

II-215 - O CONTROLE DA RESISTÊNCIA DE TUBOS DE CONCRETO POR MEIO DE ENSAIO NÃO DESTRUTIVO

Pedro Jorge Chama Neto⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia Civil de Araraquara. Mestre em Engenharia de Construção Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI/USP). Gerente de Departamento de Acervo e Normalização Técnica da Sabesp - Superintendência de Pesquisa, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação / Novos Negócios – TX. Na Sabesp, desde 1981, tendo atuado como Engenheiro e gerente nas áreas de projetos, obras, operação e controle tecnológico.

Antônio Domingues de Figueiredo⁽²⁾

Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Construção Civil Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

Endereço⁽¹⁾: Rua Nicolau Gagliardi, 313 – Pinheiros – São Paulo - SP - CEP: 05929-010 - Brasil - Tel: (11) 3388.8294 - e-mail: pchama@sabesp.com.br

RESUMO

Um dos principais critérios para a avaliação do desempenho mecânico dos tubos de concreto para águas pluviais e esgoto sanitário é a determinação de sua resistência durante o ensaio de compressão diametral que, segundo a norma brasileira, deve ser realizado numa amostra equivalente a 2% do lote. Assim, pode haver dúvidas quanto à representatividade da amostra em relação ao lote que está sendo julgado, bem como do critério de seleção dos tubos que serão ensaiados. Neste sentido, foi desenvolvido este estudo experimental de avaliação da viabilidade técnica de utilização do esclerômetro de Shcimidt para a avaliação da resistência de tubos de concreto para esgoto sanitário e águas pluviais. Foi possível encontrar uma boa correlação entre o valor obtido na resistência à tração da matriz utilizada na produção dos tubos de concreto e o valor do índice esclerométrico, quando este foi medido no corpo-de-prova cilíndrico. No entanto, a eficiência do teste caiu para a avaliação da carga de ruptura do tubo quando o ensaio de esclerometria foi realizado diretamente no componente. Isso ocorreu devido ao reduzido número de ensaios e ao fato do índice esclerométrico avaliar fundamentalmente a dureza superficial do concreto, ou seja, a qualidade da matriz, o que foi comprovado pela excelente correlação obtida entre o índice esclerométrico e o consumo de cimento utilizado na produção do tubo. Como o ensaio de esclerometria se trata de um ensaio não destrutivo, pode ser utilizado como uma importante ferramenta no controle da uniformidade de produção do lote, a um custo muito reduzido. Trabalhado em conjunto com o ensaio de compressão diametral, poderá fornecer uma maior confiabilidade a este que, por norma, utiliza um número reduzido de amostras.

PALAVRAS-CHAVE: Tubos de concreto, índice esclerométrico, ensaio de esclerometria, esgoto sanitário, águas pluviais, ensaio não destrutivo, resistência de tubos de concreto.

INTRODUÇÃO

Atualmente, a utilização de tubos de concreto para obras de saneamento é parametrizada pela norma NBR 8890 (ABNT, 2007). Esta norma tem um forte enfoque de controle de aceitação, ou seja, é praticamente uma norma de desempenho de componente, que especifica requisitos e critérios para os tubos, que deverão ser empregados nas obras de drenagem ou coleta de esgoto.

Atualmente, alguns trabalhos têm sido desenvolvidos no sentido de melhorar o controle de produção desses tubos. Tal é o caso do trabalho desenvolvido por Monte et al. (2016) que foca a utilização de ensaios em corpos de prova reduzidos, denominado ensaio Barcelona, para qualificar o material como adequado para o comportamento estrutural esperado para o tubo. No entanto, muito fica implicitamente designado ao fabricante por fazer de modo a garantir a qualidade da produção dos tubos por metodologias baseadas na tentativa e erro, apesar das novas metodologias já propostas para projeto (de la Fuente et al., 2012).

Do ponto de vista de aceitação, um dos principais critérios para a avaliação do desempenho mecânico dos tubos de concreto para águas pluviais e esgoto sanitário, é a determinação de sua resistência durante o ensaio

de compressão diametral como o especificado pela norma NBR 8890 (ABNT, 2007). Trata-se de um ensaio destrutivo e que é utilizado a partir da amostragem de um lote definido para julgamento quanto à aceitação.

De cada lote, composto por no máximo 100 peças, produzidas num período inferior a 15 dias e numerados sequencialmente, deve ser retirada uma amostra de dois tubos que serão submetidos ao ensaio de compressão diametral, ou seja, o volume da amostra retirada para a determinação do comportamento mecânico dos tubos é de apenas 2% do lote, o que é justificável pelo alto custo da realização do ensaio. No entanto, é inevitável que surjam dúvidas quanto à representatividade da amostra em relação ao lote que está sendo julgado, principalmente pelo fato de se utilizar de uma amostragem tão reduzida.

Neste ensaio faz-se a verificação das cargas de ruptura e de fissura, no caso dos tubos convencionalmente armados e das cargas de ruptura e da carga mínima isenta de dano, para o caso dos tubos reforçados com fibras de aço (FIGUEIREDO e CHAMA NETO, 2007). Quando um dos tubos não atende aos requisitos de desempenho mecânico no ensaio de compressão diametral, a norma prevê a retirada de uma nova amostra, composta de quatro tubos e, caso novamente qualquer um dos quatro tubos seja reprovado, o lote é finalmente rejeitado.

O problema é que a norma não define o critério para a seleção dos tubos que serão ensaiados, tanto na primeira amostragem quanto na segunda, de verificação de não conformidade. Assim, pode ocorrer de a escolha dos tubos orientar-se para aqueles que apresentarem o melhor ou pior aspecto visual, viciando a amostragem contra ou a favor da segurança, ou mesmo por aqueles que estiverem mais próximos da prensa para facilitar o trabalho. Isto demonstra que seria interessante utilizar-se de medidas que caracterizem o comportamento mecânico em uma amostra maior, que pudesse complementar o ensaio de compressão diametral, sem que houvesse um aumento expressivo nos custos de ensaio.

Neste sentido, foi desenvolvido um trabalho experimental abordando a avaliação de viabilidade técnica de utilização do esclerômetro de Schimidt, para a avaliação da resistência de tubos de concreto para esgoto sanitário e águas pluviais (FIGUEIREDO e CHAMA NETO, 2010). Este estudo foi dividido em três etapas básicas.

Na primeira etapa, procurou-se analisar a viabilidade de se correlacionar a resistência do concreto destinado à produção dos tubos através de ensaio não destrutivo com o uso de um esclerômetro de Schimidt. Esta propriedade é fundamental para o controle da qualidade e projeto dos tubos.

Numa segunda etapa, foi analisada a possibilidade de se correlacionar os resultados obtidos com o esclerômetro de Schimidt com os valores obtidos no ensaio de compressão diametral dos tubos, determinados segundo a norma brasileira NBR 8890:2007.

Numa terceira etapa, foi discutida a probabilidade de erro no processo de aceitação de tubos, pelo ponto de vista de comportamento estrutural.

Complementarmente ao ensaio de compressão diametral, a norma brasileira NBR 8890:2007 prevê a realização de outros ensaios, conforme descrito a seguir:

Posteriormente ao ensaio de compressão diametral, devem ser retiradas duas amostras da parte íntegra remanescente do tubo, sendo uma amostra na região da ponta e outra na região da bolsa, através de máquina extratora rotativa, para a realização do ensaio de determinação do índice de absorção.

Na sequência, o responsável pela aceitação do lote deve realizar inspeção visual em todas as peças que compõem o lote e verificar as condições de acabamento. Neste caso, verifica-se a presença de defeitos prejudiciais como, fissuras, bolhas, falhas de moldagem, retoques e quebras na ponta e bolsa do tubo. Apesar de haver verificação visual em 100% dos tubos, a exigência de conformidade neste requisito para que não se reprove todo o lote, é de conformidade em 70% da amostra, ou seja, não pode haver rejeição em mais de 30% do lote avaliado. Caso a rejeição seja inferior a 30% do lote, na inspeção visual, retira-se do lote apenas as peças que não atendem aos requisitos previstos em Norma.

Além de inspeção visual, no caso do uso de tubos com junta elástica, devem ser retirados outros dois tubos para a realização do ensaio de permeabilidade e estanqueidade da junta.

OBJETIVO

Desenvolver estudo experimental, para avaliação de viabilidade técnica de utilização do esclerômetro de Schmidt, complementarmente ao ensaio de compressão diametral, para a avaliação da resistência de tubos de concreto para esgoto sanitário e águas pluviais e a análise de risco no processo de aceitação de tubos pelo critério atualmente vigente estabelecido pela norma NBR 8890 (ABNT, 2007).

METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Para a realização deste estudo experimental, foram moldados corpos-de-prova cilíndricos e tubos de concreto, variando-se o consumo de cimento.

Estes corpos-de-prova e tubos foram levados à ruptura por compressão diametral segundo as normas NBR 7222 (ABNT, 1994) e NBR 8890 (ABNT, 2007), respectivamente. Simultaneamente, os corpos-de-prova e os tubos foram ensaiados com o esclerômetro de Schmidt, cuja aplicação é regida pela norma NBR 7584 (ABNT, 1995) para estruturas de concreto convencional. Aqui procurou-se verificar a aplicabilidade do esclerômetro de Schmidt, para a avaliação de componentes pré-moldados bem específicos, no caso, tubos de concreto para esgoto sanitário e águas pluviais.

Os corpos-de-prova tinham 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura e foram moldados sobre mesa vibratória e com o auxílio de um soquete, conforme apresentado na Figura 1. A opção pelo uso de soquete ocorreu pelo fato de ser um concreto de consistência muito seca, o que impossibilita a moldagem de corpos-de-prova cilíndricos pelos procedimentos convencionais adequados a concretos plásticos. Garantiu-se, com este procedimento, que o concreto não sofresse qualquer alteração para a moldagem dos corpos-de-prova, em relação aos tubos em escala real, cuja compactação ocorreu por vibro-compressão. Todos os corpos-de-prova foram moldados em um único dia e pelo mesmo laboratorista.

O volume de concreto dosado foi o suficiente para moldar um tubo de concreto e os corpos-de-prova, de modo a garantir as condições similares às rotineiras da fábrica. Os consumos de cimento utilizados neste estudo foram 200kg/m³, 250kg/m³, 300kg/m³, 350kg/m³ e 400kg/m³ e os traços utilizados se encontram apresentados na Tabela 1. Com isto e mantendo-se o nível de consistência adequado para a moldagem dos tubos, obteve-se uma variação da resistência do material, o que era a principal variável em foco no estudo.

Os corpos-de-prova foram ensaiados quanto à resistência à tração por compressão diametral segundo a norma NBR12142 (Figura 2). Foram utilizados dois corpos-de-prova por determinação. As idades de ensaio escolhidas foram um, sete e vinte e oito dias. Os ensaios foram procedidos simultaneamente, ou seja, realizava-se um pré-carregamento do corpo-de-prova na prensa de 20 kN, e se realizava o ensaio de esclerometria no próprio corpo-de-prova, em seguida, o mesmo corpo-de-prova era levado à ruptura.

O mesmo princípio foi adotado para a realização dos ensaios nos tubos. Os mesmos eram carregados até 20 kN, de modo que estivessem travados na prensa. Em seguida eram realizados os ensaios com o esclerômetro de Schmidt, conforme o apresentado na Figura 3. Dadas as grandes dimensões da peça, foram realizadas doze determinações, sendo seis de cada lado do tubo.

Tabela 1: Traços utilizados no estudo de avaliação da metodologia de determinação da resistência do concreto de tubos através de ensaios de esclerometria.

Traço	Consumo (kg/m ³)					
	Cimento	Areia Artificial Grossa	Areia Artificial Fina	Pedrisco Fino	Pedrisco Grosso	Água
1	200	794,5	342,6	452,9	684,5	90
2	250	742,2	321,5	441	666,4	112,3
3	300	687,8	296,7	433,3	652,3	133,9
4	350	634,5	271,9	425,4	638,1	155
5	400	570	424,5	423,2	636,9	175,2



Figura 1: Moldagem dos CP.



Figura 2: Ensaio Resistência a Compressão.



Figura 3: Ensaio de Esclerometria.

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos no ensaio de tração na compressão diametral foram correlacionados com os valores de resistência à tração pelo consumo de cimento para cada idade, o que se encontra apresentado na Figura 4.

Percebe-se que, ao contrário do que era esperado, não houve uma correlação muito boa entre o aumento de resistência e o aumento do consumo de cimento. Houve uma grande variação no resultado em função do traço utilizado para a moldagem dos corpos-de-prova e o prejuízo da resistência do concreto foi mais intenso para os consumos de 300kg/m^3 e 400kg/m^3 ensaiados a 28 dias de idade. Este fato pode ser associado a dificuldades de moldagem dos corpos-de-prova, devido à necessidade de utilização de soquetes e mesa vibratória, o que dificulta muito o procedimento e a garantia de compactação perfeita do mesmo.

Assim, como a principal preocupação foi correlacionar a resistência com o índice esclerométrico, concentrou-se a análise nesta correlação dos resultados obtidos para cada corpo-de-prova. Ou seja, correlacionou-se a resistência à tração por compressão diametral e o índice esclerométrico obtido em cada corpo-de-prova.

Também não foi considerada a variação com a idade e todos os resultados foram analisados conjuntamente para maior confiabilidade do resultado. Esta correlação foi feita pelo método dos mínimos quadrados e o resultado obtido pode ser observado no gráfico da Figura 5.

Os valores de resistência à tração foram tomados individualmente para cada corpo-de-prova e correlacionados com o índice esclerométrico medido obtido no mesmo. Percebe-se, neste caso uma aderência muito interessante dos resultados, o que foi comprovado pelo coeficiente de determinação R^2 de 0,8338. Ou seja, pode-se dizer que existe a possibilidade de verificação da qualidade do concreto pelo uso do esclerômetro de Schmidt, mesmo quando a qualidade de moldagem pode ter sido influenciada por fatores extrínsecos à mistura.

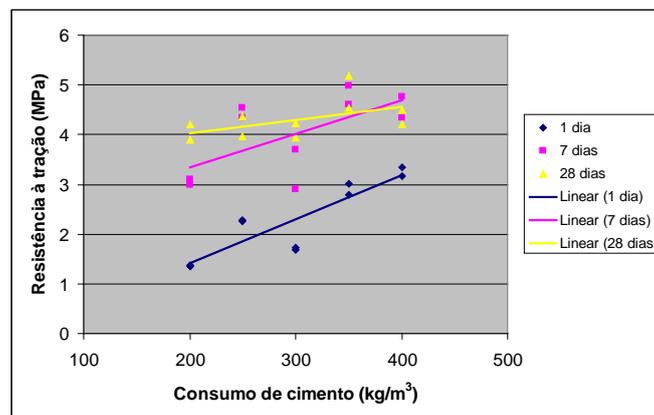


Figura 4: Correlação entre os valores de resistência à tração obtidos por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos e o consumo de cimento utilizado no concreto.

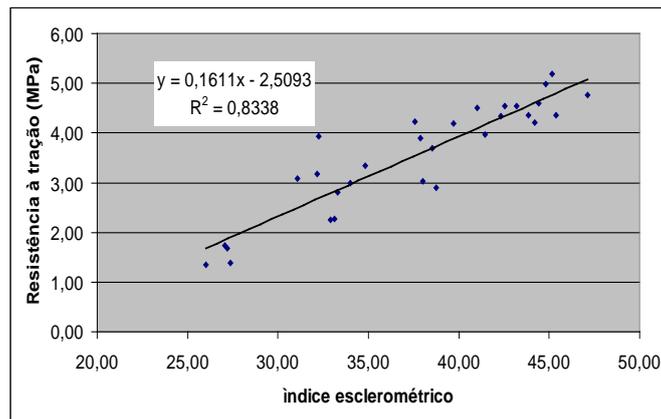


Figura 5: correlação entre a resistência à tração e o índice esclerométrico do concreto utilizado em tubos de concreto para esgoto.

Além dos resultados obtidos na correlação dos resultados de índice esclerométrico com a resistência em corpos-de-prova, também foram moldados tubos que foram rompidos segundo a norma brasileira. Estes tubos também foram ensaiados com o esclerômetro e os resultados obtidos se encontram apresentados na Tabela 2. Com estes resultados foram realizadas correlações, entre as cargas de fissura e de ruptura e o índice esclerométrico, conforme o apresentado na Figura 6.

Verificou-se pelos índices de correlação obtidos, que as regressões não tiveram boa aderência e, por consequência, baixa representatividade do valor obtido. Isto pode ser atribuído ao fato dos valores de carga de fissura e ruptura terem sido obtidos com apenas um tubo, o que implica numa amostragem bem reduzida. Além disso, pode ter havido falhas localizadas na moldagem de alguns dos tubos, o que prejudicou muito a correlação.

Tabela 2: Resultados de índice esclerométrico e cargas de trinca e ruptura obtidas com os tubos moldados com diferentes consumos de cimento.

Consumo (kg/m ³)	ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO												Carga de Fissura (kN)	Carga de Ruptura (kN)	
															média
200	35	31	33	34	32	34	32	33	40	35	35	26	33,3	108	110
250	36	31	36	35	39	41	33	33	34	37	35	35	35,4	119	140
300	37	45	40	35	38	36	34	36	40	38	37	39	37,9	144	146
350	38	37	39	40	45	40	39	38	-	43	47	40	40,5	156	169
400	41	42	42	42	45	41	41	41	45	43	42	41	42,2	146	146

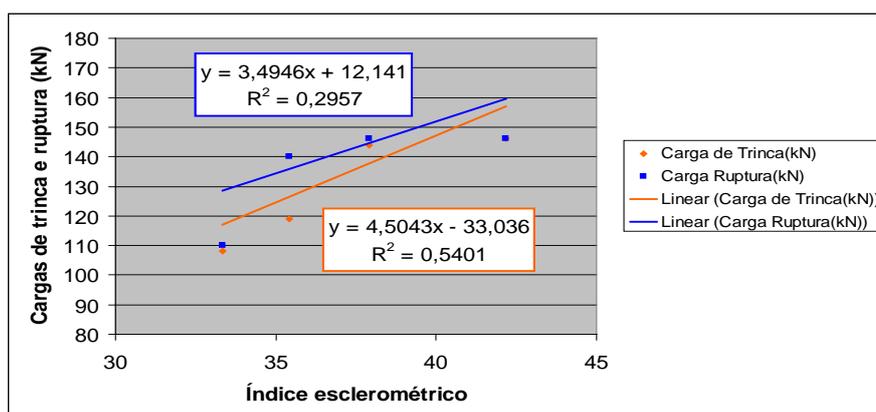


Figura 6: Resultados obtidos para a correlação entre o índice esclerométrico e a carga de trinca e ruptura dos tubos moldados com diferentes consumos de cimento.

Também foi feita uma correlação entre o índice esclerométrico médio e o consumo de cimento utilizado na produção do tubo, o que garantiria a qualidade da matriz e não necessariamente o comportamento estrutural do componente, que depende também da armadura e das condições de moldagem e ensaio (Figura 7).

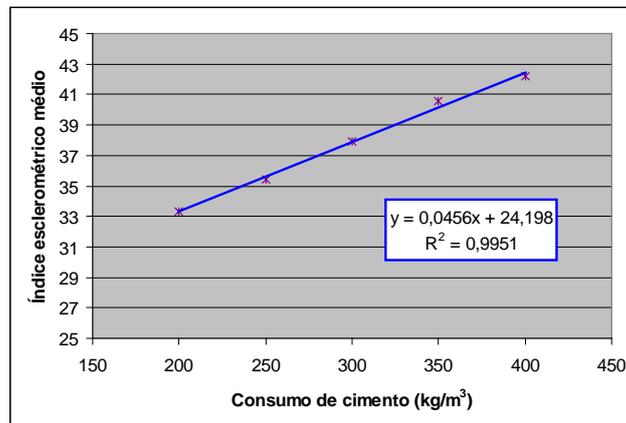


Figura 7: Correlação entre consumo de cimento do concreto do tubo e o índice esclerométrico médio obtido no mesmo tubo aos 28 dias de idade.

Percebe-se que o valor da correlação foi excelente, com coeficiente de determinação muito próximo do valor unitário. Ou seja, pode-se dizer que o uso do esclerômetro é uma boa forma de avaliar a qualidade da matriz utilizada na produção dos tubos, dado que é dependente da dureza superficial do concreto (FIGUEIREDO, 2005). Este seria o objetivo principal do ensaio, ou seja, avaliar a qualidade da matriz sem que houvesse a realização de um ensaio destrutivo.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Através deste estudo foi possível encontrar uma boa correlação entre o valor obtido na resistência à tração da matriz utilizada na produção dos tubos de concreto e o valor do índice esclerométrico, quando este foi medido no corpo-de-prova.

No entanto, a sensibilidade e eficiência do teste caíram para a avaliação da carga de ruptura do tubo ou mesmo da resistência à tração do concreto utilizado na sua produção, quando o ensaio de esclerometria foi realizado diretamente no tubo. Isto se deveu, principalmente, ao reduzido número de ensaios que foi possível realizar e ao fato do índice esclerométrico avaliar fundamentalmente a dureza superficial do concreto, ou seja, a qualidade da matriz.

Isto foi comprovado pela excelente correlação obtida entre o índice esclerométrico e o consumo de cimento utilizado na produção do tubo. Isto serve como um forte indicativo da possibilidade de utilização deste ensaio para o controle de produção ou aceitação dos tubos. No entanto, um ensaio que avalia a dureza superficial do concreto de um tubo não elimina a necessidade de avaliação do comportamento mecânico de um lote que está sendo julgado.

Porém, como se trata de um ensaio não destrutivo, pode ser utilizado como uma importante ferramenta no controle da uniformidade de produção do lote, a um custo muito reduzido. Trabalhado em conjunto com o ensaio de compressão diametral, poderá fornecer uma maior confiabilidade a este que, por norma, utiliza um número reduzido de amostras.

ANÁLISE DO RISCO DE FALHA NO PROCESSO DE ACEITAÇÃO DE TUBOS DE CONCRETO

O critério para a avaliação do desempenho mecânico dos tubos de concreto é a determinação de sua resistência durante o ensaio de compressão diametral.

Trata-se de um ensaio destrutivo, sendo que, de cada lote de 100 (cem) tubos de concreto deve ser retirada uma amostra de 2 (dois) tubos, para determinação das cargas de fissura e ruptura, no caso de tubos armados e determinação da carga mínima isenta de dano e ruptura, para o caso dos tubos reforçados com fibras (FIGUEIREDO e CHAMA NETO, 2007).

Quando um dos tubos não atende aos requisitos de desempenho mecânico no ensaio de compressão diametral, a norma prevê a retirada de uma nova amostra, composta de quatro tubos e, caso novamente qualquer um dos quatro tubos seja reprovado, o lote é finalmente rejeitado.

De modo a aumentar a confiabilidade da reduzida amostragem de 2%, uma das alternativas seria aumentar o número de amostras, entretanto, o aumento do número de amostras traria custos adicionais, aumentando o custo do material, o que poderia inviabilizar o uso do mesmo.

Para permitir o entendimento dos aspectos expostos anteriormente e a importância do estudo proposto neste trabalho, apresentaremos na sequência algumas simulações, relativas ao aumento da confiabilidade em relação ao aumento da amostragem, sem preocupação com os custos advindos pelo aumento do número de amostras a serem destruídas no ensaio de compressão diametral, o que certamente ocorrerá.

- **Primeira simulação:** Primeira amostragem 2 amostras (vermelho) e segunda amostragem 4 amostras (azul), no caso de reprovação.

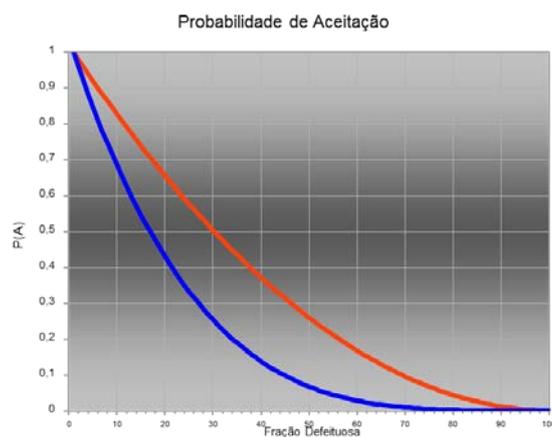


Figura 8: Primeira Amostragem – 2 amostras / Segunda Amostragem – 4 amostras.

Analisando-se a Figura 8 e adotando-se a amostragem conforme previsto em norma, conclui-se por exemplo que, numa primeira amostragem, caso haja aprovação, há uma probabilidade de 50% de aceitação, de 30% do lote de tubos com defeitos (fração defeituosa). Caso haja reprovação na primeira amostragem, numa segunda amostragem, com o dobro do número de amostras, há uma probabilidade de 28% de aceitação, do mesmo lote com 30% de tubos com defeitos (fração defeituosa).

- **Segunda simulação:** Primeira amostragem 4 amostras (vermelho) e segunda amostragem 8 amostras (azul), no caso de reprovação.

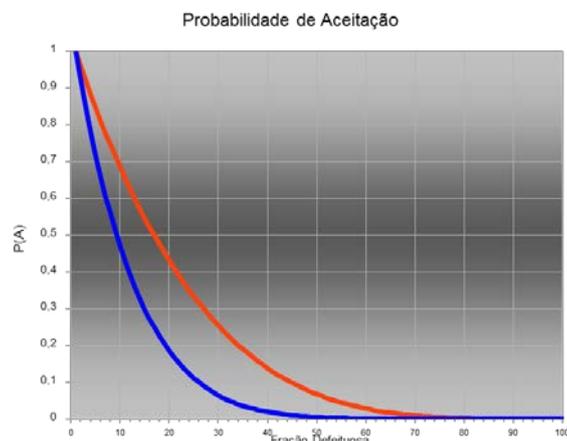


Figura 9: Primeira Amostragem – 4 amostras / Segunda Amostragem – 8 amostras.

Analisando-se a Figura 9 e adotando-se numa primeira amostragem 4 amostras, conclui-se que, numa primeira amostragem, caso haja aprovação, há uma probabilidade de 50% de aceitação, de 28% do lote de tubos com defeitos (fração defeituosa). Caso haja reprovação na primeira amostragem, numa segunda amostragem, com o dobro do número de amostras, há uma probabilidade de 8% de aceitação, do mesmo lote com 30% de tubos com defeitos (fração defeituosa).

Portanto, conforme exemplos apresentados nas simulações, fica claro que o risco de receber tubos com defeitos irá diminuir de maneira representativa aumentando-se o número de amostras. Entretanto, as questões que ficam são: a que custo? É viável?

Como resposta as estas questões e outras que porventura existam, é que foi proposto e elaborado este trabalho, de maneira a manter a amostragem atual prevista em norma, mas buscando o aumento da confiabilidade na aceitação de componentes não defeituosos, através da introdução da utilização do esclerômetro de Schmidt, complementarmente ao ensaio de compressão diametral.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Uma maior confiabilidade nessa amostragem e uma perfeita concatenação entre ambos os ensaios só serão obtidos com a realização de estudos específicos no futuro, de modo que se possa incorporar esta nova exigência à normalização vigente. Ou seja, o uso do esclerômetro pode estar associado à seleção dos tubos que deverão ser submetidos ao ensaio de compressão diametral, de modo a aumentar a confiabilidade da reduzida amostragem de 2%.

No entanto, as limitações do ensaio de esclerometria devem ser bem conhecidas por todos que se interessem em utilizá-lo. Entre estas limitações estão a susceptibilidade do resultado do ensaio às condições superficiais do concreto, incluindo aí sua condição de saturação, a rugosidade e o nível de carbonatação (FIGUEIREDO, 2005).

Além disso, as correlações aqui apresentadas são confiáveis para a matriz que foi utilizada e a extrapolação dos valores para outras matrizes, que utilizem diferentes matérias-primas, onde se podem incluir diferentes tipos e teores de agregados, deve ser feita com muita cautela.

Ou seja, para um determinado lote produzido em condições homogêneas, este ensaio poderá vir a indicar o nível de homogeneidade obtido na sua produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. NBR 7222, ABNT, Rio de Janeiro, 1994.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. NBR 7584, ABNT, Rio de Janeiro, 1995.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Tubo de concreto, de seção circular, para águas pluviais e esgotos sanitários. NBR 8890, ABNT, Rio de Janeiro, 2007.
4. de la FUENTE, A.; ESCARIZ, R. C.; FIGUEIREDO, A. D.; MOLINS, C.; AGUADO, A. A new design method for steel fibre reinforced concrete pipes. *Construction & Building Materials*, v. 30, p. 547-555, 2012.
5. FIGUEIREDO, A. D.; CHAMA NETO, P. J. A nova especificação brasileira para tubos de concreto para águas pluviais e esgoto. In: 49º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO DO INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO (IBRACON), 2007, Bento Gonçalves, RS. 2007.
6. FIGUEIREDO, A. D.; CHAMA NETO, P. J. Esclerometria para o controle de tubos de concreto. *Techné: Revista de Tecnologia da Construção (São Paulo)*, v. 159, p. 66-69, 2010.
7. FIGUEIREDO, E. P. (2005). Inspeção e diagnóstico de estruturas de concreto com problemas de resistência, fissuras e deformações. In: Geraldo Cechella Isaia. (Org.). *CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações*. 1 ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), v. 2, p. 985-1015.
8. MONTE, R.; de la FUENTE, A.; FIGUEIREDO, A. D.; AGUADO, A. Barcelona Test as an Alternative Method to Control and Design Fiber-Reinforced Concrete Pipes. *ACI Structural Journal*, v. 113, p. 1175-1184, 2016.