

# CONCRETO ECOLÓGICO

Maria Teresa Gomes Barbosa<sup>1</sup>

White José dos Santos<sup>2</sup>

Isabel Christina de Almeida Ferreira<sup>3</sup>

## RESUMO

A durabilidade do concreto depende de fatores que vão desde a sua produção (como, por exemplo, tipos de cimento e agregados, dentre outros) até a influência do meio ao qual o material está exposto. Agregados alternativos empregados na confecção de concretos têm sido estudados em diversas pesquisas que visam atender aos aspectos do desenvolvimento sustentável (ambientais, econômicos e sociais), bem como à redução do custo. Objetivando estudar a influência do tipo de agregado no comportamento de concretos endurecidos, elaborou-se um programa experimental, que consistiu na moldagem de corpos de prova confeccionados com agregados naturais (areia de rio e brita) e artificiais (areia proveniente de rejeito de mármore e RCD). Avaliaram-se, aos 3, 7 e 28 dias de idade, algumas propriedades mecânicas, a saber: resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral, módulo de elasticidade e velocidade de propagação de pulso ultrassônico. Finalmente, concluiu-se que essa nova mistura é adequada ao emprego na construção civil.

**Palavras-chave:** Concreto. Agregado. Desenvolvimento Sustentável.

## INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é um tema atual que visa, entre outros pontos, à busca pela qualidade de vida desta e das futuras gerações. Muito se discute sobre o tema, mas uma pergunta crucial e, muitas vezes, sem resposta é: “qual a verdadeira definição para sustentabilidade?”.

O termo “sustentável” foi criado, em meados de 1987, por representantes de vinte e um governos, da sociedade, líderes empresariais e membros da ONU. Define-se por ser um modelo econômico, político, ambiental, social e cultural, todos ordenados, a fim de funcionarem de forma equilibrada podendo, assim, suprir as necessidades da geração atual, sem prejudicar nem comprometer

---

1 Professora Orientadora - Departamento de Construção Civil, Faculdade de Engenharia, UFJF, e-mail: [teresa.barbosa@engenharia.ufjf.br](mailto:teresa.barbosa@engenharia.ufjf.br)

2 Mestrando em Ambiente Construído, PROAC/UFJF.

3 Bolsista BIC/UFJF.

as subsequentes. Em resumo, é o equilíbrio entre humanidade e meio ambiente (BRUNDTLAND, 1987).

Segundo GARCIA (2009), trata-se de uma tentativa de mesclar esforços de desenvolvimento e conservação da natureza, de uma forma mutuamente benéfica para o bem comum das gerações presentes e futuras do nosso planeta.

Dentre todas as definições, a *Ambiental* é a que mais interessa à produção deste trabalho, uma vez que o consumo excessivo dos recursos naturais existentes, aproximadamente 75%, é efetuado pela construção civil, sendo esta, também, a indústria que mais produz rejeitos sólidos no mundo, gerando, assim, alto nível de poluição (JONH, 2000).

No Brasil, em particular, a falta de uma consciência ecológica na indústria da construção civil resultou em prejuízos ambientais irreparáveis, como o assoreamento de rios e a poluição dos lençóis freáticos, agravados pelo maciço processo de migração do campo para as cidades, na segunda metade do século passado, ocasionando uma enorme demanda por novas habitações (FRAGA, 2006).

Devido à enorme quantidade de estudos que comprovavam os danos causados pela utilização desordenada de matéria-prima, depósitos incorretos de rejeitos e poluição do meio ambiente, surgiram novas técnicas que revolucionaram a construção civil e que garantem seus serviços com técnicas inovadoras, colaborando com a ideia de uma indústria ecologicamente correta. Dentre elas, cita-se a utilização do pó de mármore e do RCD (rejeito da construção civil), como agregados.

No que se refere à indústria de rochas ornamentais, grande geradora de resíduos sólidos, cerca de 200.000 toneladas por ano são depositadas, de forma incorreta, geralmente em leitos de rios e locais inapropriados. Os chamados RCD's provenientes das construções e demolições, quando depositados irregularmente, causam, além de poluição ambiental, a ocupação desordenada de terrenos; são heterogêneos, uma vez que provêm de restos de construções (compostos por lajotas, cimento, argamassas, azulejos, pisos, entre outros). Ambos os materiais vide Figura 1) são utilizados em diversas pesquisas, em substituição aos agregados miúdos e graúdos, para confecção de argamassas e concretos.



(a) Depósito de resíduo de mármore

(b) Depósito de RCD

**Figura 1** - Depósitos de resíduos de mármore (MOURA et al., 2011) e RCD (FAPESP, 2011).

É de suma importância lembrar que esse reaproveitamento deve ser cauteloso, a fim de garantir o sucesso do compósito (argamassa ou concreto), apesar de estar comprovado, em diversos estudos, que esses materiais (rejeito de mármore e RCD) possuem grande potencial para a produção de concretos alternativos. Deve-se considerar, inclusive, que a melhor forma de se aplicar um resíduo é aquela em que se consegue aproveitar ao máximo suas propriedades e, ao mesmo tempo, diminuir os prejuízos ambientais e à saúde.

Nesse sentido, este estudo objetivou realizar diversos testes em laboratório, a fim de comprovar a eficácia do uso conjunto desses rejeitos na fabricação de concreto, considerando: as propriedades mecânicas do produto, a diminuição dos custos (considerando que, como é rejeito, seu custo é desprezível) e os impactos ambientais (redução ou eliminação de locais para depósito). Sendo assim, os agregados tradicionais, areia de rio e brita, foram substituídos pelo rejeito de mármore triturado e RCD, respectivamente.

Finalmente, cabe destacar que este estudo apresenta a substituição de *ambos* os agregados empregados na confecção de concretos, a saber: agregado miúdo (areia), substituída por rejeito de mármore triturado, e agregado graúdo (brita), pelo RCD, o que possibilitou a confecção de um concreto com qualidades superiores à do tradicional, uma vez que as deficiências de um rejeito são supridas pelas qualidades do outro, possibilitando, dentro do exposto, a denominação de *concreto ecológico*.

## MATERIAIS E MÉTODOS EMPREGADOS

O principal objetivo deste trabalho é o de avaliar as propriedades de um concreto confeccionado com cimento Portland, rejeito de mármore (substituindo a areia natural), rejeito da construção civil (RCD) (substituindo a brita); essa nova mistura para fabricação de concreto resultou no produto denominado **Concreto Ecológico**. Confeccionaram-se dois traços distintos (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo: água), considerando-se as propriedades físicas dos materiais como, por exemplo, a curva granulométrica, dentre outros, a saber: 1 : 2,112 : 2,445 : 0,600, a ser fabricado com agregado convencional e, 1 : 1,940 : 2,310 : 0,600. Salienta-se que o método adotado para confecção do concreto foi o desenvolvido pelo IPT/EPUSP. Os corpos de prova foram avaliados aos 3, 7 e 28 dias de idade, nos ensaios de resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral, módulo de elasticidade e velocidade de propagação de pulso ultrassônico.

### MATERIAIS EMPREGADOS

- *Cimento*: o cimento utilizado é o tipo CP II-E-32, da marca Holcim.
- *Água*: a água utilizada na pesquisa é proveniente da rede de abastecimento de Juiz de Fora- MG, CESAMA.
- *Agregado Miúdo Natural*: a areia utilizada é proveniente do Rio do Peixe, localizado próximo ao Município de Juiz de Fora (vide Tabela1).
- *Agregado Miúdo Artificial*: proveniente do britamento do rejeito de mármore (vide Tabela1).
- *Agregado Graúdo Natural*: proveniente do britamento de rocha (vide Tabela1).
- *Agregado Graúdo Artificial*: é oriundo de demolição, proveniente da construção civil, constituído, em sua maioria, por pedaços de lajotas, blocos, areia, concreto, solo etc. (vide Tabela 1).

**Tabela 1** - Caracterização dos agregados empregados no estudo.

Propriedades	Areia	Agregado Graúdo	Rejeito de Mármore	Resíduos de Construção e Demolição (RCD)
Diâmetro característico máximo (mm)	4,80	19,0	4,80	19,0
Graduação granulométrica	Zona Utilizável	Graduação 1	Granulometria Ótima	Graduação 1
Módulo de finura	2,62	6,53	2,75	6,85
Massa específica real (Kg/dm <sup>3</sup> )	2,62	2,70	2,91	2,21
Massa específica aparente (Kg/dm <sup>3</sup> )	1,46	1,36	1,74	1,13
Teor de material pulverulento (%)	0,60	0,20	5,0	2,20
Impureza orgânica (p.p.m)	<300	<300	<300	***
Torrões de argila (%)	Isento	Isento	Isento	***
Absorção de água (%)	3,16	***	1,27	8,50

## MÉTODOS EMPREGADOS

Conforme mencionado, os concretos produzidos foram avaliados aos 3, 7 e 28 dias de idade, no que se refere a: resistência à compressão (NBR 5739/ 2007); resistência à tração por compressão diametral (NBR 7222/2010); módulo de elasticidade (NBR 8522/ 2008) e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (NBR 8802/ 1994), conforme ilustrado na Tabela 2.

Os resultados obtidos nos ensaios realizados, média de 6 (seis) corpos de prova, encontram-se nas Tabelas 3 a 6 e Figuras 2 a 8. Salienta-se que o coeficiente de variação (CV) é uma análise estatística preliminar, em que se avaliou a variação dos resultados de um experimento. Esse procedimento é empregado quando se deseja comparar a variabilidade de várias amostras com seu valor médio; se CV é menor que 25%, a amostra será aceita.

**Tabela 2:** Ensaios Realizados no Programa Experimental com respectivo número de corpos de prova (CP) utilizados.

ENSAIO	Idade (dias)	n° CPs
Resistência à Compressão Axial (NBR 5739/ 2007)	3	6
Resistência à Tração por Compressão Diametral (NBR 7222/2010)	7	6
Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas (NBR 8802/ 1994)	28	6
Módulo de Elasticidade Estático (NBR 8522/ 2008)	28	6

**Tabela 3:** Resistência à Compressão Axial ( $f_c$  médio) (em MPa).

Traço	3 Dias		7 Dias		28 Dias	
	$f_c$	CV(%)	$f_c$	CV(%)	$f_c$	CV(%)
<b>1:2,112:2,445:0,60 – Natural</b>	7,647	3,63	10,838	4,58	13,809	0,56
<b>1:1,940:2,310:0,60 – Resíduo</b>	14,870	5,93	16,000	7,28	18,977	2,35

**Tabela 4** - Resistência à Tração por Compressão Diametral ( $f_{ct,sd}$  médio) (MPa).

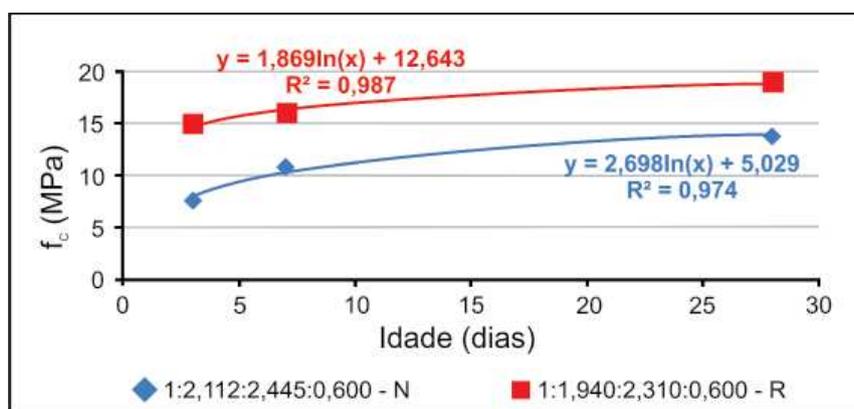
Traço	3 Dias		7 Dias		28 Dias	
	$f_{ct,sd}$	CV(%)	$f_{ct,sd}$	CV(%)	$f_{ct,sd}$	CV(%)
1:2,112:2,445:0,60 – Natural	0,982	2,21	1,396	11,44	1,898	11,06
1:1,940:2,310:0,60 – Resíduo	1,725	7,46	2,123	11,13	2,619	14,05

**Tabela 5** - Módulo de Elasticidade Calculado ( $E_{ci}$  médio) (GPa).

Traço	3 Dias		7 Dias		28 Dias	
	$E_{ci}$ (GPa)	CV(%)	$E_{ci}$ (GPa)	CV(%)	$E_{ci}$ (GPa)	CV(%)
1:2,112:2,445:0,60 – Natural	16,277	0,70	19,011	3,48	25,360	3,04
1:1,940:2,310:0,60 – Resíduo	16,166	2,01	16,446	11,78	23,555	0,45

**Tabela 6** - Ensaio de Ultrassom (V) (km/s).

Traço	3 Dias		7 Dias		28 Dias	
	Vm (Km/s)	CV(%)	Vm (Km/s)	CV(%)	VmKm/s)	CV(%)
1:2,112:2,445:0,60 – Natural	3,548	0,35	3,834	1,74	4,428	1,52
1:1,940:2,310:0,60 – Resíduo	3,835	1,00	3,864	5,89	4,629	0,22



**Figura 2** - Resistência à Compressão ( $f_c$ ) (MPa) x Idade (dias).

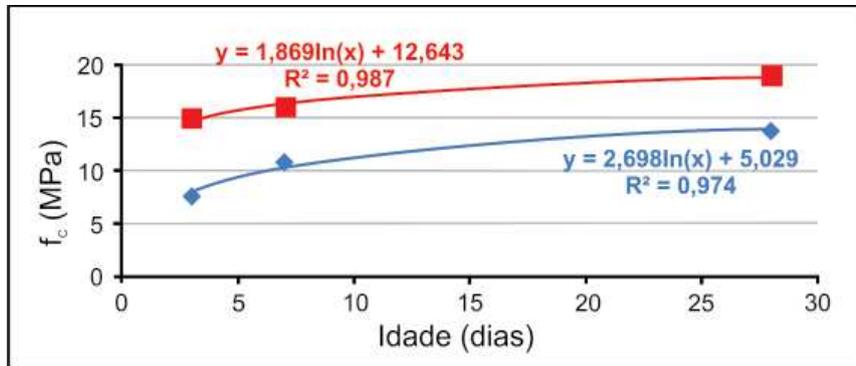


Figura 3 - Resistência à Tração por Compressão Diametral ( $f_{ct,td}$ ) (MPa) x Idade (dias).

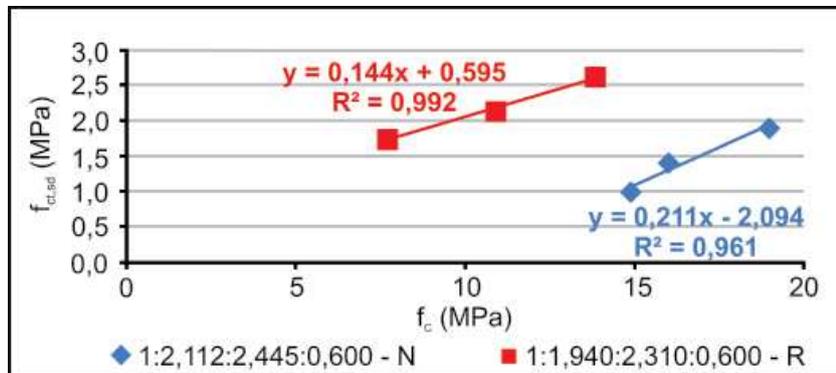


Figura 4 - Resistência à Tração por Compressão Diametral x Resistência à compressão axial.

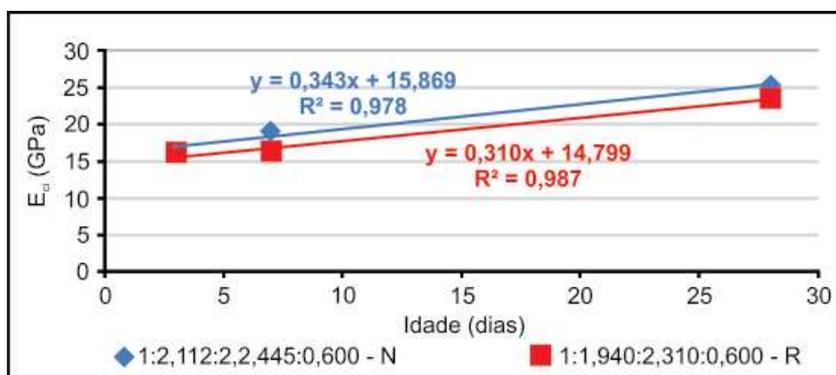


Figura 5 - Módulo de Elasticidade ( $E_{ct}$ ) (GPa) x Idade (dias).

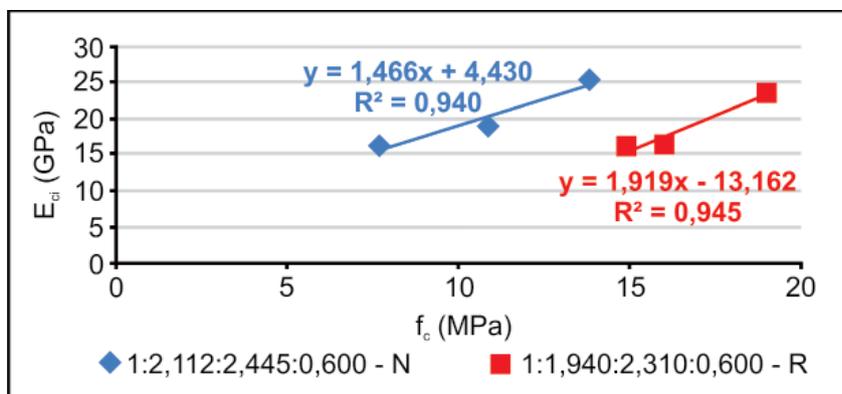


Figura 6 - Módulo de Elasticidade ( $E_{ci}$ ) (GPa) x Resistência à Compressão Axial( $f_c$ ).

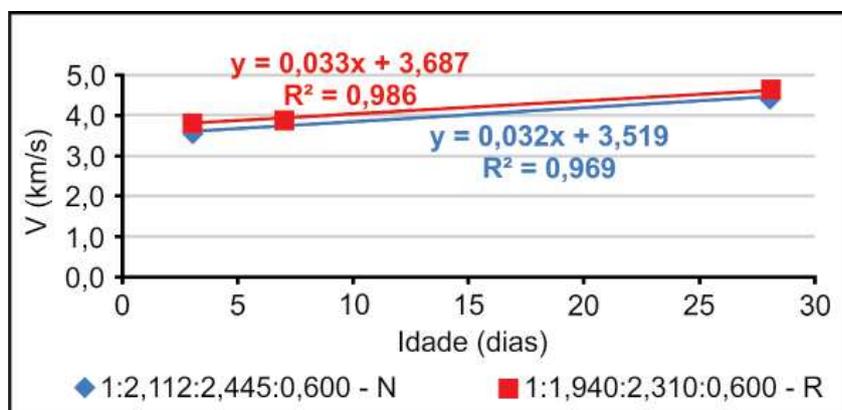


Figura 7 - Velocidade de propagação de onda ultrassônica( $V$ ) (Km/s) x Idade(dias).

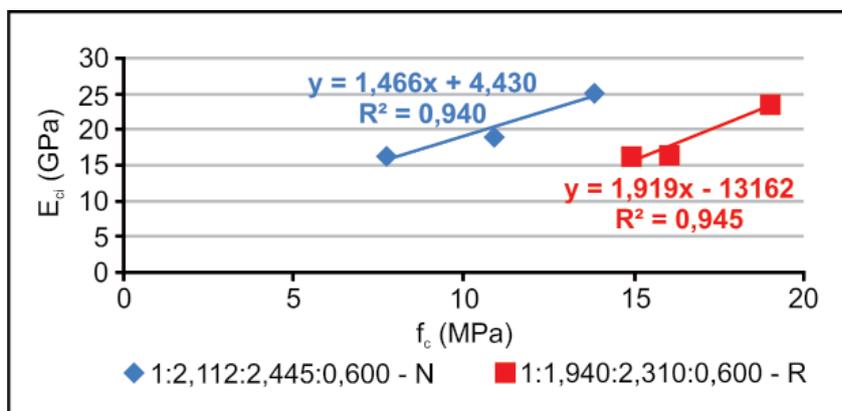


Figura 8 - Resistência à compressão axial ( $f_c$ ) (MPa) x Velocidade de propagação de onda ultrassônica ( $V$ ) (km/s).

## ANÁLISES DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

Neste estudo constatou-se, através das análises dos resultados obtidos nos ensaios efetuados, que:

- A definição do traço, em função das propriedades físicas dos materiais, possibilitou a confecção de um concreto empregando agregados alternativos (rejeitos) com melhor desempenho que o convencional (fabricado com areia de rio e agregado britado), sendo, portanto, uma solução viável o emprego desses rejeitos em conjunto;
- No que se refere às propriedades mecânicas avaliadas, constatou-se que houve um ganho (cerca de 5,0 MPa para a compressão axial e 0,7 MPa para tração por compressão diametral) no resultado final do concreto fabricado com os rejeitos. Tal fato é atribuído à baixa porosidade do rejeito de mármore (baixa absorção de água);
- O concreto fabricado com agregados reciclados apresenta uma redução de cerca de 2,7 GPa no módulo de elasticidade, em relação ao de referência, produzindo um concreto com maior tendência à formação de microfissuras entre o agregado e a pasta, devido à porosidade e à heterogeneidade do agregado graúdo;
- Finalmente, devido à porosidade e à heterogeneidade do agregado graúdo (RCD), há um incremento na velocidade de propagação de onda ultra sônica.

A indústria da construção civil busca, de maneira constante e insistente, materiais alternativos oriundos de subprodutos que venham a atender a: redução de custos, agilidade de execução, durabilidade e melhoria das propriedades do produto final, visando, principalmente, à redução da extração de materiais naturais, mediante o emprego de resíduos recicláveis, solucionando, também, os problemas de estocagem do material.

Dentro desse contexto, verifica-se que o emprego de rejeitos em substituição aos materiais tradicionais (areia de rio e brita) para a produção de concreto possibilita, além da proteção do meio ambiente, a redução do custo do material de construção.

Há de se considerar que este estudo está limitado às características dos materiais, dosagens e técnicas de execução específicas, como por exemplo, o tipo de cimento, bem como a origem, a textura e a rugosidade dos agregados. Sua representatividade deve ser confirmada em novos estudos.

## ECOLOGICAL CONCRETE

### ABSTRACT

The durability of concrete depends on factors that space from its production (cement types, aggregate types and others) until the influence of the environmental which the material are exposed. The alternative aggregate for the concrete production were studied because in many researches to assist the aspects of the development sustainable (environmental, economical and social) and the low cost. Intend to study the influence of the type of aggregate in the behavior of the concrete, an experimental program was elaborated that it consisted of the specimen test made with natural and artificial aggregated and that were submitted after 03, 07 and 28 days of age in the tests for determinate your mechanical properties: strength of concrete, tensile streng-

th, modulus of elasticity and ultrasonic pulse. Finally, the concrete with alternative aggregate is appropriated in civil construction.

**Keywords:** Concrete. Aggregate. Sustainable Development.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 5739* – Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 7222* – Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 8522* – Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 8802* – Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 1994.

BRUNDTLAND. *Relatório Brundtland* - Nosso Futuro Comum, 1987.

GARCIA, F. B. Definição da sustentabilidade. Disponível em: [http://www.sustentabilidades.com.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=30&Itemid=50](http://www.sustentabilidades.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=30&Itemid=50).

JOHN, V. M. *Reciclagem de resíduos na construção civil* – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. São Paulo, 2000. 102p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

FAPESP. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://inovabrasil.blogspot.com/2010/08/ipt-propoe-instalacao-de-unidade-de.html>. Acesso: 12h 35min do dia 20/05/2011.