

# POTENCIAL DOS NANOTUBOS DE CARBONO NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Yuri de Oliveira Lima<sup>1</sup>  
Jamerson Alves da Silva<sup>2</sup>  
Givanildo Santos da Silva<sup>3</sup>



## RESUMO

É notório que a nanotecnologia vem ganhando cada vez mais espaço no mundo tecnológico, sendo esta uma tecnologia de vasta aplicação, tendo em vista que trouxe diversos benefícios para as inúmeras áreas da ciência. Um dos setores mais promissores se mostra na área da construção civil, que apesar de ser caracterizada como uma tecnologia bastante conservadora, pode obter grandes benefícios com os crescentes desenvolvimentos alcançados na área da nanotecnologia. Um dos materiais que se mostram com mais potencial para o campo, são os nanotubos de carbono. Suas propriedades físicas, químicas, e mecânicas, além da grande capacidade de associação com outros materiais, contribuindo para a sua aplicação no setor construtivo. Com suas excelentes propriedades mecânicas, elétricas e térmicas, os nanotubos de carbono poderiam revolucionar os principais materiais da engenharia civil, fazendo com que fosse possível produzir materiais ainda mais resistentes, além de melhorar suas características elétricas e térmicas. O presente artigo visa apresentar dados e informações que revelem a utilidade dos nanotubos de carbono nas diversas áreas do mercado da construção civil, principais vantagens que o uso dessa tecnologia pode trazer para o melhoramento dos processos construtivos.

## PALAVRAS-CHAVE

Nanotecnologia. Construção Civil. Nanotubos de Carbono. Engenharia Civil.

## ABSTRACT

It is clear that nanotechnology has gained more space in the technological world, which is a wide application of technology in order to bring many benefits to many areas of science. One of the most promising sectors shown in the area of construction, that despite being characterized as a conservative technology, you can get great benefits with the growing developments made in the field of nanotechnology. One of the materials that show in more potential for the field are carbon nanotubes. Their physical, chemical and mechanical, as well as large capacities of association with other materials are contributing to their application in the construction sector. With its excellent mechanical, electrical and thermal properties, carbon nanotubes could revolutionize the main materials of civil engineering, making it possible to produce even more resistant materials, and to improve its electrical and thermal characteristics. This article presents data and information revealing the usefulness of carbon nanotubes in various areas of the construction market, the main advantages that this technology can bring to the improvement of construction processes.

## KEYWORDS

Nanotechnology. Construction. Carbon nanotubes. Civil engineering.

## 1 INTRODUÇÃO

A última década do século XX foi marcada pela consolidação e crescimento acelerado de uma nova área do conhecimento, que trouxe no seu bojo a promessa de uma verdadeira revolução científica e tecnológica, derrubando antigos paradigmas, abrindo novos horizontes e rompendo fronteiras estabelecidas entre disciplinas: a nanociência e nanotecnologia (N&N) (ALDO; MARCELA, 2013).

A nanotecnologia se fundamenta no desenvolvimento de técnicas e de ferramentas adequadas para posicionar átomos e moléculas em locais previamente estabelecidos, de maneira a obter estruturas e materiais de interesse. Para tanto, estão sendo constantemente desenvolvidos instrumentos adequados para trabalhar nessa escala microscópica (EMÍLIO, 2013).

Uma das aplicações da nanotecnologia está na engenharia civil, com o grande crescimento das obras pelo país, os estudos relacionados aos novos materiais são necessários e estão em amplo desenvolvimento. Com isso tem-se que tal tecnologia pode acarretar em materiais mais leves e mais resistentes, utilizando-se para isso menos matérias-primas e energia, trazendo diversos benefícios para o setor da construção civil.

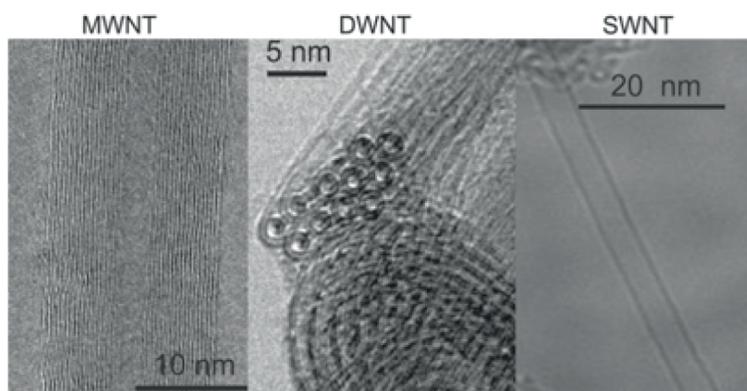
Diante de várias possibilidades de aplicação para a nanotecnologia no setor construtivo, os nanotubos de carbono se destacam devido suas propriedades mecânicas, elétricas e térmicas, permitindo sua manipulação, verificando variações no comportamento da matéria onde será adicionado. Quando ocorre uma manipulação há uma tendência a melhorar os aspectos físicos e funcionais dos insumos, proporcionando uma melhora na qualidade e nas características dos materiais.

Não só o nanotubo, mais a nanotecnologia é algo ainda pouco estudada no Brasil e pouco aplicado na construção civil, que até então permanece com uma tecnologia muito conservadora, pois ainda não tem explorado a aplicação desta tecnologia e os benefícios que podem ser acrescentados a esta área. Visto que não só a construção civil, mais a ciência e a sociedade estão às margens dessa nova revolução tecnologia, que tem um grande potencial de melhorar as propriedades de muitos materiais.

## 2 DESENVOLVIMENTO

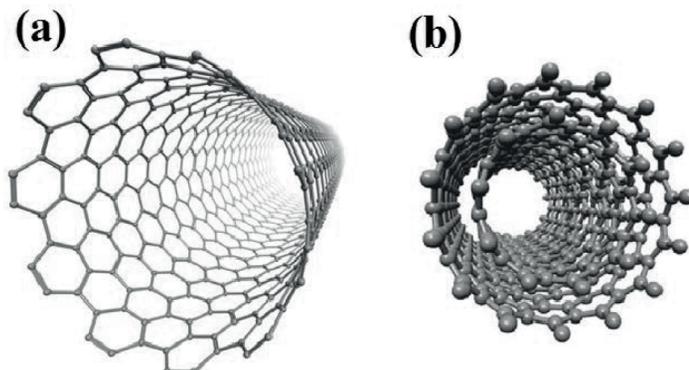
Os Nanotubos de Carbono ou NTCs – CNT, do inglês *carbonnanotube* –, definidos como átomos de carbono arranjados em anéis aromáticos condensados formados por lençóis de grafeno enrolados em cilindros (IJAMA, 1991), ou simplesmente são cilindros vazios por dentro que são formados por alótropos do carbono com proporções nanométricas, podendo ser do tipo Nanotubo de Parede Simples – SWNTs, do inglês *single-wallednanotubes* –, podendo ser também de Nanotubo de Parede Múltipla – MWNTs, do inglês *multi-wallednanotubes* –, tendo um tipo especial de MWNT que é o nanotubo de parede dupla – DWNT, do inglês *double-wall carbono nanotubes* –, podendo ser observados ambos na Figura 1 e na Figura 2 podemos ver o diagrama esquemático dos SWNT e dos MWNT. Os NTCs apresentam excelentes propriedades mecânicas para a tração e ainda melhores para a compressão, além de mostrar também, ótimas propriedades térmicas e elétricas.

Figura 1 – Imagens de microscopia eletrônica de transmissão de nanotubos (SWNT) de parede simples, (MWNT) de paredes múltiplas, (DWNT) de parede dupla



Fonte: Química nova (2007).

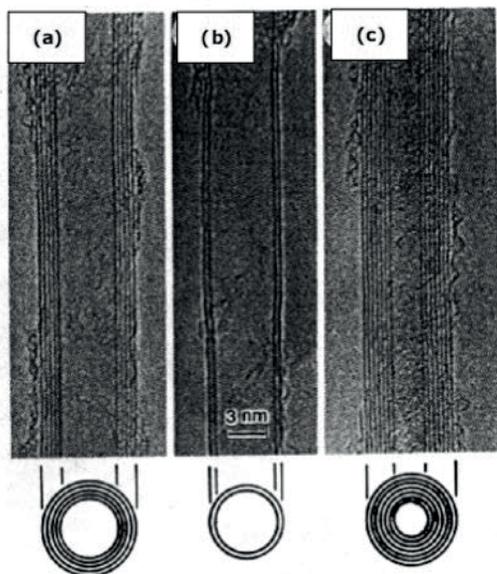
Figura 2 – Diagrama esquemático representativo de nanotubos de carbono (a) de parede simples (SWNT), (b) de paredes múltiplas (MWNT)



Fonte: Química nova (2013).

Na Figura 3, podemos observar imagens retiradas do Microscópio Eletrônico de Transmissão (TEM) de nanotubos de carbono sintetizados por SumioIijima, que os descobriu em 1991, japonês, considerado pai dos NTCs. A descoberta representou grande evolução científica, sugerindo aplicações tecnológicas e especulações teóricas excepcionais.

Figura 3 – NTC coaxiais. Tubos contendo (a) 5 paredes, (b) 2 paredes e (c) 7 paredes



Fonte: LQES - Laboratório de Química do Estado Sólido – Instituto de Química – UNICAMP.

Visto que a construção civil é uma das áreas que mais se exige materiais de grandes propriedades mecânicas, como o concreto e o aço, e materiais com boa propriedade térmica e elétrica, os nanotubos de carbono podem favorecer ainda mais

esses aspectos para os materiais do setor construtivo. Apresentando um módulo de elasticidade da melhor qualidade, chegando a 1000GPa, superando a do aço que é cerca de cinco vezes menor, sua tensão de ruptura chega a cerca de 63GPa, sendo superior em quase cinquenta vezes a do aço, mesmo apresentando uma densidade bem mais baixa que as dos outros metais.

Suas propriedades elétricas também são excelentes, podendo ser metálicos e semicondutores, dependendo da sua estrutura. Os nanotubos de carbono que apresentam características metálicas têm uma condutividade superior à do cobre, já quando apresenta natureza de semicondutor, se comporta como o silício. Já suas propriedades térmicas, se apresentam como bons dissipadores térmicos, tendo uma condutividade térmica de aproximadamente 6000W/mK a temperatura ambiente e sua estabilidade térmica é de cerca de 2800°C, em vácuo, e 750°C, no ar (HECTOR, 2013, p.2).

Apesar das vantagens, é referido em estudos que se fazem necessárias três importantes limitações na incorporação dos nanotubos de carbono. A primeira é de caráter técnico, encontra-se relacionada com os processos de mistura dos NTCs, ou seja, é necessária que haja uma boa dispersão dos nanotubos na mistura cimentícia, a segunda limitação se relaciona com a economia, pois o custo para obtenção dos nanotubos de carbono é bastante elevado, e a terceira limitação se diz respeito a toxicidade, pois quando inalado podem depositar-se no sistema respiratório.

Quadro 1 – Comparação das propriedades dos nanotubos de carbono com alguns materiais metálicos

	Resistência a tração (GPa)	Módulo de Young (GPa)	Densidade	Resistividade elétrica ( $\Omega$ .cm)	Condutividade térmica (W/mK)
<b>SWNT</b>	20-100	500-1500	~1.3	1.00E-4	6000
<b>MWNT</b>	10-60	200-1000	2.16	1.00E-4	200-3000
<b>Aço</b>	0.4	200	7.86	1.60E-7	52.9
<b>Alumínio</b>	0.11	70	2.71	2.82E-8	237

Fonte: Universidade do Minho – Escola de Engenharia (2013).

## 2.1 CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS

Os NTCs pertencem à família dos fulerenos, ou seja, à terceira forma alotrópica do carbono, juntamente com o grafite e o diamante. Sua principal vantagem tecnológica é a resistência mecânica (BERHA et al., 2009).

O concreto sendo um dos materiais mais utilizados na construção civil devido a sua boa resistência a água, sua praticidade no manuseamento, boa resistência a compressão e de fácil obtenção no mercado da construção civil, e tendo em vista que

a resistência do concreto varia com seu tempo de cura, o FCK (Resistência característica do concreto a compressão) do cimento Portland II é em média 32Mpa para 28 dias de cura, com a adição de nanotubos de carbono na sua composição é como se minúsculos cabos de aço fossem acrescentados ao material, gerando uma proteção no concreto, podendo chegar a uma resistência de 200Mpa (EMÍLIO, 2013, p.13).

Cientistas de três universidades brasileiras apresentaram uma avaliação da adição dos NTCs no concreto de cimento Portland, onde foram avaliados os principais aspectos do concreto, como resistência a compressão e resistência a tração. Com a adição de apenas 0,3% de nanotubos de carbono em relação à massa do concreto, foram obtidos ótimos resultados, 37% de crescimento na resistência a compressão e entre 18% e 24% de crescimento na resistência a tração, além de diminuir a porosidade, o que pode trazer uma grande revolução tecnológica no setor da construção civil.

A incorporação dos NTCs nas argamassas cimentícias, pode trazer outras vantagens como a prevenção de fissuras a uma escala nanométrica e a melhoria na durabilidade, pois fornece uma maior resistência a ataques químicos, já que os nanotubos incorporados reduzem os poros finos da matriz de cimento, resultando na redução dos fenômenos de capilaridade.

## 2.2 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

Os NTCs vêm sendo utilizados em diversos aspectos relacionados ao armazenamento, conversão e transmissão de energia elétrica. Os nanotubos de parede múltipla são extensivamente usados em baterias de íons lítios para notebooks e telefones celulares, misturados aos materiais do cátodo e do ânodo, aumentando a condutividade elétrica e a resistência mecânica, o que aumenta o ciclo de vida das baterias (ALDO MARCELA, 2013).

Pesquisadores da Universidade de Cambridge (Reino Unido) descobriram que os nanotubos de carbono apresentam um impressionante desempenho em fios elétricos longos e uma grande resistência, quando comparado também aos fios de cobre, são cerca de um decimo (1/10) mais leve, na Figura 4 podemos ver exemplo de fio elétrico fabricado com nanotubo de carbono. A outro fato a ser levantado, os NTCs reduzem a perda de energia durante a transmissão elétrica, episódio tipicamente comprovado com a utilização dos fios de cobre (KRZYSZTOF, 2011).

Figura 4 – Fios de nanotubo de carbono de 1mm



Fonte: University of Cambridge (2011).

Cientistas da Universidade de Rice, nos Estados Unidos, desenvolveram uma técnica que permite a fabricação de CNTs com vários centímetros de comprimento, com um potencial para produzir em dimensões ainda maiores, o que poderia revolucionar o setor de transmissão de eletricidade.

Hoje um dos maiores problemas enfrentados na transmissão de energia elétrica para as pessoas em suas casas é a perda de energia nos cabos de altas tensões, isso ocorre por conta da resistência que o fio oferece, quanto maior a distância, maior será a resistência elétrica que o cabo oferece, conseqüentemente, a perda de energia seria ainda maior. Como os nanotubos de carbono são condutores de eletricidade excepcionais, a energia produzida nas usinas poderia ser levada até as cidades e as casas em cabos muito mais finos, leves e extremamente eficientes, virtualmente, eliminando um dos maiores problemas enfrentados no setor, que é a perda de energia que ocorre nos linhões de alta tensão. Por exemplo, caso o CNT for condutor, ele poderá transmitir a eletricidade de uma forma até 1000 vezes (mil vezes) mais eficientes que os fios de cobre.

### 2.3 CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS

O alto consumo de energia e o correspondente problema de dissipação de calor são duas das limitações mais graves em eletrônicos de alta performance na tecnologia atual. Várias soluções para o controle térmico dos componentes estão sendo sugeridas, porém sem muito êxito. Diante disso com uma grande condutividade térmica foi sugerido a utilização dos nanotubos de carbono para as aplicações de gerenciamento térmico em eletrônicos de alta potência. Esta vantagem dos CNTs em relação a outros materiais vem sendo bastante explorada, principalmente para melhorar a condutividade térmica de outros materiais. (KRISZTIÁN; GEZA; ROBERT, 2007).

Devido à grande condutividade térmica do diamante e do grafite (no plano) serem extremamente altas, a condutividade térmica dos nanotubos de carbono (dominado por fônons) ao longo do eixo do tubo pode ser uma das mais elevadas quando comparada com outros materiais.

Cientistas finlandeses da Universidade de Oulu, com a colaboração dos seus colegas do Instituto Politécnico Rensselaer, Estados Unidos, descobriram que os nanotubos de carbono de parede múltipla podem gerar dissipadores mais eficientes, e muito menores que os atuais. Os melhores dissipadores atualmente no mercado, são feitos de cobre, porém os fabricados com os nanotubos de carbono, podem apresentar uma dissipação bem mais elevada que os dissipadores fabricados com cobre, e muito menores. Hoje em dia, a maioria dos dissipadores são utilizados nos aparelhos eletrônicos e com a película de NTC's em chips, microprocessadores, dentre outros, poderiam "manter a cabeça fria" de maneira mais eficiente (KRISZTIÁN; GEZA; ROBERT, 2007).

### 3 CONCLUSÃO

Devido às excepcionais propriedades físicas mecânicas dos nanotubos de carbono e de sua baixa densidade, eles são promissores componentes para o desenvolvimento de materiais compostos de alta resistência, componentes eletrônicos etc., abrindo oportunidades para o desenvolvimento de novos produtos com propriedades excelentes e superiores aos materiais usuais, estas características podem ser utilizadas nos desenvolvimentos de diversos materiais utilizados na construção civil.

Com objetivo, aumentar as propriedades mecânicas, térmicas e elétricas, dos materiais onde seja feita a adição ou substituição do seu abstrato por nanotubos de carbono, tornando-os mais resistentes os esforços solicitados, diminuindo os riscos dos materiais não resistirem aos esforços, fazendo com que haja o avanço da tecnologia dos materiais na construção civil.

Os nanotubos de carbono podem ser bem eficientes onde suas propriedades fossem exigidas, como é no caso do cimento; o concreto à base de cimento continua sendo o material mais empregado nas construções, frente ao custo de reparação de obras, estruturas incrivelmente grandes ou qualquer outro tipo de estrutura, um concreto mais resistente e mais durável, poderia trazer uma economia financeira bastante favorável, e o uso dos nanotubos de carbono pode fornecer a chave para isto. Prevenindo fissuras, melhorando a durabilidade ao longo do tempo por meio da resistência a ataques químicos, além de prevenir problemas estruturais etc.

O NTCs pode ser empregado nos materiais elétricos tendo em vista que sua condutividade elétrica é bastante elevada, trazendo grandes benefícios, por exemplo, a diminuição das perdas de energia nos fios de alta tensão com grandes distâncias,

além de produzir fios mais finos e leves. Sua característica térmica também não fica para trás, podendo melhorar bastante as propriedades térmicas dos materiais no setor da construção civil, podendo também ser usado na área da computação, por exemplo, na fabricação de dissipadores de calor, devido a sua grande condutividade térmica, o que poderia prevenir problemas como queima de componentes eletrônicos.

Assim sendo, não só os nanotubos de carbono, mas a nanotecnologia com um todo, tem um grande potencial em todas as áreas da engenharia, pois pode melhorar as propriedades dos materiais, diminuir os custos e pode propiciar uma maior durabilidade.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Luiz Cláudio. **Introdução a química orgânica**. 2.ed. PEASON, 2011.

AUGUSTO, Paulo. **Lei de Ohm: resistência elétrica, resistividade e leis de ohm**. Disponível em: <<http://educacao.uol.com.br/disciplinas/fisica/leis-de-ohm-resistencia-eletrica-resistividade-e-leis-de-ohm.htm>>. Acesso em: ago. 2016.

E-FÍSICA, **Relação entre a resistência elétrica e as dimensões do condutor**. Disponível em: <[http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/corrente/relacao\\_resist\\_eletrica\\_dim\\_condutor/](http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/corrente/relacao_resist_eletrica_dim_condutor/)>. Acesso em: ago. 2016.

FLORES-COLEN, Inês; SOARES, Antônio; BRITO, Jorge. A Nanotecnologia Aplicada às Argamassas de Revestimento. **Revista Internacional TECH ITT**. Lisboa, v. 1, n.34, out. 2013.

GABRIEL, HECTOR. **Preparação de compósitos com nanopartículas de carbono**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Materiais) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Minho, 2013.

GOMES, Antônio; BINOTTO, Solange. Funcionalidade de nanotubos de carbono. **Química nova**, v.30, n.7, p.1695-1703, 2007.

HENRIQUE, Marcelo; DRANKA, Francielle; ALÉCIO JÚNIOR; ROCIO, Marianne. Compósitos de cimento Portland com adição de nanotubos de carbono (NTC): Propriedades no estado fresco e resistência a compressão. **Revista Materia**, v.20, n.1, p.127-144, 2015.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, **Dissipadores de calor de nanotubos de carbono é mais eficiente para resfriamento de chips**. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010165070405#.V8Wb2jXENJo>>. Acesso em: jul. 2016.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, **Nanotubos de carbono são produzidos em grandes dimensões**. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=nanotubos-carbono-produzidos-grandes-dimensoes&id=010165090902>>. Acesso em: ago. 2016.

KORDÁS, Krisztián; VAJTAI, Robert; TOTH, Geza. Chip Cooling with Integrated Carbon Nanotube Microfin Architectures. **Applied Physics Letters**. Oulo, v.90, n.12, mar. 2007.

LQES - Laboratório de Química do Estado Solido - Unicamp, **Fiação elétrica com nanotubos de carbono**. Disponível em: <[http://www.lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/lqes\\_news/lqes\\_news\\_cit/lqes\\_news\\_2013/lqes\\_news\\_novidades\\_1776.html](http://www.lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2013/lqes_news_novidades_1776.html)>. Acesso em: julho. 2016.

MARCONDES, C.G.N. *et al.* Nanotubos de carbono em cimento Portland: Influencia da dispersão nas propriedades mecânicas e na absorção de água. **Revista ALCONPAT**. Aracaju-SE, v.5, n.2, p.1-18, ago. 2015.

PET CIVIL UFJF, **Semana Especial – Nanotubos de carbono**. Disponível em: <<https://blogdopetcivil.com/2012/06/11/semana-especial-nanotubos-de-carbono/>>. Acesso em: jan. 2016.

REIS, Emílio. Aspectos relevantes da nanotecnologia e a sua aplicação na construção civil. **IPOG – Revista Especialize Online**. Aracaju-SE, v. 1/2013, nº 006, p.1-19, dezembro. 2013.

RIOS, Ingrid. Et al. Nanotubos de carbono: potencial de uso em medicina veterinária. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.10, p.1823-1829, out, 2014.

SAMPAIO, Luciano de **O que são nanotubos de carbono?** Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/nanotecnologia/2640-o-que-sao-nanotubos-de-carbono-.htm/>>. Acesso em: jun. 2016.

SANTOS, Mayra. *et al.* Avaliação da dureza superficial de cimentos de ionômero de vidro reforçado por nanotubos. **REV. ODONTOL. UNESP**, v.44, n.2, p.108-112, abr. 2015.

SUNDARAM, Rajyashree; KOZIOL, Krzysztof; WINDLE, Alan. Continuous Direct Spinning of Fibers of Single-walled Carbon Nanotubes with Metallic Chirality. **Advanced Materials**. Cambridge, v.23, n.43, p.1-6, out. 2011.

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais, **Sumio Iijima ‘descobridor’ dos nanotubos de carbono, tem agenda aberta ao público na UFMG**. Disponível em: <<https://www.ufmg.br/online/arquivos/016751.shtml>>. Acesso em: ago. 2016.

ZARBIN, Aldo; OLIVEIRA, Marcela. Nanoestruturas de carbono (nanotubos, grafeno): quo vadis? **Química nova**, v.36, n.10, p.1533-1539, 2013.

---

**Data do recebimento:** 19 de dezembro de 2016

**Data da avaliação:** 8 de janeiro de 2017

**Data de aceite:** 11 de fevereiro de 2017

---

---

1. Acadêmico em Engenharia Civil no Centro Universitário Tiradentes – UNIT. Email: yurilimasp15@gmail.com

2. Acadêmico em Engenharia Civil no Centro Universitário Tiradentes – UNIT. Email: jamersonalves123@hotmail.com

3. Professor do Curso de Engenharia Civil no Centro Universitário Tiradentes – UNIT. E-mail: givasantos@yahoo.com.br