

## 6. Referências Bibliográficas

ACHÁ, E. H. **Bamboo : high tech material for concrete reinforcement**. 2011. Tese doutorado – Faculdade de engenharia Civil, PUC–Rio, Rio de Janeiro, 2011.

ACHÁ, E. H. **Estudo teórico experimental a flexão de lajes de concreto reforçadas com bambu**. 2002. Dissertação de Mestrado–Faculdade de engenharia Civil, PUC–Rio, Rio de Janeiro, 2002.

AMADA, S. & UNTAO, S. Fracture properties of bamboo. **Composites part B: Engineering**. n.32, 2001, p.451-459.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI-318: Building code requirements for reinforced concrete. Detroit, 1971.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary (ACI 318R-08)**. Farmington Hills: Michigan, 2008.

ANINK, D., BOONSTRA, C., & MAK, J.: *Handbook of Sustainable Building. An Environmental Preference Method for Selection of Materials for Use in Construction and Refurbishment*, Londres, 1996, 176p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118. Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**. ABNT: Rio de Janeiro, 2007.

CAST V. 0.9.11 (**Computer Aided Strut-and-Tie - program**) .University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL. Disponível em: <http://dankuchma.com/stm/STM/Models.htm>.

CEB-FIB. **Model Code: First Complete Draft**. v. 1. International Federation for Structural Concrete: Lausanne, Switzerland, 1999, 224 p.

CHOW, H. K. **Bamboo as material for reinforcing concrete**, 1914. Tesis doutorado - Massachusetts Institute of Technology, 1914, 121p.

COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON/Federation Internationale de la Precontrainte, **CEB - FIP (1978)**. Paris, 1978.

COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON/FEDERATION INTERNATIONALE DE LA PRECONTRAINTE. **CEB-FIP: recommendations for the design and construction of concrete structures. Deep beams**. Information bulletin n.73 - Appendix 3, p.17-24. Paris, June 1970.

CRIST, R.A. **Shear behavior of deep reinforced concrete beams**: Proc.Int. Symposium on repeated loading of materials and structures. Mexico, 1966.

CRIST,R.A. **Shear behavior of deep reinforced concrete beams**: Static tests, AFWL-TR-67-61,Kirtland air force base, 1967.

CUSENS, A.R & BESSER, I. (1985). Shear strength of concrete wall beams under combined top and bottom loads. **The Structural Engineer**.V. 63B, n.3, 1985, p. 50.

DIAZ de, C. R., GOULD, P. L., MEASON, J. G., MOE, J., SMOOT, L.V., SOZEN, M. A., HAWKINS, N. M. & COMMITTEE 326 .Shear and diagonal tension. **Journal of the American Concrete Institute**. V.59, n.2, 1962, p.277-333.

DISCHINGER, F. Contribution to the theory of wall-like girders. **International Association for Bridge and Structural Engineering**, V.1., 1932 ,p.69-93.

FANG, H.Y. & MEHTA, H.C. **Sulphur-sand treated bamboo rod for reinforcing concrete structure**. In: D.J. Bourne, Editor, New Uses of Sulphur — II (Third revision), Advances in Chemistry. Am. Chemical Society. n. 165, 1978, p. 241–258.

GHAVAMI, K. & MARINHO, A. B. Determinação das propriedades dos bambus das espécies : *Mosó, Matake, Guadua Tagora e Dendrocalamus giganteus* para a utilização na engenharia. Publicação RMNC bambu. Departamento de engenharia civil Da PUC- Rio, Rio de Janeiro, 2001.

GHAVAMI, K. & ZIELINSKI, Z.A. **Permanent shutter bamboo reinforced concrete slab**.BRCS1, Civil Eng. Dept., Concordia University, Montreal, Canada. 1988.

GHAVAMI, K. Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. **Cement concrete & composites**. n. 27, 2005, p. 637–649.

GHAVAMI, K. Ultimate load behavior of bamboo – reinforced lightweight concrete beams. **Cement & concrete composites**. n. 17, 1995, p. 281-288.

GLENN, H. E. **Bamboo reinforcement in portland cement concrete**. Engineering Experiment Station, Clemson University, V.4, 1950, 171p.

GOMES, R. B. **Análise experimental de vigas parede continuas de concreto armado** 1985. Dissertação de Mestrado–Faculdade de engenharia Civil, PUC–Rio, Rio de Janeiro, 1985.

GUIMARÃES, G. B. **Análise experimental de vigas parede de concreto armado enrijecidas por pilares laterais**. 1980. Dissertação de Mestrado–Faculdade de engenharia Civil, PUC–Rio, Rio de Janeiro, 1980.

HIDALGO, O. **Study of Mechanical Properties of Bamboo and its Use as Concrete Reinforcement: Problems and Solutions**, 1992. Centro Interamericana del Bambu (CINBA). Proceedings of the Vth International

Bamboo Workshop and the IV International Bamboo, Bali-Indonesia, 1995, p.76-91.

JANSSEN JJA. **Designing and building with bamboo**. INBAR, Working Paper. n. 20,2000, 211p.

KAMESWARA RAO, C. V. S. & DAYARATNAM, E. **Effect of reinforcement on ultimate strength of deep beams**. International Symposium on Bearing Walls, Warsaw. June 1969, Paper No. 15.

KONG, E K. & SINGH, A. Diagonal cracking and ultimate loads of lightweight concrete deep beams. **Journal of the American Concrete Institute**. V. 69, n. 8, August 1972, p.513-21.

KONG, F. K. & WONG, H, H, A. Stability and strength of slender concrete deep beams. in: \_\_ Chapter 10, **Reinforced concrete deep beams**. Book edited by K. K.Kong. Glasgow and London , Blackie & Son Ltd, 1990, p. 238 – 283.

KONG, F. K., ROBINS, P.J. , KIRBY, D.P. & SHORT, D.R. , Deep beams with inclined web reinforcement. **Journal of the American Concrete Institute**. V.69, n.3, March 1972, p.172-176.

KONG, F. K.; GARCIA, R.C.; PAINE, J. M.; WONG, H.M. A.; TANG, C. W. J. & CHEMROUK, M. Strength and stability of slender concrete deep beams. **The Structural Engineer**. V. 64B, n.3, September 1986, p. 49-56.

KONG, F. K; ROBINS, P.J & COLE, D.F. Web reinforcement effects on deep beams. **Journal of the American Concrete Institute**. December 1970. V. 67, n.12, p.1010-1017.

KONG, F.K. & ROBINS, P.J. Web reinforcement effects on light weight concrete deep beam, **Journal of the American Concrete Institute**. V.68, n. 7, July 1971, p. 514-520.

KOTSOVOS, M. D. Compressive force path concept:basis for ultimate limit state reinforced concrete design. **Journal of the American Concrete Institute**. V. 85, n. 1, January 1988, p.68-75.

KOTSOVOS, M. D. Desin of reinforced concrete deep beams, **The Structural Engineer**. V. 66, n.2, January 1988, p. 28-32.

KOWALSKI, T.G. Bamboo-reinforced concrete. **Indian Concrete Journal**. April 1974, p. 119–121.

KUMAR, P. Collapse load of deep reinforced concrete beams. **Magazine of Concrete Research**. V. 28. n. 94, March 1976, p. 30-36.

KUMAR, R, Short term deflections of deep beams. **Journal of the American Concrete Institute**. V.75, n. 8, August 1978, p. 381-3.

LEONHARDT, F & MÖNNIG, E. **Construções de concreto**.V.2. Editora Interciência. 1978, 162p.

LEONHARDT, F. **Poutres-Cloisons: Structures planes charges parallèlement à leur plan moyen**. Comité Européen du Béto. Bulletin D'information.n.65, p. 1-113. Paris, 1968.

LIMA Jr., H. C., BARBOSA, N. P., WILLRICH, L., DALCANAL, P. R. **Características mecânicas do bambu *Dendrocalamus giganteus*: Análise teórica e experimental**. João pessoa. Sustainable construction into the next millenium. Universidade Federal da Paraíba, 2000.

MANUEL, R. F., SLIGHT, B.W. & SUTER, G.T. Deep beams behavior affected by length and shear span variation, **Journal of the American Concrete Institute**. V. 68, n. 12, December 1971, p. 954-958.

MARTI, P. Basic tools of Reinforced Concrete beam design. **Journal of the American Concrete Institute**. February 1985. V.92, n.1, p.45-56.

MAU. S. T. & HSU, T. T. C. Shear strength prediction for deep beams with web reinforcement. **Journal of the American Concrete Institute**. V.84, n. 6, November- December 1987, p.513 – 523.

MELO, G. S. S. DE AZEVEDO. **Análise paramétrica de vigas parede de concreto armado pelo método dos elementos finitos**. 1984. Dissertação de Mestrado. Dissertação de Mestrado–Faculdade de engenharia Civil, PUC–Rio, Rio de Janeiro, 1984.

MIGUEL P.F., FERNÁNDEZ M.A., BONET J.L., MARTÍ J.R., NAVARRO K., CASTRO M.C. & PALLARÉS L. **Proyecto de Estructuras de hormigón mediante el Método de las Bielas y Tirantes**. 2ª Ed. Ediciones Vj, , Valencia 2009, 346 p.

MOHAMMAD, M, MOHD, Z, ASHRAF, A & MOHAMMED, J. (2011). Failure modes and serviceability of high self compacting concrete deep beams. **Engineering Failure Analysis**, V. 18, 2011, p. 2272–2281.

MOHAMMADHASSANI, M., JUMAAT, M. Z. & JAMEEL, M. Experimental investigation to compare the modulus of rupture in high strength self compacting concrete deep beams and high strength concrete normal beams. **Construction and Building Materials**. n. 30, 2012, p. 265–273.

MOREIRA, L.E. **Aspectos singulares das treliças de bambu: Flambagem e conexões bambu**. 1998. Tese de doutorado–Faculdade de engenharia Civil, PUC–Rio, Rio de Janeiro, 1998.

MOREIRA, L.E. **Desenvolvimento de estruturas treliçadas espaciais de bamboo**. 1991. Dissertação de Mestrado–Faculdade de engenharia Civil, PUC–Rio, Rio de Janeiro, 1991.

MOURA, J. R. BRÍGIDO. **Análise de estruturas de concreto armado pelo M. E. F. usando relações constitutivas bidimensionais de base experimental**.

1980. Dissertação de Mestrado–Faculdade de engenharia Civil, PUC–Rio, Rio de Janeiro, 1980.

NEPOMUCENO, C. L. **Análise de vigas-parede aplicando modelo de biela e tirante e microtreliça**. Dissertação de Mestrado–Faculdade de Tecnologia, UnB, Brasília, 2012.

NILSON, A. H. **Diseño de estructuras de concreto**. Editora Emma ariza. 2000, 722p.

PEREIRA DA ROSA, S. **Análise teórica e experimental de colunas de concreto armado com bambu**. 2002. Dissertação de Mestrado–Faculdade de engenharia Civil, PUC–Rio, Rio de Janeiro, 2002.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. **PCA. Concrete Information ST66: Design of deep girders**. Chicago , 1946.

RAMAKRISHNAN, V. & ANANTHANARAYANA, Y. Ultimate strength of deep beams in shear. **Journal of the American Concrete Institute**. V.65, n. 2, February 1968, p.87-98.

RAMAKRISHNAN, V. & ANANTHANARAYANA, Y. Ultimate strength of deep beams in shear. **Journal of the American Concrete Institute**. V.65, n.2, February 1968, p. 87-98.

RAWDON de PAIVA,H.A & SIESS,C.P. Strength and behavior of deep beams in shear. **Journal of the structural division**. V.91, n. ST5, October 1965, p. 19-41.

REBECCA R. **Bamboo in sustainable contemporary design**. INBAR, Working Paper. n.60, 2010,180 p.

RICHART, F. **An investigation of web stresses in Reinforced Concrete beams**. University of Illinois. Engineering Experiment Station, Bulletin n.166, Urbana, 1927.

RITTER, W. **Die bauweise hennebique (The hennebique construction method)**, Schweizerische Bauzeitung, v. 17, 1899.

SANTOS, D. **Análise de vigas de concreto armado utilizando modelos de bielas e tirantes**. 2006.. Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SANTOS, G. G. M. **Análise sistemática de vigas parede biapoiadas de concreto armado**. 1999. Dissertação de Mestrado–Faculdade de engenharia Civil, PUC–Rio, Rio de Janeiro, 1999.

SCHAFER K. & SCHLAICH, J. **Consistent design of structural concrete using strut and model**: In: Colóquio sobre comportamento e projeto de estruturas. PUC- Rio, 5, Rio de janeiro, 1988.

SCHLAICH, J., SCHAFER, K. & JENNEWEIN, M. **Toward a consistent design of structural concrete.** Journal of the Prestressed Concrete Institute, v.32, n. 3, p. 74-150, Mai-Jun 1987.

SUBEDI, N. K. . A method of analysis for reinforced concrete deep beams with fixed end supports. **Transportation Research Board.** V. 72, n. 10, 1994, p. 155 – 163.

SUBEDI, N. K.; VARDY, A. E. & KUBOTA, N. Reinforced concrete deep beams – some test results. **Magazine of Concrete Research.** V.38, n. 137, December 1986, p. 206 – 219.

TAN, K. H.; WENG, L. W. & TENG, S. A Strut and tie model for deep beams subjected to combined top and bottom loading. **Journal of the American Concrete Institute.** V.75, n.13, July 1997, p.215-225.

TAN, K.H.; LU, H.Y. & TENG, S. Shear behavior of large reinforced concrete deep beams and code comparisons. **Journal of the American Concrete Institute.** V.96, n.5, 1999,p. 836-845.

TANER, N, FAZIO, P.P. & ZIELINSK, Z. A. Strength and behavior of beams-panels. **Journal of the American Concrete Institute.** V.74, n. 10, October 1977, p. 511-520.

VAN DER LUGT, P., VAN DEN DOBBELSTEEN, A. & JANSSEN, J. An environmental, economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures. **Construction and building materials.** n. 20, 2006, p. 648-656.

VASCONCELOS, J. R. G. **Estudo teórico experimental de vigas parede de concreto armado com enrijecimento dos apoios.** 1982. Dissertação de Mestrado–Faculdade de engenharia Civil, PUC–Rio, Rio de Janeiro, 1982.

VELASCO, M. S. L. **Influência da espessura da alma no comportamento de vigas parede.** 1984. Dissertação de Mestrado–Faculdade de engenharia Civil, PUC–Rio, Rio de Janeiro, 1984.

WANG, W. JIANG, D. H. & HSU, C. T. T. Shear strength of reinforced concrete deep beams. **Journal of Structural Engineering, ASCE.** V.119, n. 8, August 1993, p. 2294 - 2312.

YOUSSEF, M. A.R. **Bamboo as a substitute for steel Reinforcement in structural concrete.** New horizons in construction materials, Envo Publishing, Inc. 1979.

ZHANG,N & TAN, K. (2007). Size effect in rc deep beams: experimental investigation and STM verification. **Engineering Structures.** V. 29, n.12, 2007, p. 3241-3254.

## Anexo 1

A continuação os parâmetros a serem calculados na abordagem de Won et al. (1998).

### A.1. Resistência efetiva do concreto

Para nós do tipo CCC é aplicada a formulação do CEB-FIP Model Code versão de 1990, que limita a tensão no concreto submetido à compressão para zonas não fissuradas e nós onde concorrem apenas bielas comprimidas ao valor de  $f_{ce1}$  eq. (A.1).

$$f_{ce1} = 0,85 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) f_{ck} \quad (A.1)$$

Para nós do tipo CCT e bielas inclinadas, os autores propõem uma nova formulação para a resistência reduzida do concreto que leva em conta a resistência a compressão do concreto, a relação entre o vão de cisalhamento e altura útil ( $a/d$ ) e a perturbação causada pela presença das barras de aço. Se a força no tirante da viga analisada for provida pela quantidade exata de armadura necessária para o equilíbrio, então se aplica a eq. (A.2).

$$f'_{ce2} = 0,68 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \left( 1,25 - 0,25 \frac{a}{d} \right) f_{ck} \quad (A.2)$$

Quando a quantidade de armadura é maior que a necessária para o equilíbrio do nó, a perturbação causada pelas barras é menor, pois ocorre uma redução na tensão no tirante e a resistência a compressão do nó aumenta. Logo, aplica-se a eq. (A.3) proposta pelos autores.

$$f_{ce2} = \frac{\left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \left( 1,25 - 0,25 \frac{a}{d} \right) f_{ck}}{0,5 + \sqrt{\frac{Ta}{T_{max}}}} \quad (A.3)$$

Onde:  $T$  a é a força necessária para o equilíbrio da biela aplicando-se a equação dada em eq. (A.4) e  $T_{máx}$  é dado por:

$$T_{max} = A_s f_y \quad (\text{A.4})$$

Onde:  $A_s$  é a área de aço disponível e  $f_y$ , a tensão de escoamento.

## A.2. Geometria do modelo

Na primeira iteração é assumido que  $d_a$ , altura da biela horizontal, é a média entre um valor mínimo e máximo, onde o valor mínimo é zero e o máximo é a altura efetiva da viga ( $d$ ), como na eq. (A.5).

$$d_a = \frac{d_a^{min} + d_a^{max}}{2} \quad (\text{A.5})$$

A partir do valor assumido para  $d_a$  é calculado o valor do ângulo  $\theta$ , que representa a inclinação da biela (eq. (A.6)):

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{d-0.5d_a}{a} \right) \quad (\text{A.6})$$

### A.3. Detalhe do nó CCT

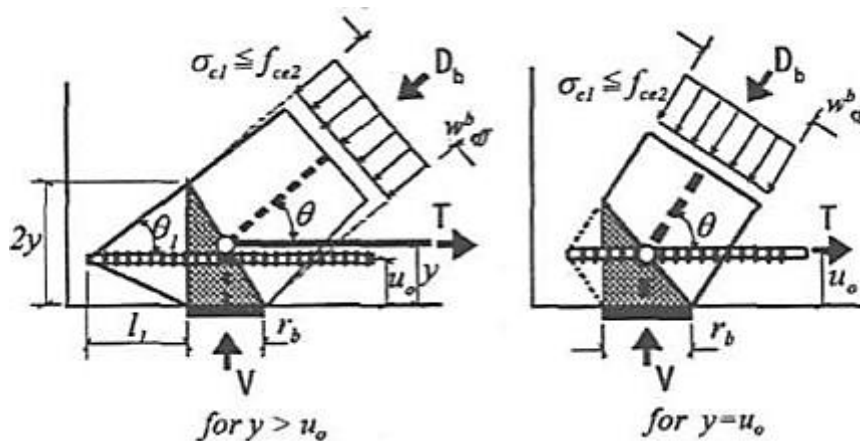


Figura A.1. Modelagem do nó CCT (WON *et al.*, 1998).

A dimensão da parte inferior da biela inclinada ( $w_{eff}^b$ ) no nó CCT é dada pela eq. (A.7).

$$w_{eff}^b = r_b \sin \theta + 2y \cos \theta \quad (\text{A.7})$$

Onde:  $r_b$  é o tamanho da placa do apoio,  $u_0$  é distância do centroide das barras ao extremo da viga e  $y$ , do eixo do tirante ao extremo da viga.

A condição de igualdade para que  $u_0 = y$  é que  $l_l$  seja menor que o  $l_{l,\min}$ . Onde  $l_l$  é o comprimento da barra que se estende além da placa de apoio e  $l_{l,\min}$  é dado por:

$$l_{l,\min} = \frac{u_0[a+0,5(r_b-r_l)]}{d-u_0} \quad (\text{A.8})$$

Onde  $r_l$  é o tamanho da placa de aplicação da carga.

Esta condição para o  $l_{l,\min}$  também determina que  $d_{eff}$  não exceda o valor de  $d$ .

$$d_{eff} = h - y \leq d \quad (\text{A.9})$$

E o ângulo  $\theta_1$  formado caso  $l_l > l_{l,\min}$  é definido por:

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{d}{a+l_l+0,5(r_b-r_l)} \right) \quad (\text{A.10})$$

#### A.4. Detalhe do nó CCC

A espessura da biela na parte superior, correspondente ao nó CCC –  $w_{eff}^t$  – é calculada da seguinte forma:

$$w_{eff}^b = r_l \sin \theta + d_a \cos \theta \quad (\text{A.11})$$

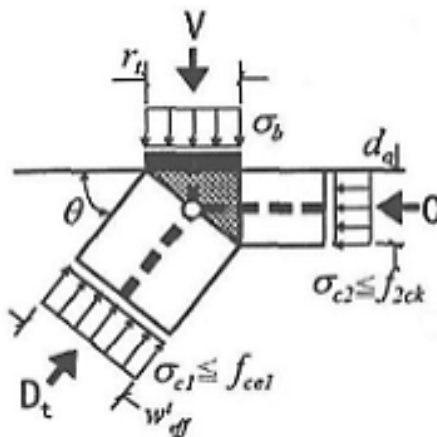


Figura A.2. Modelagem do nó CCC (WON et al., 1998).

### A.5. Equilíbrio das forças

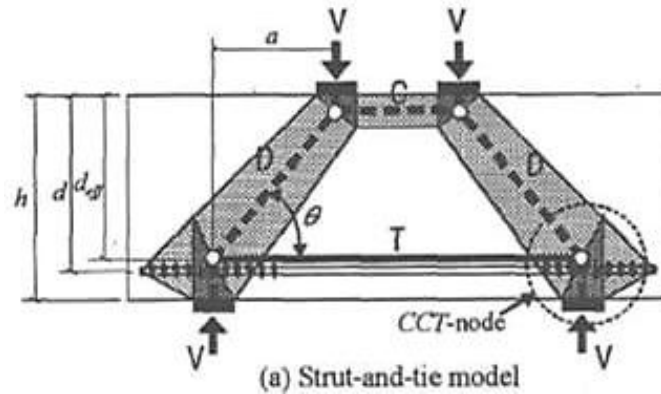


Figura A.3. Forças atuantes no modelo da viga-parede (WON *et al.*, 1998).

Considerando o nó CCC, a força  $D_t$  na biela inclinada que atua neste nó é limitada por:

$$D_t = b f_{ce1} w_{eff}^t = b f_{ce1} (r_l \sin \theta + d_a \cos \theta) \quad (A.12)$$

Por equilíbrio das forças que ocorrem no nó CCT, tem-se que a força necessária para equilibrar o tirante é dada por:

$$D_b \cos \theta = T a \quad (A.13)$$

Onde:  $D_b$  é a força na biela inclinada atuante no nó CCT.

Como ainda não é possível calcular o valor de  $T a$ , utiliza-se a resistência efetiva  $f'_{ce2}$  (eq. A.18) para calcular o valor inicial de  $D_b$ :

$$D_b = b f'_{ce2} w_{eff}^b \quad (A.14)$$

Substituindo o valor da eq. (A.14) na eq. (A.13) obtém-se o valor de  $T a$ :

$$T a = b f'_{ce2} w_{eff}^b \quad (A.15)$$

Onde o valor de  $w_{eff}^b$  é dado em eq. (A.7).

De posse do valor de  $T a$ , calcula-se o  $f_{ce2}$  (eq. A.3) e, em seguida, obtém-se o coeficiente  $\beta$ , que representa a razão entre  $f_{ce2}$  e  $f'_{ce2}$ .

$$\beta = \frac{f_{ce2}}{f'_{ce2}} \geq 1,0 \quad (\text{A.16})$$

Finalmente, calculam-se os valores reais de  $T$  e  $D_b$ , levando-se em consideração o aumento da resistência do nó:

$$T = \beta * T_a \quad (\text{A.17})$$

$$D_b = \frac{T_a}{\cos\theta} \quad (\text{A.18})$$

## A.6. Checagem do modelo

O modelo deve ser rodado até que se obtenha a seguinte igualdade  $D_b = D_t$ . Se não for encontrada tal igualdade, deve-se alterar os valores de  $d_a^{min}$  e  $d_a^{max}$ , modificando-se o valor de  $d_a^{min}$  para o  $d_a$  calculado, se  $D_b > D_t$ . Se  $D_b < D_t$ , faz-se  $d_a^{max} = d_a$ .

Algumas verificações adicionais são necessárias. Calculam-se os valores de  $\sigma_b$  e

$\sigma_{c2}$ , que representam, respectivamente, as tensões no ponto de aplicação da carga e tensão na face do nó CCC perpendicular a biela horizontal.

$$\sigma_b = \frac{D_t \sin\theta}{br_l} \quad (\text{A.19})$$

$$\sigma_{c2} = \frac{D_t \cos\theta}{bd_a} \quad (\text{A.20})$$

O valor de  $\sigma_{c2}$  é comparado com  $f_{2ck}$ . Onde:

$$f_{2ck} = \frac{1+3,80\alpha}{(1+\alpha)^2} f_{ck} \quad (\text{A.21})$$

E:

$$\alpha = \frac{\min(\sigma_b, \sigma_{c2})}{\max(\sigma_b, \sigma_{c2})} \quad (\text{A.22})$$

A resistência efetiva  $f_{ce1}$  (eq. A.1) é aplicada à superfície do nó faceada pela biela inclinada e  $f_{2ck}$  (eq. A.21) limita a resistência do concreto no lado do nó faceado pela biela horizontal. Se for maior que  $f_{2ck}$ , o valor de  $d_a$  é reduzido para:

$$d_a = \frac{D_t \cos\theta}{bf_{2ck}} \quad (\text{A.23})$$