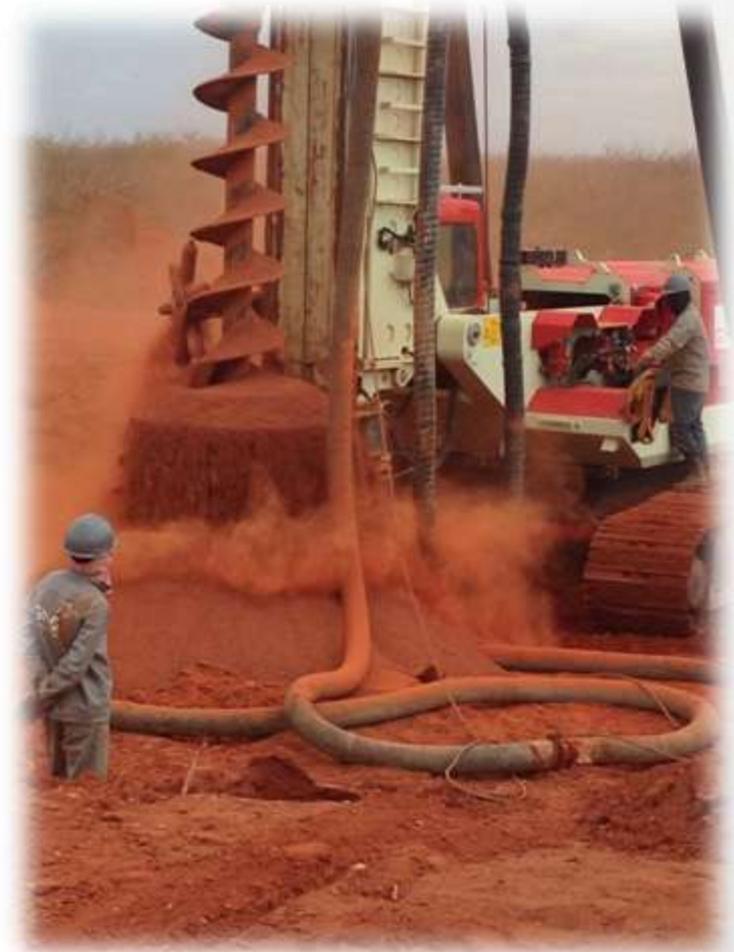


Figura 2 – Evolução das dimensões das turbinas eólicas

Tipos Concretos Comumente Utilizados

Tipos Concretos Utilizados

- **Concreto Fluido – Alto Adensável** para execução de Estacas do tipo Hélice Contínua.



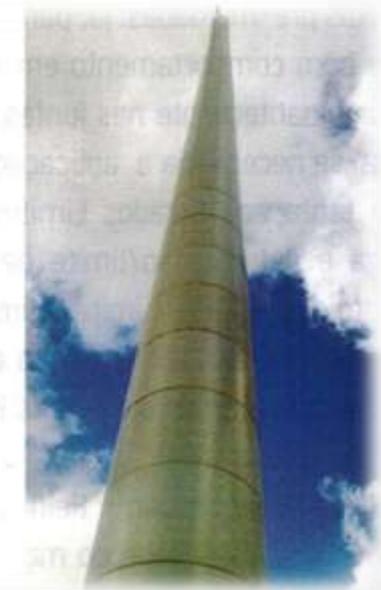
Tipos Concretos Utilizados

- **Concreto Massa Bombeável Utilizado nos Blocos de Coroamento (Bases)**



Tipos Concretos Utilizados

- **Concretos para
Fabricação de Torres**



Concreto Fluido

Slump 22 +/- 3cm



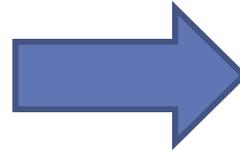
Dificuldades Específicas

- Introduzir +12 a 16 metros de armação nas estacas.
- Combater a absorção da água de amassamento por se tratar de solo arenoso.
- Diminuir o risco de segregação.
- Compatibilizar o custo x benefício.

A ESCOLHA DOS MATERIAIS

• CIMENTO

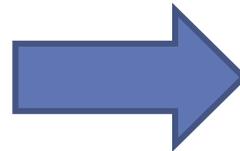
- Melhor compatibilidade Cimento x Aditivo
- Disponibilidade na Região
- Melhor Custo x Benefício



CP II
CP IV

• AGREGADO MIÚDO

- Maior Modulo de Finura
- Qualidade da Areia
- Disponibilidade na região
- Melhor Custo x Benefício

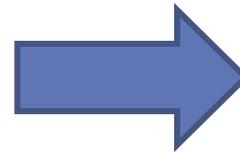


AREIA
GROSSA DA
REGIÃO

A ESCOLHA DOS MATERIAIS

• AGREGADO GRAÚDO

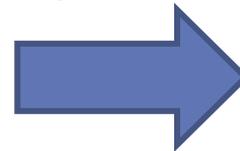
- Diâmetro Máximo Maior Possível
- Restrições Normativas: $1/5$ entre faces, $1/3$ da espessura da laje ou $3/4$ do menor espaço livre entre barras.
- Maior Cubicidade
- Disponibilidade na região
- Melhor Custo x Benefício



D_{max} # 9,5 mm

• ADITIVOS

- Compatibilidade com o cimento escolhido
- Redução de água
- Disponibilidade na região
- Melhor Custo x Benefício



POLIFUNCIONAL

CONCRETO COM ABATIMENTO 22 +/- 3



CONCRETO PARA ESTACAS EXECUTADAS COM HÉLICE CONTINUA



Dificuldade - Introdução



Introduzindo a Armação



Finalizando a Introdução



Dificuldades – Segregação ???



Estacas após concretagem



CONCRETO MASSA BOMBEÁVEL

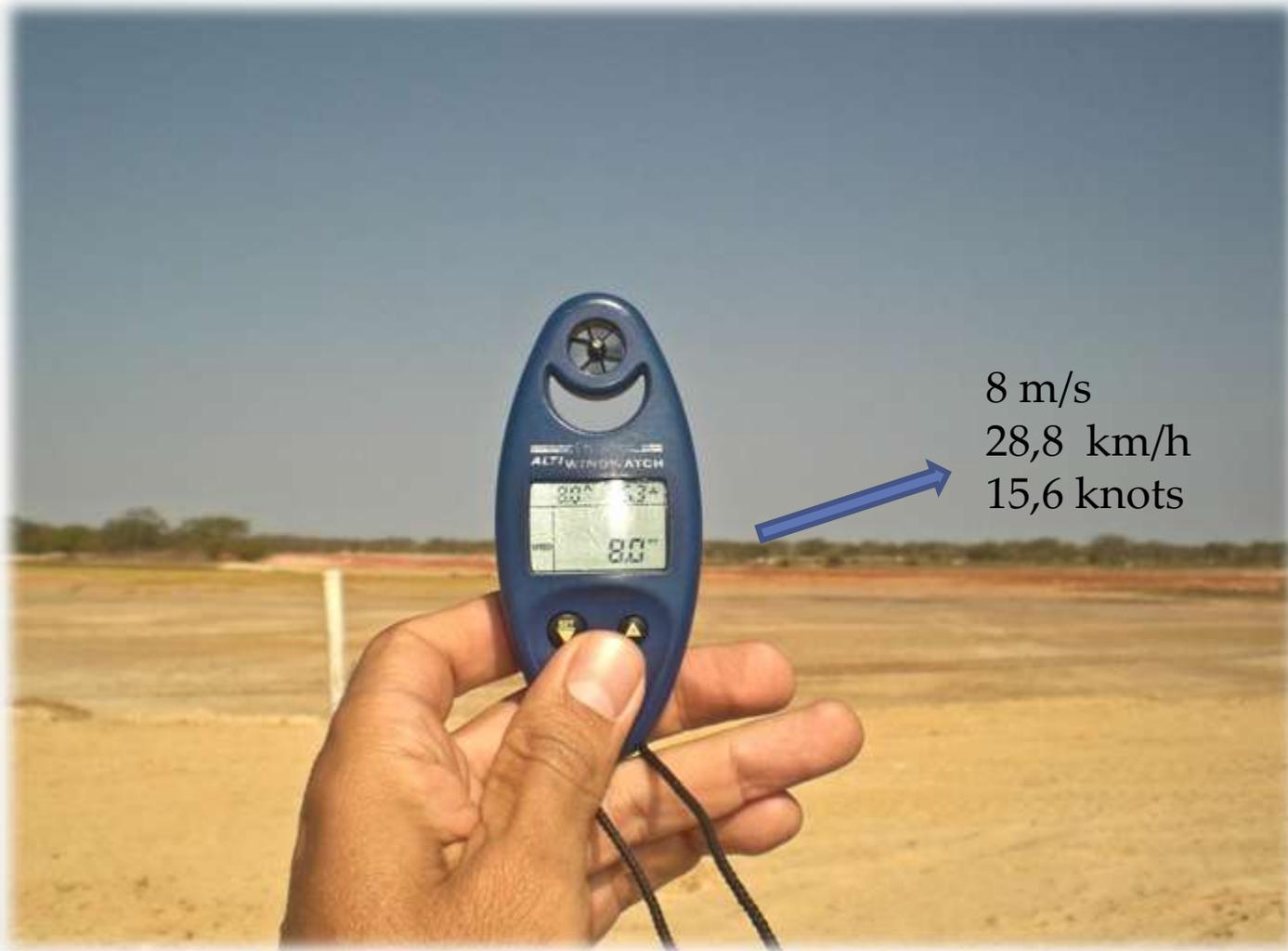


Cuidados Específicas na Execução do Concreto das Bases

- **Combater os efeitos negativos da temperatura por se tratar de concreto massa.**
- **Atenuar o Risco de Fissuração por:**
 - RETRAÇÃO PLÁSTICA
 - RETRAÇÃO HIDRAULICA
 - FISSURAÇÃO POR ASSENTAMENTO PLÁSTICO
 - REAÇÃO ALCALI-AGREGADO
 - REAÇÃO POR ETRIGITA TARDIA
 - CONTRAÇÃO TERMICA INICIAL
- **Determinar a trabalhabilidade do concreto**
- **Compatibilizar o custo x benefício.**

Dificuldades na Execução do Concreto das Bases em Usinas Eólicas no Nordeste

Anemômetro – Velocidade do Vento



Temperatura da Água ao Descarregar



Caminhões de Cimento aguardando o descarrego



Temperatura do Agregado Graúdo



Temperatura do Agregado Miúdo



A ESCOLHA DO ABATIMENTO

TRABALHABILIDADE

X

MENOR CUSTO

Abatimento 8, 10 ou 12 cm ?



Abatimento 8, 10 ou 12 cm ?

Condições de Lançamento



Abatimento 8, 10 ou 12 cm ? Condições para Vibração



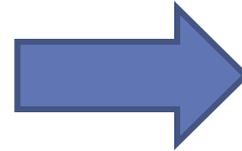
Abatimento 8, 10 ou 12 cm



A ESCOLHA DOS MATERIAIS

- **CIMENTO**

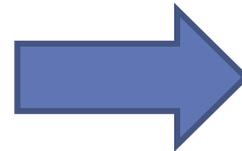
- Baixo Calor de Hidratação
- Disponibilidade na região
- Maior Velocidade de Exsudação
- Melhor Custo x Benefício



CP IV 32 RS BC

- **AGREGADO MIÚDO**

- Maior Modulo de Finura
- Disponibilidade na Região
- Melhor Custo x Benefício

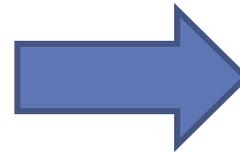


**AREIA
GROSSA
NATURAL**

A ESCOLHA DOS MATERIAIS

- **AGREGADO GRAÚDO**

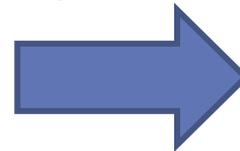
- Diâmetro Máximo Maior Possível
- Restrições Normativas; $1/5$ entre faces, $1/3$ da espessura da laje ou $3/4$ do menor espaço livre entre barras.
- Maior Cubicidade
- Disponibilidade na região
- Melhor Custo x Benefício



Dmax # 19 mm

- **ADITIVOS**

- Compatibilidade com o cimento escolhido
- Maior % de redução de água
- Disponibilidade na região
- Melhor Custo x Benefício



POLIFUNCIONAL

“Dificuldades para
Compatibilizar o Combate
das Fissuras
por Tensões Térmicas e
Retração Plástica”

“Quando a taxa de evaporação é superior a “velocidade de exsudação” do concreto, não sendo possível repor , em tempo hábil, a água evaporada, ocorrerá tensões de tração que produzirão fissuras inicialmente superficial e dependendo da TE fissuras com até 20 mm de profundidade.”

Texto extraído da Revista 65 Concreto Claudio Oliveira Souto

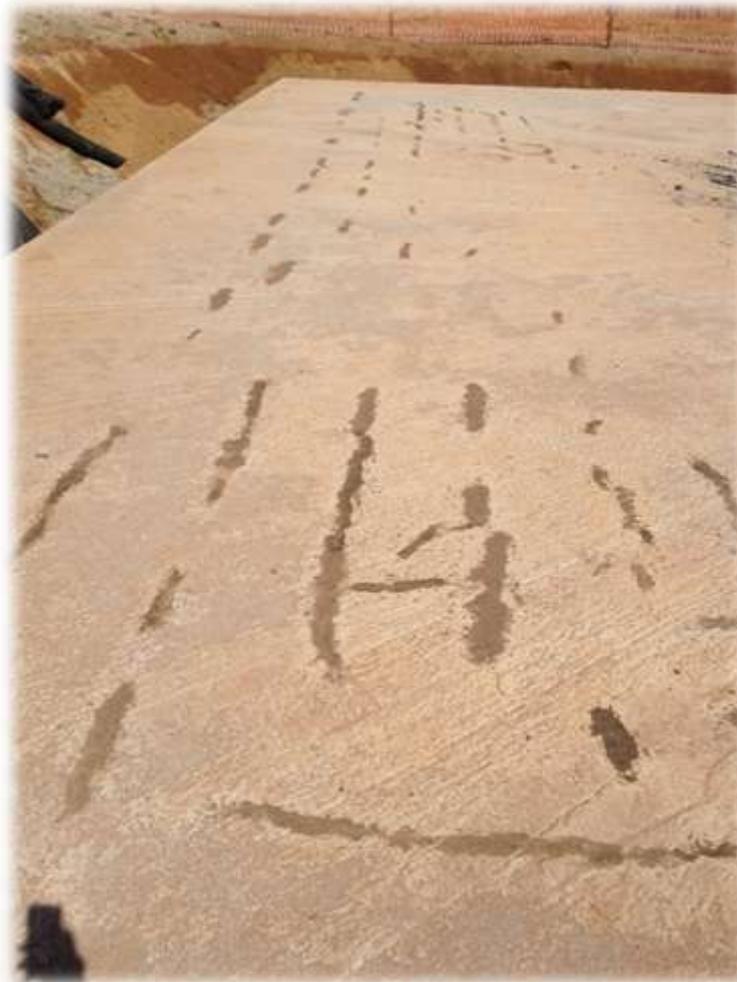
Principais dificuldades e como conviver e/ou atenuar

- Tensões provocadas pela reação exotérmica do cimento.
- Ventos constantes em torno de $8,5 \text{ m/s} = 30,6 \text{ Km/h}$.
- A temperatura que o cimento chega no canteiro (60 e 80 °C) , principalmente pela questão de demanda .
- Temperatura ambiente entre 25 e 35 °C em grande parte do ano.
- A alta temperatura dos agregados e a dificuldade de resfriá-los.

O Fenômeno é Real e Custa Caro



O Fenômeno é Real



RISCO DE FISSURAÇÃO ATRAVÉS DA TAXA DE EVAPORAÇÃO

(Kosmatka e at al, 2002)

TE é a combinação de diversos fatores;

- *Temperatura do Concreto*
- *Temperatura do ambiente*
- *Umidade Relativa do Ar*
- *Velocidade do Vento*

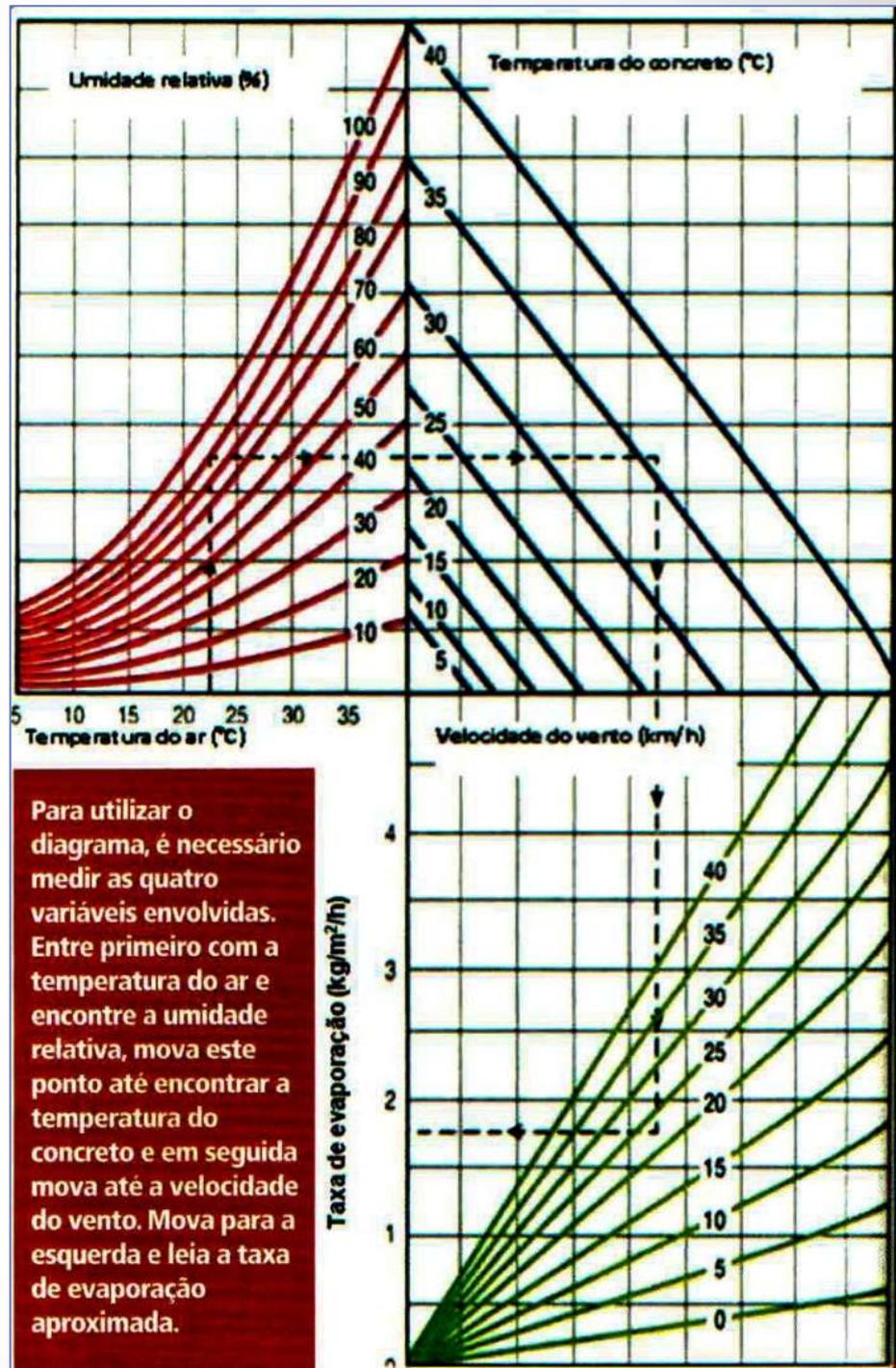
TAXA DE EVAPORAÇÃO	RISCO DE FISSURAÇÃO
0 a 0,5	Improvável
0,5 a 1	Moderada
> 1	Elevado

DIAGRAMA PARA OBTENÇÃO DA TAXA DE EVAPORAÇÃO

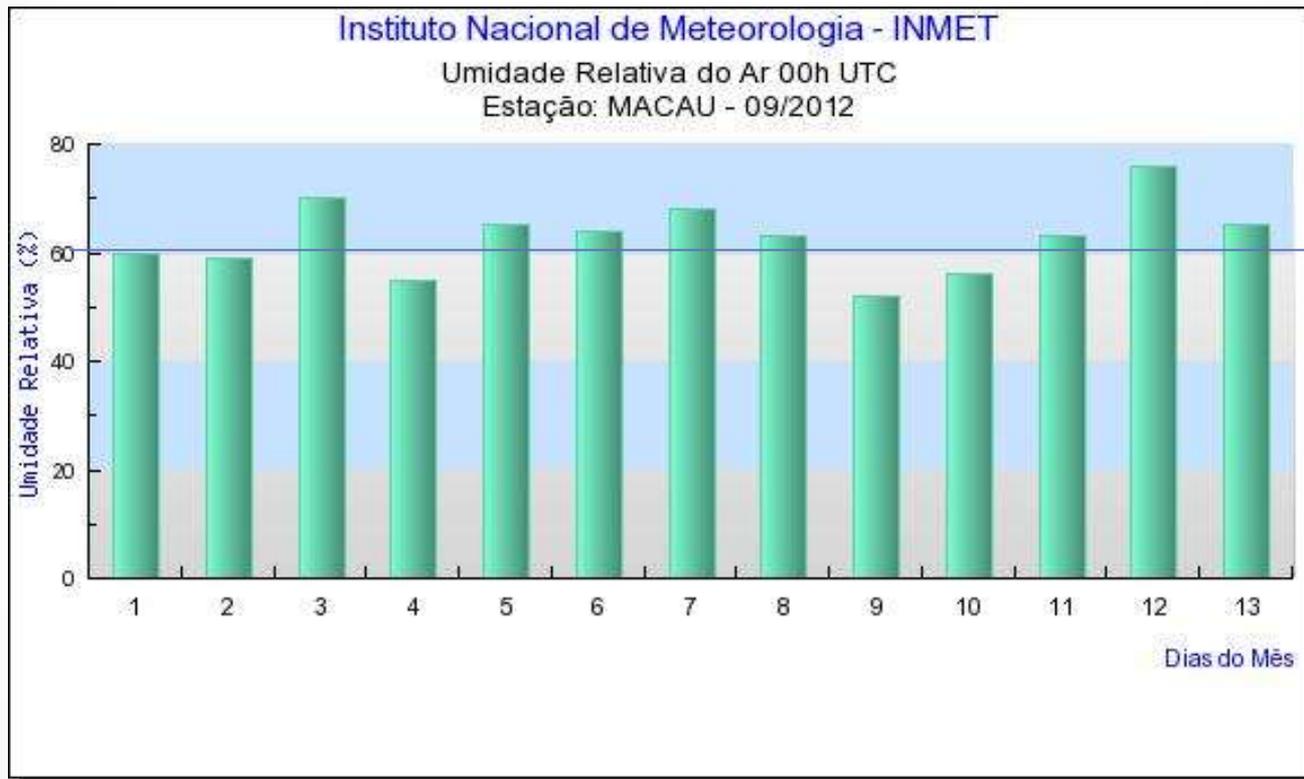
(Kosmatka e at al, 2002)

TE é a combinação de diversos
fatores;

- *Temperatura do Concreto*
- *Temperatura do ambiente*
- *Umidade Relativa do Ar*
- *Velocidade do Vento*



Umidade Relativa do Ar



TRAÇO – $F_{ck} = 30,0 \text{ Mpa}$

COMPONENTE	QUANTIDADE
CIMENTO	390
AGREGADO MIÚDO	950
AGREGADO GRAÚDO	980
ÁGUA	190
ADITIVO POLIFUNCIONAL	2,8

TEMPERATURA DO CONCRETO FRESCO

- $$T = \frac{0,22 (T_a \cdot M_a + T_c \cdot M_c) + T_w \cdot M_w + T_{wa} \cdot M_{wa}}{0,22 (M_a + M_c) + M_w + M_{wa}}$$

NRMCA (*Nacional Ready Mix Concrete Association*), 1962

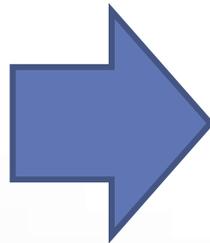
Onde:

- T = temperatura do concreto fresco
- T_a = temperatura do agregado
- T_c = temperatura do cimento
- T_w = temperatura da água
- T_{wa} = temperatura da água livre no agregado
- M_a = massa do agregado
- M_c = massa do cimento
- M_w = massa da água
- M_{wa} = massa de água livre no agregado

TEMPERATURA DO CONCRETO FRESCO

Simulação a temperatura ambiente :

- $T_a = 30 \text{ °C}$ (agregados)
- $T_c = 60 \text{ °C}$ (cimentos)
- **$T_w = 29 \text{ °C}$ (água)**
- $T_{wa} = 30 \text{ °C}$ (água livre no agregado)
- $M_a = 1800$ (massa do agregado)
- $M_c = 390$ (massa do cimento)
- $M_w = 190$ (massa da água)
- $M_{wa} = 10$ (massa de água livre no agregado)
- **$T = 32,7 \text{ °C}$**

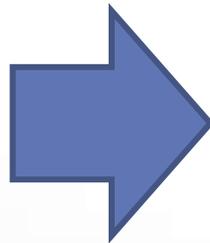


Taxa de Evaporação = 2,0

TEMPERATURA DO CONCRETO FRESCO

Simulação a temperatura ambiente :

- $T_a = 30 \text{ °C}$ (agregados)
- $T_c = 60 \text{ °C}$ (cimentos)
- **$T_w = 10 \text{ °C}$ (água)**
- $T_{wa} = 30 \text{ °C}$ (água livre no agregado)
- $M_a = 1800$ (massa do agregado)
- $M_c = 390$ (massa do cimento)
- $M_w = 190$ (massa da água)
- $M_{wa} = 10$ (massa de água livre no agregado)
- **$T = 28,5 \text{ °C}$**

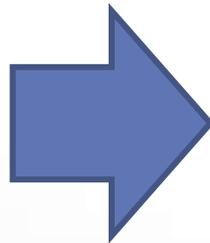


Taxa de Evaporação = 1,0

TEMPERATURA DO CONCRETO FRESCO

Simulação a temperatura ambiente :

- $T_a = 30 \text{ °C}$ (agregados)
- $T_c = 60 \text{ °C}$ (cimentos)
- **$T_w = 5 \text{ °C}$ (água)**
- $T_{wa} = 30 \text{ °C}$ (água livre no agregado)
- $M_a = 1800$ (massa do agregado)
- $M_c = 390$ (massa do cimento)
- $M_w = 190$ (massa da água)
- $M_{wa} = 10$ (massa de água livre no agregado)
- **$T = 26,5 \text{ °C}$**



Taxa de Evaporação = 0,5

RISCO DE FISSURAÇÃO ATRAVÉS DA TAXA DE EVAPORAÇÃO

(Kosmatka e at al, 2002)

TAXA DE EVAPORAÇÃO	RISCO DE FISSURAÇÃO
0 a 0,5	Improvável
0,5 a 1	Moderada
> 1	Elevado

Para cimentos com adição de pozolanas o recomendado é que a TE deverá ser de 0,5 Kg/m²/H.

Ações Práticas Mitigadoras

Resfriamento dos Agregados



Resfriamento da água de amassamento



Temperatura da Água após passar nas câmaras de resfriamento



Liberação do Concreto para Lançamento – NBR 12 655



Monitorando a temperatura do Concreto a ser lançado



Cura

Aplicação da Cura Química



Aplicação da Cura Química



Fissuras no concreto em estado fresco $TE > 1,0$



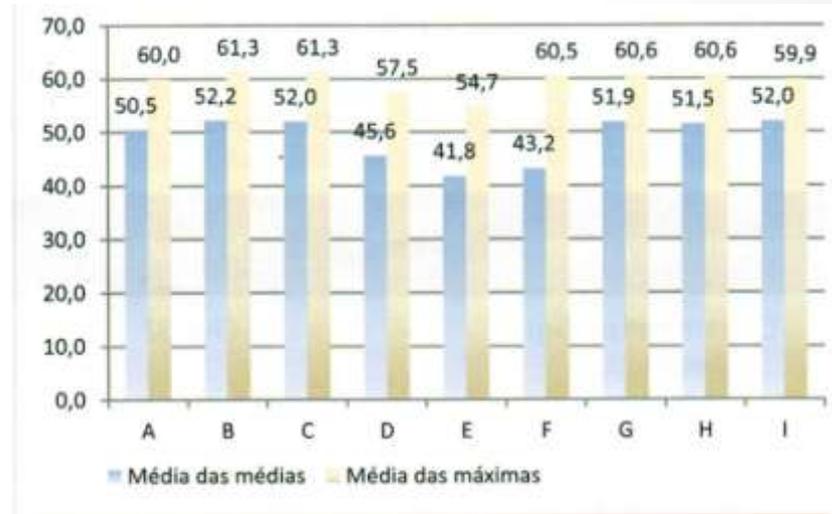
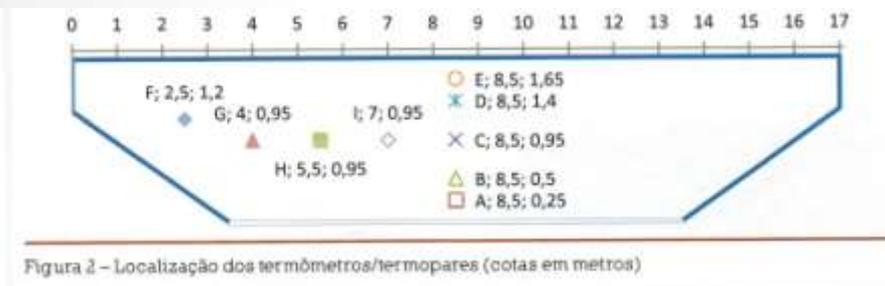
Monitorando a Temperatura através de sensores do concreto ainda fresco



Monitorando a Temperatura superficial



Monitorando a Temperatura do concreto a longo de 7 dias



Fissuração por tensões térmicas



No início a Cura Úmida



Cura Úmida até o 7º dia



Cura Úmida até o 7º dia



Cura Úmida



Usinas Eólicas

Uma Solução de Energia Limpa



OBRIGADO !

www.eepc.com.br

