

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Curso de Especialização: Produção e Gestão do
Ambiente Construído

Bruna Talitha de Brito Santos Rocha

UTILIZAÇÃO DE NANOSENSORES NA
CONSTRUÇÃO CIVIL: SISTEMA WIRELESS

Belo Horizonte,
2017

BRUNA TALITHA DE BRITO SANTOS ROCHA

**UTILIZAÇÃO DE NANOSENSORES NA
CONSTRUÇÃO CIVIL: SISTEMA WIRELESS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador(a): Adriano de Paula e Silva

**Belo Horizonte,
2017**

R672u

Rocha, Bruna Talitha de Brito Santos.

Utilização de nanosensores na construção civil [manuscrito] : sistema wireless / Bruna Talitha de Brito Santos Rocha. - 2017. 58 f., enc.: il.

Orientador: Adriano de Paula e Silva.

“Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais”

Bibliografia: f. 54-58.

1. Construção civil. 2. Patologia de construção. 3. Nanosensores. 4. Redes de sensores sem fio. 5. Nanotecnologia. I. Silva, Adriano de Paula e. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 69

DEDICATÓRIA

Dedico essa obra a minha mãe, meus colegas de profissão e a todos os pesquisadores que investem tempo e esforço para realizar pesquisas e acabam com o resultado de novas tecnologias com o intuito de melhorar a vivência humana.

AGRADECIMENTOS

Agradeço pela conclusão deste trabalho primeiramente a Deus que é força soberana sobre minha vida e sem ele nenhuma realização seria possível.

À minha mãe Rosângela Maria de Brito Santos que sempre me apoiou, investiu em meus estudos e acreditou que eu poderia ir sempre além das minhas metas e objetivos. Meu maior exemplo de mulher e profissional.

Aos meus institutos de ensino do passado, desde o jardim de infância até a fase de graduação. Pois sem uma base não teria conseguido chegar na metade de onde cheguei.

Aos meus amigos que compreenderam quando reduzi minhas atividades para me dedicar exclusivamente à este trabalho.

Ao programa de Pós Graduação do departamento de Materiais da Universidade Federal de Minas Gerais e meu orientador Adriano de Paula e Silva.

*“As sure as night is dark and day is light
I keep you on my mind both day and night
And happiness I've known proves that it's right
Because you're mine, I walk the line”
(Johnny Cash)*

RESUMO

O presente trabalho abordará a análise da utilização de Nanosensores no auxílio preventivo de Patologias da Construção Civil. Tem-se notícia que nanosensores e nanochips estão em processo de pesquisa e desenvolvimento em algumas universidades ao redor do mundo. A tecnologia envolvendo nano escala representa um salto importantíssimo para a engenharia civil, pela economia de gastos, tempo de resposta rápido e inovação.

O objetivo geral deste trabalho é o estudo bibliográfico sobre medidas preventivas na construção civil e o objetivo específico do presente estudo é avaliar as possibilidades de criação ou da existência de nanosensores que possam dar um parecer antes que o processo de degradação intrínseco ocorra e que possam ser incorporado a qualquer tipo de estrutura e material, ou serem feitos para cada meio inserido.

Esses resultados de pesquisa demonstram que é possível, em princípio, regular a condutividade térmica em materiais nanoestruturados com um alto grau de precisão, Identificar carbonatação e presença de gases indesejados, mudança brusca de temperatura e pH e perceber que outros campos de estudo como tratamento de água, já possuem um início de pesquisa.

Palavras-chave: Nanosensores. Construção Civil. Wireless. Nanotecnologia. Patologia.

ABSTRACT

The present work will address the analysis of the use of Nanosensors in the preventive aid of Civil Construction Pathologies. It is known that nanosensors and nanochips are in the process of research and development in some universities around the world. Nano-scale technology represents a major leap forward in civil engineering, because of cost savings, rapid response time and innovation.

The general objective of this work is the bibliographic study on preventive measures in civil construction and the specific objective of the present study is to evaluate the possibilities of creation or to know the existence of nanosensors that can give an response before the process of intrinsic degradation occurs and that can be incorporated into any type of structure and material, or made for each insert material type.

These results demonstrate that it is possible in principle to regulate the thermal conductivity in nanostructured materials with a high degree of precision. Identify carbonation and presence of unwanted gases, sudden change of temperature and pH and realize that other fields of study as treatment of already have a research start.

Palavras-chave: Nanosensor. Civil Construction. Wireless. Nanotechnology. Pathology.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	08
LISTA DE TABELAS.....	10
1 INTRODUÇÃO.....	11
2 PATOLOGIAS.....	14
2.1 Patologias em Concreto Armado.....	16
1.1.1 Fissuração.....	17
2.2 Patologias em Estruturas metálicas.....	18
1.2.1 Corrosão.....	19
1.2.2 Demais Patologias em estruturas metálicas.....	20
2.3 Patologias em Pavimentos Rodoviários.....	23
3 NANOMATERIAIS E NANOSENSORES	26
3.1 Nanomateriais na construção Civil.....	27
3.2 Nanosensores.....	28
3.2.1 Nanowire.....	29
3.2.2 Nanowire FETs.....	31
3.2.3 Nanotubo de Carbono.....	31
3.2.4 MEMS e NEMS.....	34
3.2.5 Nanochip.....	35
3.3 Smart Dust.....	37
3.4 Nanofluidos	38
4 INCORPORAÇÃO DOS NANOSENSORES	40
4.1 Quanto à identificação de fissuras.....	40
4.2 Controle de massa de corpos indesejáveis.....	41
4.3 Quanto à identificação de Colapso progressivo.....	42
4.4 Quanto ao pH.....	43
4.5 Quanto a mudança de temperatura.....	44
4.6 Interação dos Nanosensores com a infraestrutura rodoviária.....	46
4.7 Nanosensores no tratamento de Água.....	47
4.8 Quanto a formação de gases indesejados e a utilização em energias renováveis.....	48
4.9 Nanosensores em gasodutos.....	48

4.10Nanosensores em estruturas metálicas.....	50
5 METODOLOGIA.....	51
5.1 Relato da pesquisa.....	51
5.2 Metodologia de obtenção dos Dados.....	51
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Análise de desempenho com o tempo.....	14
Figura 2	Custo de manutenção variando com o tempo.....	15
Figura 3	Incidências e origens de manifestações patológicas.....	15
Figura 4	Avanço da frente de carbonatação.....	16
Figura 5	Progressão da deterioração da estrutura devido à corrosão das armaduras.....	17
Figura 6	Trincas de flexão devido ao carregamento desbalanceado em suas fundações contínuas por expansão do solo.....	18
Figura 7	Reação Corrosão.....	20
Figura 8	Corrosão em coluna de aço.....	20
Figura 9	Porosidade em solda.....	21
Figura 10	Trincas em soldas.....	22
Figura 11	Colapso progressivo.....	22
Figura 12	Patologias em tintas aplicadas sobre estruturas metálicas.....	23
Figura 13	Distribuição das tensões num pavimento rígido e flexível.....	24
Figura 14	Corrugações em pavimento.....	25
Figura 15	Exemplo de nanomateriais.....	27
Figura 16	Processo de classificação para <i>Electronic Nose</i>	29
Figura 17	Nanowires.....	30
Figura 18	FET composto por camadas de boro sobre cristais de germânio.	31
Figura 19	Vetor Ch (n,m) para nomeação de nanotubos.....	32
Figura 20	Diferentes tipos de CNTs (a) armchair, (b) zigzag e (c) quiral.....	32
Figura 21	Estruturas básicas de (a) parede simples, (b) parede dupla e (c) parede múltipla de CNTs.....	33
Figura 22	Nanotubo incorporado em Epóxi.....	34
Figura 23	Dispositivo MEMS.....	35
Figura 24	Processamento de Microchip.....	36
Figura 25	Nanosensor.....	39
Figura 26	Componentes do <i>smart dust</i> em escala ampliada	38
Figura 27	Representação artística de nanofluidos.....	39
Figura 28	Nanosensor em estrutura em repouso.....	40

Figura 29	Nanosensor em estrutura em Movimentação.....	41
Figura 30	Nanochip.....	41
Figura 31	Colapso Progressivo.....	42
Figura 32	Intensidade de carbonatação e pH da água de poros de concreto submetido à carbonatação durante 8 e 16 semanas.....	43
Figura 33	Modelo esquemático da identificação por Nanofrequência.....	44
Figura 34	Nanosensor de temperatura na mão do Dr Gao.....	45
Figura 35	Resultado da equipe do D.r Retsch sobre os métodos de controle de temperatura.....	46
Figura 36	Diagrama do nanochip.....	47
Figura 37	Nanochip.....	48
Figura 38	Nanosensores em gasodutos.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Patologias em pavimento.....	25
Tabela 2	Nanomateriais e suas aplicações	29

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho abordará a análise da utilização de Nanosensores no auxílio preventivo de Patologias da Construção Civil. Estruturas da construção civil são propensas a estragos contínuos e descontrolados durante toda sua vida útil, portanto é mostrado a importância de investimentos em estudos aprofundados de técnicas e dispositivos utilizando nanomateriais que possam auxiliar nas descobertas de patologias relacionadas à umidade, esforços indevidos, presença de gases entre outros problemas e agentes na construção civil.

Segundo ANDRADE E MELO (2014) o espaço construído tem papel decisivo na sociedade, pois a maioria da população vive ou depende diretamente de edificações para realizar atividades produtivas. Um edifício se mantido em boas condições representa um patrimônio de alto valor. Um bem a longo de seu tempo de vida útil sofrerá danos, a degradação progressiva está presente em todo o tipo de edificação.

Constantemente se vê necessário a mudança e a evolução na construção civil, uma tendência na utilização de processos cada vez inovadores e com resposta rápida para resoluções que impeçam a progressão das degradações. Portanto o presente trabalho aborda o tema envolvendo Nanosensores e suas aplicações, uma tecnologia que consiste mais em pesquisas do que aplicações no momento, porém ao longo da última década, parte dos estudos foram colocados em prática.

Tem-se notícia que nanosensores e nanochips estão em processo de pesquisa e desenvolvimento em algumas universidades ao redor do mundo. Diversos países e áreas vem mostrando interesse neste tipo de pesquisa. A busca pela existência de nanosensores capazes de adaptar a qualquer tipo de estrutura, aplicação ou meio ambiente inserido, se faz como meta do estudo em questão.

O trabalho justifica-se pela grande relevância no processo construtivo e a utilização de tecnologia diferenciada, contribuindo para elevar o modelo de construção e monitoramento da mesma, com adições de materiais em escala Nano à outros materiais e elementos .

O estudo de patologias tem um grande campo de pesquisa porém ainda assim trata-se de algo extremamente complexo pois há envolvimento de inúmeros

fatores que influenciam nos resultados finais, sejam esses problemas causados por falhas em projetos ou na fase construtiva e/ou de manutenção.

A manutenção preventiva que temos notícia se dá muitas vezes no subsistema das estruturas e não na própria estrutura. Em instalações elétricas e hidráulicas e juntas de dilatação como exemplo. Esse novo campo de estudo poderá render resultados nunca antes vistos.

Os nanosensores seriam capazes de identificar a mudança repentina de pH da estrutura de concreto, auxiliar no processo de carbonatação em locais indevidos analisar a micro porosidade das estruturas, identificar microfissuras mecânicas antes que as mesmas possam gerar resultados catastróficos, entre outros.

O objetivo geral deste trabalho é o estudo bibliográfico sobre medidas preventivas na construção civil e o objetivo específico do presente estudo é avaliar as possibilidades de criação ou da existência de nanosensores que possam dar um parecer antes que o processo de degradação intrínseco ocorra e que possam ser incorporado a qualquer tipo de estrutura e material, ou serem feitos para cada meio inserido. O enfoque será dado em estruturas de concreto, metálicas, infraestrutura rodoviária e pontes . Um material capaz de ocupar o espaço entre os vazios fazendo parte da estrutura desde a concepção estrutural até a fase de utilização.

Tratando em termos de aplicação, o estudo mostra-se de grande relevância pois sua aplicação é inserida no contexto de melhoramento dos processos que trazem inovação tecnológica e por consequência podem originar um avanço necessário para esse setor, uma tecnologia reconhecida e aplicada nas construções em geral, como dito antes desempenha papel de manutenção preventiva e não corretiva.

Um estudo de grande potencial que visa a economia de gastos com a estrutura, sabendo que o custo de recuperação aumenta em relação a fase do empreendimento, prevenir daria tempo exato de pensar em uma solução rápida que conceberia um custo inferior em relação ao de recuperação já na fase das manifestações patológicas.

Diante deste panorama vemos a importância de ter um sistema em que fornece respostas em tempo real. O conjunto que forma redes começa sua vida operacional assim que instalados. Uma incitação por mostrar a disseminação desta

tecnologia ao redor do mundo seja em pesquisa ou aplicação foi levada em consideração na hora de explorar essa nova tecnologia.

A metodologia utilizada foi apenas revisão bibliográfica visto que não haveria possibilidade de realizar testes ou entrevistas, pois se trata de um assunto que requer um investimento alto e um tempo e equipe que não seria disponível aqui no Brasil, base principal as informações sobre processos utilizando nanosensores como base de estudo na construção civil em países ao redor do mundo. Um assunto de grande importância para um desenvolvimento significativo e um possível salto na forma de como os engenheiros e pesquisadores dessa área tratam o assunto. Foram utilizados artigos especializados e contextualizados, dissertações, teses, livros, manuais, revistas especializadas de fonte reconhecida e tópicos específicos dentro da área da nanotecnologia. A pesquisa se deu também através de companhias e empresas que estivessem investindo nessa nova tecnologia e obtive resultados.

Sensores e sistemas microeletrônicos (MEMS) eram chamados os menores aparelhos funcionais que foram construídos por humanos (Korvink and Paul 2006). Esses micro aparelhos começaram seu desenvolvimento no começo dos anos 70, mas desde 1995 houve um progresso significativo na variedade de novos materiais que levou uma aplicação mais intensa dos MEMS (Gaura and Newman 2006).

Temos conhecimento que os nanosensores são utilizados na ciência, na microbiologia, na química, na física, entre outros. Diferentes dos materiais macroscópicos estes são capazes de agir em níveis atômicos e moleculares, fazendo então que cada dia mais o investimento nesta área cresça. Os desenvolvimentos foram impulsionados pela Iniciativa Nacional de Nanotecnologia.

Este trabalho é composto por 6 Capítulos decorrente do assunto, mais introdução, metodologia e considerações finais.

Capítulo 2 discorre sobre Patologias nas diferentes áreas e estruturas na Engenharia Civil.

Capítulo 3 Nanomateriais e Nanosensores, demonstrando os principais tipos, características, bem como a aplicação dos mesmos na construção Civil.

Capítulo 4 trata da incorporação dos nanosensores nas estruturas e as observações, bem como mudanças, resultados e aprofundamento do tema.

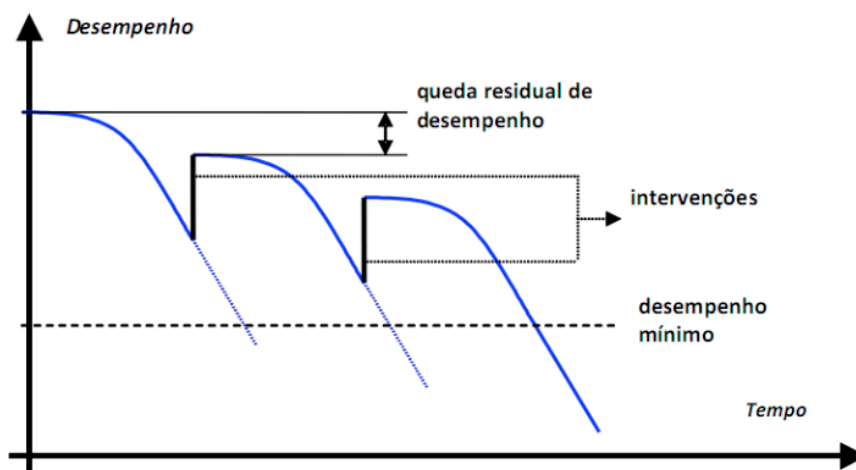
Capítulo 5 demonstra a metodologia utilizada.

2 PATOLOGIAS

As estruturas sofrem alterações a todo o tempo devido a esforços externos ou até mesmo deformações internas ocorridas por reações químicas. Quando o desempenho fica ameaçado, alterações visíveis começam a aparecer e são uma forma de alertar que algo de errado está acontecendo. A partir do conhecimento da alteração necessita-se de uma análise detalhada do problema que a estrutura se encontra, precisando instaurar hipóteses iniciais para os possíveis problemas. Inspeções específicas auxiliam na análise gerando resultados de posições, espessuras, direções, evolução, agente causador e responsável pela falha. As formas mais comuns de patologias são fissuras e trincas mas o presente estudo abordará para todas as formas e suas manifestações.

Entende-se por patologia do concreto armado a ciência que estuda sintomas, mecanismos, causas e origens dos problemas patológicos encontrados nas estruturas de concreto armado. Lembrando que para um dano qualquer, existe a possibilidade de vários fatores serem responsáveis. Estes danos podem vir apenas a causar incômodos para aqueles que irão utilizar a obra segundo o fim para que foi feita, tais como pequenas infiltrações até grandes problemas que podem levar a estrutura ao colapso (HELENE, 1988). A figura 1 demonstra a análise de desempenho de acordo com o tempo.

Figura 1: Análise de desempenho com o tempo .



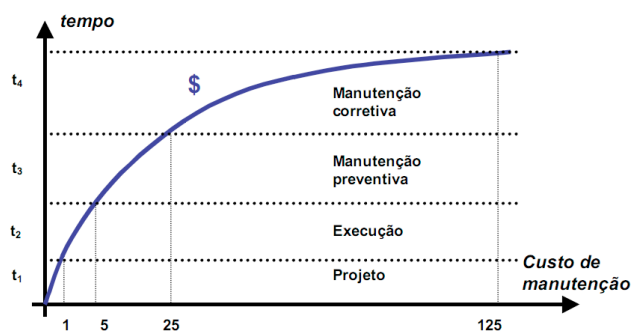
Fonte: Lichtenstein 1985

As patologias configuram-se evolutivas, portanto tem grande probabilidade de progredirem ao decorrer do tempo. Haverá menor custo para intervenção quanto antes se detectar o problema.

Para a redução de custos é necessário um projeto elaborado resultando baixos índices de prejuízos financeiros. A figura 2 relata o custo de recuperação em relação ao andamento das etapas construtivas.

Este presente capítulo apresentará as patologias mais recorrentes nos diversos tipo de estruturas e quais são suas especificações e agentes.

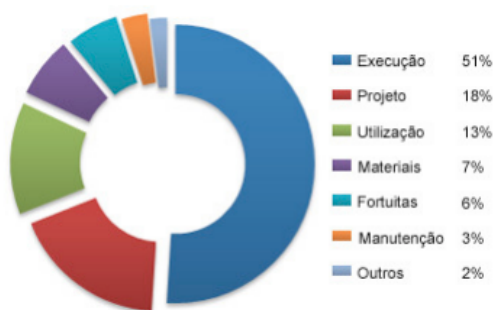
Figura 2: Custo de manutenção variando com o tempo .



Fonte: Alani et al. 2001

Em resumo as patologias decorrem de má qualificação, dimensionamento errado de projeto, informações desconexas ou insuficientes preliminares à construção, redução de custos indevidos, falta de manutenção e intempéries que muitas vezes são quase impossíveis de controle ou previsão, mostradas na figura 3.

Figura 3: Incidências e origens de manifestações patológicas.



Fonte: Piancastelli 1997

2.1 PATOLOGIAS EM CONCRETO ARMADO

O concreto é um material que possui baixa resistência a tração mas que resiste muito bem às tensões de compressão, o aço por sua vez tem alta resistência à tração. Estudos foram realizados e como resultado obteve-se a junção dos dois materiais, propiciando um concreto com adição de armaduras, mais precisamente barras de ferro, assim o conjunto trabalha suportando as duas tensões gerando resultados satisfatórios. Com a criação do elemento: Concreto Armado foi possível avançar no conceito tecnológico da construção civil, pois é um elemento que não somente consegue vencer grandes vãos, como é considerado monolítico, possui facilidade de adaptação às formas construtivas e possui segurança contra o fogo. Tornou-se o material estrutural mais utilizado no Brasil (IBRACON, 2009).

Cada vez mais há o surgimento de patologias em estruturas de concreto que são capazes de reduzir a vida útil dos mesmos e impedir ou dificultar o papel estrutural de seus elementos. Podemos citar como problemas influenciadores a baixa qualidade no processo e o descaso com a manutenção. Com o acervo que possuímos na construção civil de estudos relacionados às manifestações, reparo e recuperação, temos uma ideia dos comportamentos de degradação e como podemos lidar com essa problemática.

Dentre as patologias podemos citar a carbonatação e por consequência a corrosão de armaduras, ataques de sulfatos, reação álcali-agregado, corrosão, desgaste por abrasão entre outros.

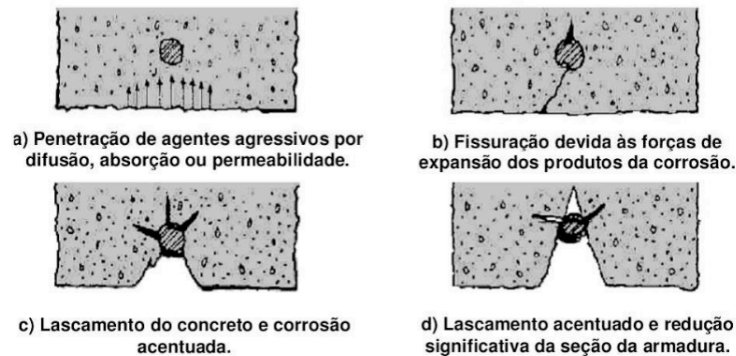
Figura 4: Avanço da frente de carbonatação .



Fonte: Tula 2000.

Figura 5: Progressão da deterioração da estrutura devido à corrosão das armaduras.

Progressão da deterioração da estrutura devido à corrosão das armaduras



Fonte: Helene 1989

Podemos observar as origens das estruturas de concreto e classificá-las em processos físicos de deterioração, causas intrínsecas e extrínsecas:

- Fissuração, desgaste e degradação do concreto.
- Naturais onde dividimos em físicas, químicas, biológicas e causadas pela própria estrutura porosa.
- Falhas humanas durante a construção a utilização, no caso do concreto estaria envolvido a deficiência de armaduras e concretagem, utilização errônea de materiais, de formas e escoramentos.
- Ações mecânicas, físicas e químicas.

A possibilidade de colapsos e rupturas devido ao enfraquecimento das estruturas nos leva a buscar alternativas as quais o recurso não seja alto porém com um resultado seja satisfatório.

2.1.1 Fissuração

Uma parte importantíssima em patologias de concreto é a fissuração, podemos classificá-las quanto a movimentação, fissura ativa e inativa e apresentação de abertura variável ou estável.

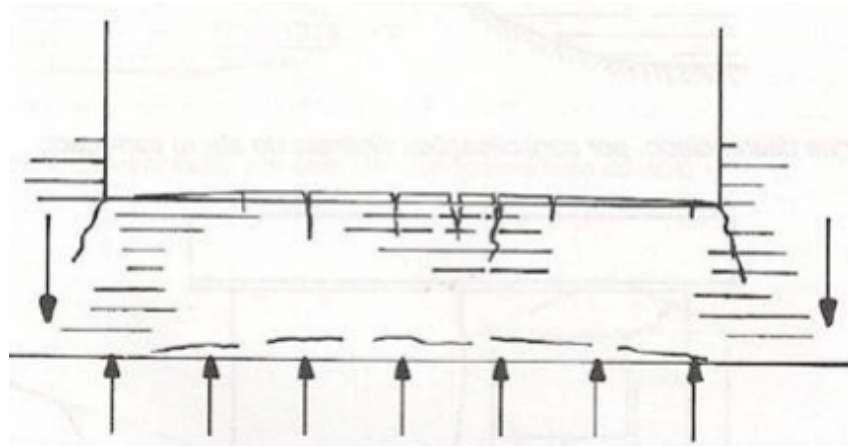
As fissuras são oriundas de diferentes causas:

- Devido ao assentamento plástico.
- Retração por secagem.

- Movimentação térmica.
- Detalhamento insuficiente.
- Devido a carregamentos.
- Devido a recalques de fundações.

Fatores como relação água/cimento, adensamento de forma incorreta, perda de água no amassamento, grandes amplitudes de temperaturas, falta de ventilação, montagem inadequada de formas, adensamento e recalques imediatos nos solos, deformação ou rompimento de elementos estruturais, contribuem significativamente para a formação de fissuras.

Figura 6: Trincas de flexão devido ao carregamento desbalanceado em suas fundações contínuas por expansão do solo .



Fonte: Thomaz 2002

2.2 PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS

No campo de pesquisa envolvendo patologias o concreto armado torna-se alvo de estudo devido sua aplicabilidade e difusão de empreendimentos e com menos ênfase temos os estudos de patologias em estruturas metálicas. No Brasil esse tipo de estrutura não é difundido interinamente e tem-se uma resistência de aplicação por ser um sistema construtivo diferenciado, nossa cultura reluta por mudanças ainda que se venha tentando trazer novas tecnologias para aplicação.

Portanto fica reduzido a capacidade de profissionais executarem o processo com perfeito conhecimento técnico dando brechas para possíveis falhas na construção.

Historicamente verifica-se que o principal fator que emperrou o desenvolvimento do aço na construção foi a demora na criação das siderúrgicas em território nacional. Isso gerou uma grande dificuldade no fornecimento de perfis estruturais, que tinham de ser importados, e fez com que o aço se tornasse inviável tanto técnica como economicamente para a grande maioria das aplicações na construção civil. (CASTRO,1999, p.22)

Quando Castro escreveu sua monografia na década de 90 o aço vinha em ascensão e tinha um foco de construção em shoppings centers e edifícios industriais, hoje o cenário praticamente é o mesmo.

De acordo com Castro (1999) podemos dividir as patologias nas estruturas metálicas em três categorias, as transmitidas, as adquiridas e as atávicas.

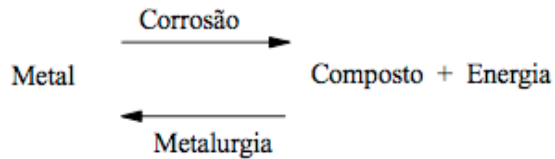
As patologias transmitidas são originárias de procedimentos padrões viciosos ou negligência de profissionais desde a hora da construção à montagem, as adquiridas são devidas às ações de agentes externos agressivos e as atávicas derivam de má concepção de projeto.

Podemos citar as patologias mais comuns :

- Corrosão
- Patologia das Ligações
- Perda de Estabilidade Estrutural
- Patologia das Tintas

2.2.1 Corrosão

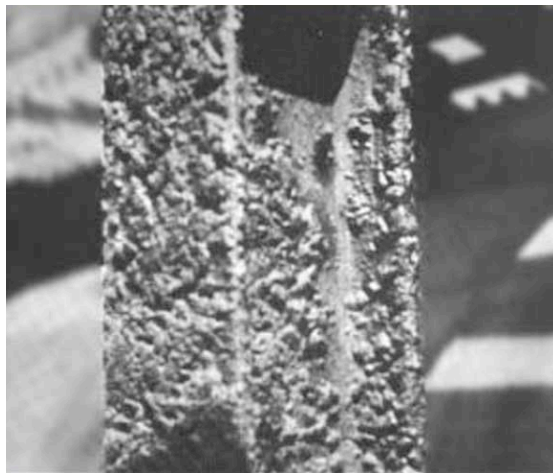
A corrosão pode ser vista em diversos tipos de materiais porém é nas estruturas metálicas que acontecem de forma mais agressiva. Podemos simplificar o processo de corrosão em um processo no qual o material perde a energia introduzida no ato da fabricação devido a reação do material com o meio inserido.

Figura 7: Reação Corrosão

Fonte: Castro 1999

A corrosão pode ser vista em diversos tipos de materiais porém é nas estruturas metálicas que acontecem de forma mais agressiva. Podemos simplificar o processo de corrosão em um

Temos dois mecanismos básicos que abrangem todos os processos corrosivos existentes na natureza: a corrosão química e a corrosão eletroquímica. No primeiro caso a oxidação do metal ocorre sem a transferência de elétrons e é um mecanismo restrito basicamente a processos industriais submetidos a altas temperaturas, portanto serão desconsiderados neste trabalho. O segundo se caracteriza basicamente pela transferência de elétrons do ânodo para o cátodo através de uma ligação elétrica e um meio eletrólito que envolve os eletrodos, e constitui praticamente quase todos os casos de formação da corrosão. (CASTRO, 1999, p.27)

Figura 8: Corrosão em coluna de aço

Fonte: Dillon 1982

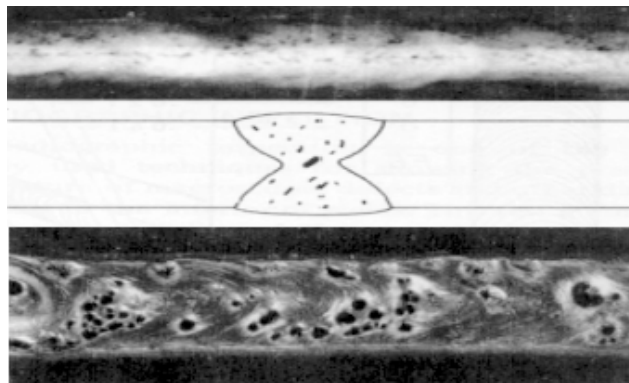
2.2.2 Demais patologias em estruturas metálicas

Quando se pensa em patologias em estruturas metálicas a primeira a qual pensamos imediatamente é a corrosão, por ter mais estudos aprofundados e por ser a mais frequente, porém o estudo de patologias nos metais vai muito além de um tópico, a região de ligação nas estruturas é um local propício para ocorrência de

danos, assim como deve ter um cuidado com os revestimentos de tintas e uma preocupação com a perda de estabilidade estrutural.

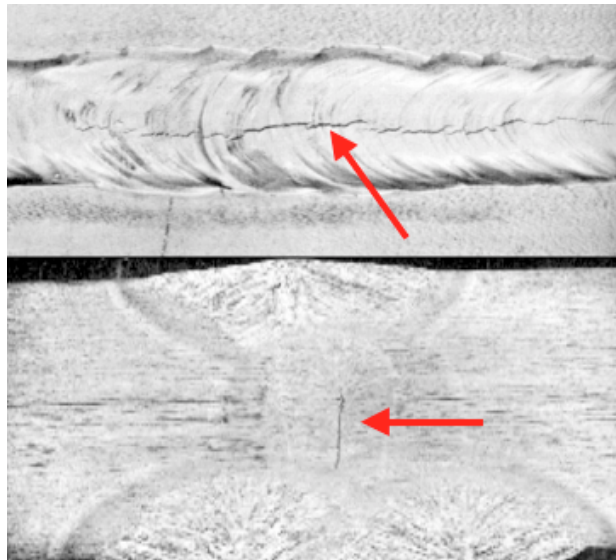
As ligações podem ser diferenciadas entre parafusadas e soldadas com meios de transmissão indiretos na primeira e diretos na segunda. Fadigas e relaxação dos parafusos em pontes ferroviárias, colapso de ligação, ruína de fustes, soldas que devido a incorreta aplicação do profissional levam á um produto de baixa qualidade gerando soldas com um índice de porosidade maior, inclusão de escória ao material, redução da seção resistente devido as mordeduras, empenamentos, superposições e o surgimento de trincas também tratam-se de patologias presentes nestas estruturas. A maioria dos defeitos se encontra no cordão da solda seja de maneira superficial à mais profunda. As figuras 9 e 10 mostram a porosidade e trincas em solda.

Figura 9: Porosidade em solda



Fonte: Castro 1999

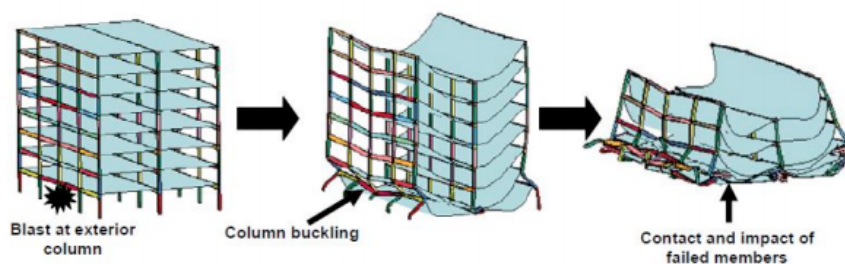
Figura 10: Trincas em soldas



Fonte: Castro 1999

Devido a falha estrutural podemos identificar a flambagem global e local, peso próprio sobrecarga e efeito do vento são os principais causadores, resultando em pontos de sucção e sobrepressão. O colapso progressivo é a perda da capacidade de suportar cargas, um elemento rompe e os esforços são distribuídos para peças adjacentes sobrecarregando as mesmas. A figura 11 demonstra um exemplo de colapso progressivo onde um pilar foi danificado e a estrutura sofreu o colapso.

Figura 11: Colapso progressivo



Fonte: Kapilk 2008

É impossível analisar as patologias nas estruturas metálicas e não analisar o revestimento das estruturas metálicas que estão susceptíveis à ações externas

indesejáveis. Durante a vida útil do revestimento a camada orgânica de proteção sofre alterações e resulta em uma certa porosidade que influencia no início da corrosão. Patologias envolvendo tintas podem ser classificadas como impregnação do abrasivo, escorrimento, formação de pele, sobre aplicação, empolamento, calcinação, fendilhamento, descascamento, enrugamento e sangramento. A figura 12 contém as patologias de tintas mais frequentes.

As alterações nos revestimentos aparentemente não demonstram perigo ou dão ideia de risco, um julgamento superficial não identificaria os problemas que muitas vezes são inclusos. São necessários testes como o de Beilstein que identifica halogênios, teste com ácido sulfúrico concentrado e testes de solubilidade em solventes orgânicos entre outros, para determinar os agentes causadores da patologia em questão.

Figura 12: Patologias em tintas aplicadas sobre estruturas metálicas



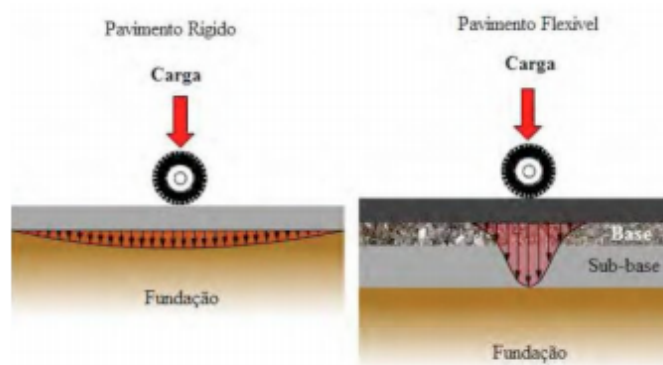
Fonte: Lisboa 2014

Uma proteção com nível de excelência impede que se desenvolvam outros tipos de patologia na estrutura.

2.3 PATOLOGIAS EM PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

O estudo relacionado aos pavimentos é de essencial importância, pois temos diversos tipos de estrutura rodoviária caracterizadas em rígidas, semirrígidas e flexíveis. A redução de tensões se dissipam lentamente com o passar da profundidade do mesmo nos pavimento flexíveis e nos rígidos a redução acontece de forma mais acelerada. Porém independe de sua constituição o conjunto deve atender as necessidades e segurança da sociedade.

Figura 13: Distribuição das tensões num pavimento rígido e flexível



Fonte: Maia 2012

Dependendo dos materiais constituintes cada estrutura sofrerá diferentes degradações e conseqüentemente diferentes patologias iram aflorar. O pavimento tem tipicamente como camadas: Reforço de subleito, Sub-base, Base e Revestimento. Após a segunda guerra mundial teve-se um investimento na tecnologia de pavimentação no Brasil e novos materiais foram implementados.

Segundo Yoshizane (2005) “[...] a serventia é definida como a habilidade de uma seção de pavimento, à época da observação, de servir ao tráfego de automóveis e caminhões, com elevados volumes e altas velocidades [...]”. Pode-se medir a serventia de um pavimento através de algo chamado VSA, que configura uma atribuição de avaliação entre 0 e 5, onde 5 é excelente e 0 péssimo. Devido a alguns fatores o VSA com o passar do tempo cai, devido a fatores externos como intempéries e o próprio tráfego.

Presente nas patologias do pavimento podemos classificar os defeitos como superficiais de classe estrutural e funcional, o primeiro precisa de uma análise mais aprofundada e o segundo pode ser identificado apenas com uma análise de vista sobre o mesmo, capaz de identificar o nível de conservação do pavimento.

Patologias como ondulações, corrugações, trincas, afundamentos, fendas, painéis e remendos são responsáveis por indicar a qualidade da superfície do pavimento.

Figura 14: Corrugações em pavimento



Fonte: Estrada Rural blogspot 2009

Tabela 1 : Patologias em pavimentos .

Defeito		Descrição	Prováveis causas
Trincas isoladas	Longitudinais	Apresenta direção predominante paralela ao eixo da via.	Junta de construção mal executada. Contração / dilatação do revestimento. Propagação de trincas de camadas subjacentes.
	Transversais	Apresenta direção predominante ortogonal ao eixo da via.	Contração / dilatação do revestimento. Propagação de trincas de camadas subjacentes.
Trincas interligadas	Jacaré / crocodilo	Assemelhando-se ao couro de jacaré ou crocodilo.	Ação repetida das cargas de tráfego.
	Bloco	Configuração próxima a um retângulo, podendo os blocos apresentar vários tamanhos.	Variações térmicas. União de trincas transversais e longitudinais.
Afundamento	Plástico	Apresenta além da depressão na região das trilhas de rodas um solevamento lateral.	Ruptura das camadas do pavimento pela ação do tráfego.
	Consolidação	Caracteriza-se por uma depressão do revestimento na região das trilhas de roda.	Compactação insuficiente das camadas. Mistura asfáltica com baixa estabilidade. Infiltração de água nas camadas.
Ondulação/ corrugação		Caracteriza-se por ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento de caráter plástico e permanente	Instabilidade da mistura betuminosa ou base. Excesso de umidade das camadas. Materiais estranhos na mistura. Retenção da água na mistura.
Deterioração de remendos		Região do pavimento onde ocorreu substituição do material original.	Tráfego intenso. Uso de materiais de má qualidade. Condições ambientais agressivas. Problemas construtivos.
Painéis		Cavidade que se forma num primeiro estágio no revestimento apresentando dimensões variadas.	Trinca por fadiga. Desgaste de alta severidade.

Fonte: Rocha 2009

Um estudo mais aprofundado com ensaios de corpos de prova e medições de camadas deve ser realizado.

3 NANOMATERIAIS E NANOSENSORES

Em escala de definição os nanomateriais são de ordem 10^{-9} e podem ser identificados por meio de microscópios eletrônicos de alta resolução, o mais utilizado é o microscópio eletrônico de varredura, MEV. A nanotecnologia e a nanociência são ciências que estudam os conceitos e os comportamentos desses materiais. Os materiais podem ser classificados de acordo com a dimensão: 0-D Nanomateriais, 1-D Nanomateriais, 2-D Nanomateriais e 3-D Nanomateriais.

Cada nanomaterial tem propriedades comuns e distintas entre si, porém algo que pode ser dito é que são materiais que possuem grande reatividade. Segundo SILVA (2010) Há registros que a utilização desses materiais próximos ao ano 4 d.C. na incorporação de materiais como sílica, ouro e negro de fumo.

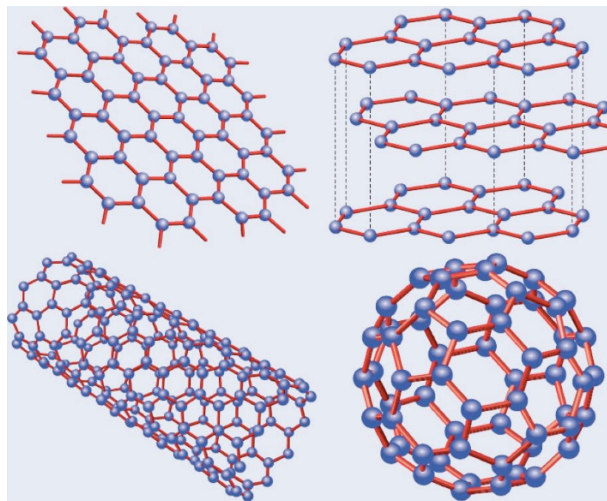
Os materiais podem ser produzidos por processos ao longo do tempo na natureza ou por meio de manipulações laboratoriais. Diversas áreas humanas utilizam os nanomateriais por possuírem resposta satisfatória e por serem materiais importantes para o desenvolvimento de pesquisas e auxílio em tratamentos diversos.

Temos conhecimento dos nanomateriais nas seguintes aplicações:

- Bioquímica.
- Nanobiotecnologia.
- Medicina.
- Nanofarmacos.
- Mecânica e Química.
- Construção Civil,
- Outros.

Devido a evolução histórica os investimentos nesta tecnologia se tornaram viáveis e obteve se um crescimento significativo em seu desenvolvimento. Materiais com propriedades superiores foram se desenvolvendo e desempenhando papel superior aos já pré-existentes. Os nanocompósitos são estes materiais que possuem uma base matriz própria com adição de um determinado reforço manométrico. Os reforços manométricos podem ainda ser subdividido em três categorias: partículas esféricas, estrutura em camadas e nanotubos.

Figura 15: Exemplo de nanomateriais



Fonte: Empresa Graphene, retirado em 2017.

3.1 NANOMATERIAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Utiliza-se técnicas específicas para a construção de nanomateriais, o processamento pode ser dividido em técnicas de indução e dedução. São dois métodos diferenciados devido a forma de produção. O processo *Top-Down* consiste em desfazer materiais e obter materiais em escala menor geralmente consiste em um processo físico, já o processo *Bottom-Up* consiste em criar átomo por átomo e consequentemente entra na divisão de processos químicos.

Há plenos estudos e aplicabilidades de nanomateriais na construção civil, podemos destacar a sílica de fumo e hematita que incorporadas ao concreto auxiliam no melhoramento da resistência a compressão e da compressão através da redução de poros tornando-o mais impermeável, o dióxido de titânio utilizado em fachadas é utilizado para retardar a degradação e tem propriedade de auto limpeza, os nanotubos de carbono de parede simples e paredes múltiplas que contribuem significativamente para o aumento da resistência, os nanomateriais e nanoargilas que retardam a transmissão de calor e dão proteção contra o fogo, aerogéis e espuma de polímero que funcionam como isolantes térmico e acústico, em painéis solares e fotovoltaicos orgânicos. Temos a seguir uma tabela que faz um

comparativo de nanomateriais hoje já incorporados na construção civil e suas aplicações.

Tabela 2:

Nanomateriais	Aplicações
Dióxido de Titânio	Auto limpeza, antibacteriano e purificador de ar
Sílica	Aumento da Resistência do concreto, retardador de fogo
Óxido de Zinco	Auto limpeza e filtros seletivos de luz
Óxido de Alumínio	Proteção contra riscos
Prata	Antibacteriano
Nanotubo de Carbono	Aumento da resistência mecânica

Os sensores podem ser subdivididos em passivos e ativos. São chamados de “*smart system*” ou “*smart structures*” porque são capazes de identificar, armazenar e providenciar diagnósticos, com capacidade intensa e funcionam com uma bateria com capacidade de duração compatível à vida útil da estrutura.

3.2 NANOSENSORES

Nanosensores são transdutores que convertem um parâmetro em sinais que transportam informações, sinais estes que configuram um sistema em que um grupo de células sensoriais respondem à um fenômeno físico ou químico inseridos em um meio e assim esses mesmo sinais são analisados, interpretados e gerando dados. Para tal, os nanosensores devem estar em contato direto com o objeto em estudo, assim conseguirão transformar informações não elétricas em elétricas de forma rápida e precisa.

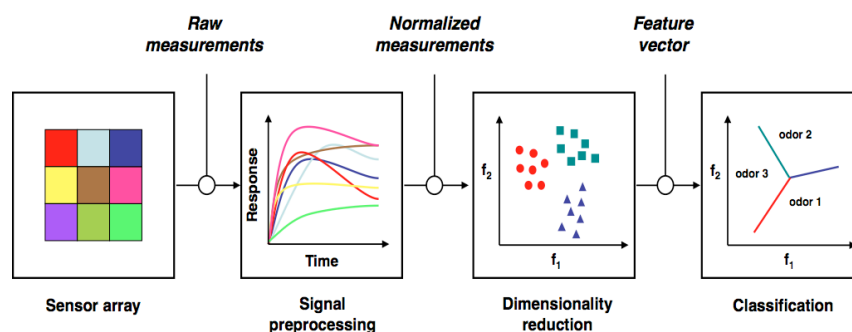
Os sensores devem ser compostos de receptores e transdutores. Possuir sensibilidade elevada para medir mudanças ínfimas, uma faixa dinâmica capaz de descrever os valores máximos e mínimos do parâmetro e ser seletivo respondendo apenas aos grupos que foram destinados para análise.

Um importante segmento emergente no campo de sensores é o chamado *Eletronic Nose*, capaz de identificar diferentes tipos de parâmetros e separá-los. Importante para o estudo de desenvolvimento de sensores para gases configura a

transição de um simples sinal difundido em uma malha de sinais, podendo identificar múltiplos gases.

O *Eletronic nose* deve ser treinado com amostras qualificadas e assim construir o banco de dados. Portanto com o reconhecimento de novos dados poderá quantificar e qualificar de acordo com o seu propósito. O Design e o desenvolvimento do algoritmo possibilita que o computador reconheça padrões.

Figura 16: Processo de classificação para *Eletronic Nose*



Fonte: Haick.

Diversos tipos de sensores podem ser aplicados eletronicamente. Sensores baseados em ondas acústicas de superfície ou massa (SAW,BAW), sensores de polímero(CP), Transistores de efeito de campo (FETs), sensores de óxido metálico(MOX), sensores ópticos de modulação de luz por meio de processo de **transdução**¹ passam de elétricas para resistência, potencial, corrente ou frequência.

3.2.1 Nanowire

Um *Nanowire* (NW) ou nanofio configura qualquer material sólido com diâmetro entre 1 e 100nm em forma de fio. Uma característica importante seria a relação comprimento e raio, fazendo com que seu comprimento seja infinitamente maior que seu diâmetro. Compostos de unidades moleculares orgânicas e

¹ Transdução é um processo físico de transferência de energia.

² p-Si p ligações de silicone.

inorgânicas e densidade única, podem ser divididos em Nanofios metálicos, nanofios semicondutores e nanofios isolantes.

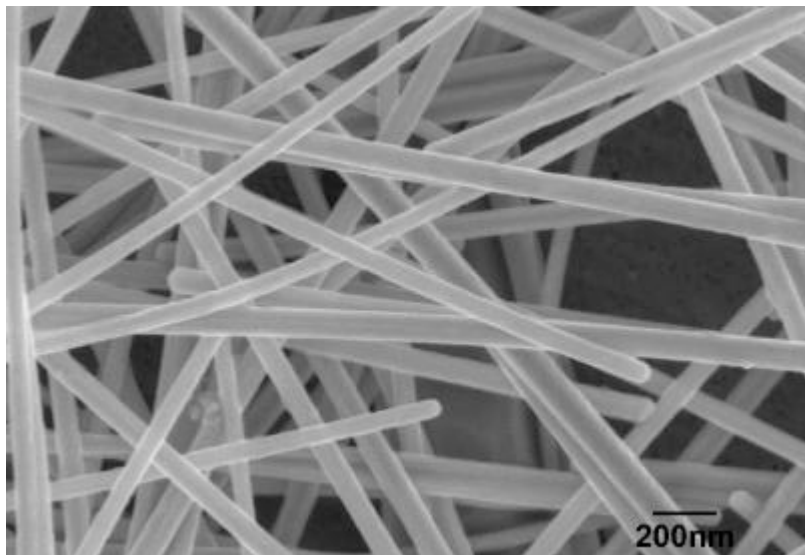
São a base para produtos comerciais como LEDs e diodos laser azuis e recentemente foram implantadas nas aplicações sensoriais, optoeletrônicas, fotovoltaicas e eletrônicas. Podem ser utilizados em purificação de ar e água.

As propriedades ópticas tem ligação direta com computação óptica de alta densidade, identificando diferentes tipos de irradiação luminosa e possuem precisão de nm escala em distâncias microns.

Propriedades elétricas podem ser divididas em dois processos transporte balístico e transporte difusivo, onde o primeiro ocorre em nanofios curtos e não há alteração de fluxo nem qualquer dispersão de elétrons , o segundo em nanofios mais longos em que os elétrons sofrem dispersão devido ao longo caminho transportador. São normalmente configurados em estruturas FETs, que será mencionada no item seguinte.

Os nanofios melhoram as propriedades termoelétricas dos materiais. Para se ter uma conversão termoelétrica é necessário uma diferença entre temperaturas, o calor que flui de um lado para o outro gera uma corrente e a mesma pode ser usada e armazenada posteriormente. Estudos comprovam que esta tecnologia é econômica e viável.

Figura 17: Nanowire



Fonte: Empresa Novarials, retirado em 2018

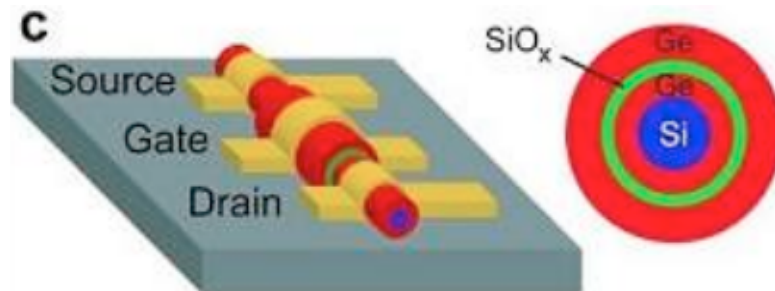
3.2.2 Nanowire FETs

Field Effects Transduction (FETs), Transistores de efeito de campo que operam com três terminais: força, drenagem e porta. A voltagem aplicada corre entre o canal força-drenagem. A grande impedância de entrada do FET faz com que seja usado para amplificar outras entradas.

Transistores de efeito campo baseado em um nanofio com núcleo de silício e camadas germânio e óxido de silício foram criados pelo grupo de pesquisa de Charles Lieber, em Harvard. Produzindo assim dispositivos híbridos, compostos pela integração de FETs de alto desempenho e semicondutores convencionais.

A equipe do Professor Lieber produziram camadas de p-Si² dopado com Boro sobre cristais de germânio. O FET criado possui p-Si/i-Ge³/SiO_x⁴/p-Ge⁵. Cada um possui papel individual e importante no processo

Figura 18: FET composto por camadas de boro sobre cristais de germânio.



Fonte: Harvard

3.2.3 Nanotubo de Carbono

Nanotubos de carbono (CNT) configuram átomos de carbono em conjunto de estruturas cristalinas formando um hexágono. Formados por essa camada de grafite (Grafeno) os nanotubos são o resultado de cilindros perfeitos com alta energia de ligação.

² p-Si p ligações de silicone.

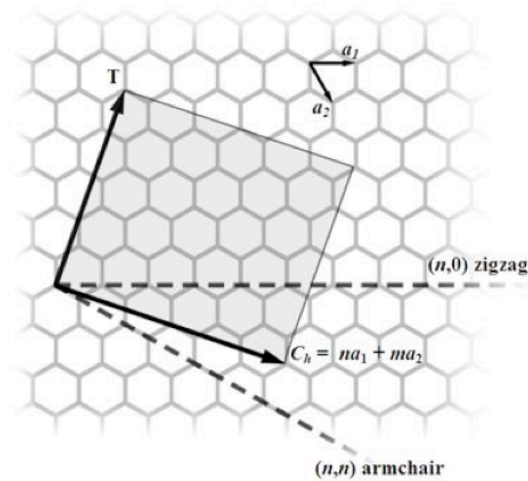
³ i-Ge camada interna Germânico

⁴ SiO_x Oxido de Silicone.

⁵ p-Ge. camada externa Germânico

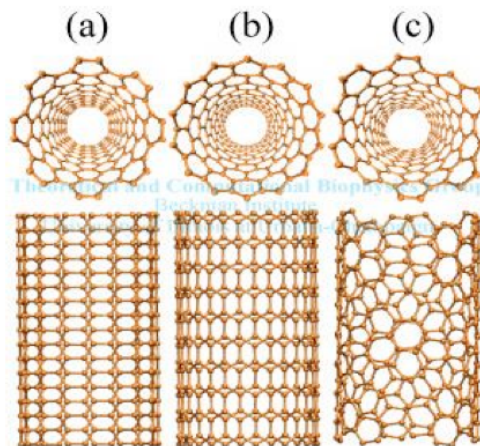
As propriedades específicas variam de acordo com a direção em que a folha de Grafeno é enrolada, a direção é representada por um par de índices (n,m). Se $m=0$ o nanotubo é zigzag, se $n=m$ o nanotubo *armchair* e os demais são quirais. Portanto para a classificação do nanotubo é necessário um vetor e ângulo quiral, forma como os hexágonos de átomos se orientam em relação ao eixo do tubo.

Figura 19: Vetor C_h (n,m) para nomeação de nanotubos.



Fonte: New World Encyclopedia

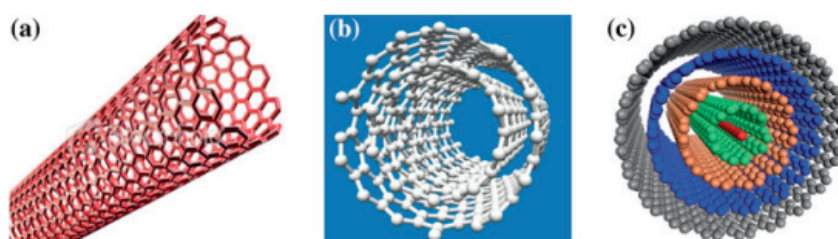
Figura 20: Diferentes tipos de CNTs (a) armchair, (b) zigzag e (c) quiral.



Fonte: New World Encyclopedia

Podem ser classificados em *Single-wall nanotube (SWNT)* e *Multi-walls nanotubes (MWNT)*, parede simples e parede múltipla, com pontas fechadas e pontas abertas, de acordo com a hibridização⁶, a depender da configuração do nanotubo. As estruturas podem ser lamelares, tetraédrica e fulerenos. Um CNT pode ser classificado como metálico ou semicondutor.

Figura 21: Estruturas básicas de (a) parede simples, (b) parede dupla e (c) parede múltipla de CNTs



Fonte: KAUSHIK e MAJUMDER, 2015

Propriedades como leveza e resistência a temperatura os fazem materiais importantes para incorporação ao cimento e argamassa, melhorando a porosidade dos mesmos por meio do preenchimento de vazios pelos nanomateriais. Considerado atualmente como um dos materiais maior resistência mecânica

Uma característica importante do CNT metálico seria a alta condutividade elétrica . Observando que não se tem uma condutividade homogênea em todas as partes do tubo os eletrodos são posicionados para medir a condutividade e a resistividade em diferentes partes do SWNT.

Para a produção de nanotubo de carbono há uma diversidade de métodos.

- *Arch Discharge* (Descarga de arco de Carbono)
- *Laser Método* (Método de Laser)
- *Chemical Vapor Deposition* (Deposição de Vapores Químicos)
- *Ball Milling* (Brotação de Bolas)

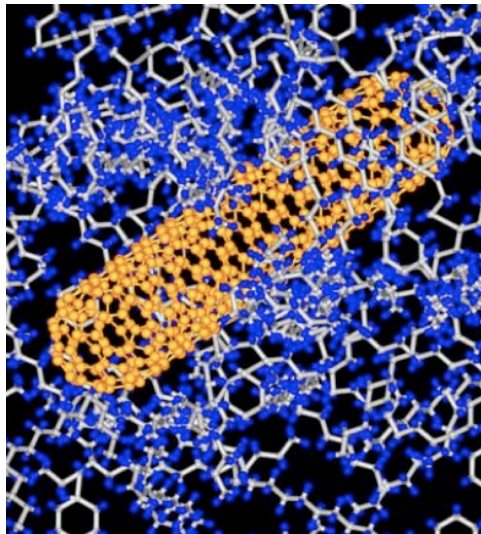
A descarga de arco é um procedimento que envolve duas hastes de carbono em um ambiente de baixa pressão preenchido com um gás inerte e aplicado uma

⁶ Hibridização é o processo de formação de orbitais eletrônicos.

corrente elétrica, os eletrodos de carbono são vaporizados e formam uma haste. O método usando Laser é configurado por pulsação dupla e o de deposição química juntamente com um catalisador utilizam também o processo de vaporização. O de brotação de bolas configura a colocação de bolas de aço endurecido em um recipiente de aço inoxidável e logo em seguida purgado, moído e recozido.

A utilização de nanotubos na construção civil nos últimos tempos teve um crescimento devido ao número de pesquisas e projetos envolvendo este assunto, porém ainda encontra barreiras para a total aplicação devido ao alto custo do material e a dispersão do material na matriz de cimento devido às forças de Van der Waals.

Figura 22: Nanotubo incorporado em Epóxi



Fonte: NASA.

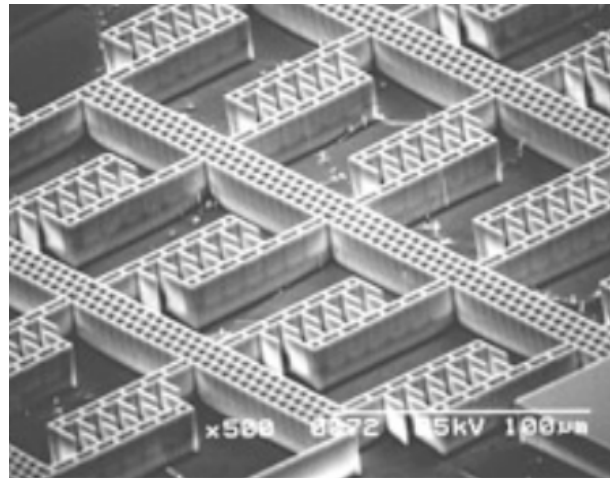
3.2.4 Sistemas Microeletrônicos (MEMS) e Nanoeletrônicos (NEMS)

MEMS, ou Micro Electro Mechanical System, configura uma tecnologia que utiliza sensores, mecânicos, químicos e elétricos em um pequeno chip, no caso do estudo: a aplicação de um nanochip. Capazes de realizar tarefas já pré-programadas.

Cientistas admitem que MEMS e Nanotecnologia configuram dois tipos de tecnologia distintas, mas a uma linha tênue de separação entre os dois, pois uma depende da outra de certo modo. Uma variedade de tecnologias como os

microscópios de varredura e o microscópio de força atômica são parte do domínio da nanotecnologia. Uma nova tecnologia Self-Assembled Monolayers (SAMs), Revestimento de Monocamadas auto-montadas, considerada barata e versátil esta em teste de melhoramento de superfície MEMS.

Figura 23: dispositivo MEMS



Fonte: NanoHUB.

Com o avanço da tecnologia há um aprimoramento e o surgimento de uma tecnologia parecida porém em escala manométricos Nanoeletrônicos (NEMS), com alta pureza e precisão de espessura das camadas.

Podemos classificá-los em ressonantes e quasistáticos, porém daremos enfoque nos NEMS ressonantes. São capazes de transformar energia elétrica em energia mecânica, oferecem acesso a frequências de micro ondas e sensibilidade de massa ao nível de moléculas individuais. Possuem tempo de resposta e operação de frequências rápidas, com índice de dissipação de energia baixo.

Isso tudo só seria possível devido ao campo de estudos de elementos finitos.

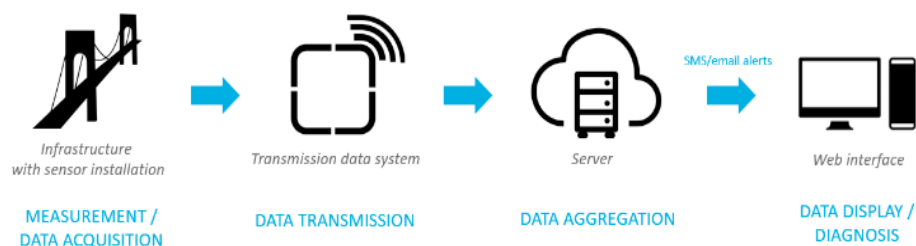
3.2.5 Nanochip

O monitoramento se dá através da medição e processamento de dados. Busca um monitoramento saudável da estrutura, evitando possíveis acidentes, aumentando a vida útil e fazendo com que sejam estruturas mais seguras.

Nesse trabalho ha a apresentação de sensores de diversos tipos de materiais e aplicações, porém o foco se da aos nanosensores capazes de mandar informações via *wireless*⁷, em tempo real.

Segundo uma empresa denominada Nanolike, sediada na França e que possui o foco em construção e desenvolvimento de nano-objetos e sua aplicação em estruturas tanto rígidas como flexíveis, o chip produzido por nanomateriais é capaz de identificar anomalias e enviar informações para um computador base. Esses aparelhos podem ser aplicados em pontes, túneis, estradas entre outros tipos de construções civis. O processamento se dá através de medições dos sensores que foram colocados por toda a estrutura e enviados para um servidor através de algoritmos estatísticos codificados. A figura de número 24 a seguir mostra o processo passo a passo, onde temos a medição o transmissor de dados que manda para um servidor e mostra o diagnóstico, o resultado em si, na tela final. Pode-se também configurar alerta através de SMS ou e-mail

Figura 24: Processamento de Microchip



Fonte: Empresa Nanolike, retirado em 2017

Hoje sensores de fibra ótica são disseminados para medir trincas e fissuras graças ao desenvolvimento da nanotecnologia.

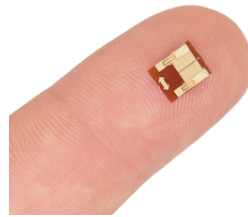
Ainda de acordo com a empresa Nanolike, Utilizou-se por muito tempo técnicas para medir deformações que utilizavam medidores de tensão metálicos e semicondutores que consumiam muita energia devido à baixa resistência elétrica, por isso desenvolveram sensores baseados em nanomateriais com propriedades elétricas superiores ao método antigo, área ativa muito pequena e com sensibilidade

⁷ *Wireless*, em português significa: sem fio.

dez vezes maior que o *strain gauge*⁸ o capacitando para detectar deformações ainda que insignificantes, um sistema de alto desempenho. A empresa possui nanodetectores de tensões, peso e força que abordaremos suas especificações no próximo capítulo.

A figura de número 25 corresponde ao nanochip produzido pela empresa Nanolike.

Figura 25: Nanosensor



Fonte: Empresa Nanolike, retirado em 2017

3.3 SMART DUST

Smart Dust, ou poeira inteligente, de acordo com Warneck e Pister (2004) são sistemas autônomos de escala milimétrica que constituem a base de redes maciças de sensores sem fios distribuídos e contém controle e processamento digital, com um ou mais sensores, comunicação *Wireless* integrando um sistema complexo em escala manométrica.

Há indícios de *Smart Dust* construídas usando técnicas de corrosão eletroquímica. Dois lados são produzidos com respostas diferentes, enquanto um lado se liga a diferença de padrão que deve ser identificado, o outro torna-se visível a olho nu. Baseia-se na convergência de MEMS, Circuitos digitais e sistemas *Wireless*.

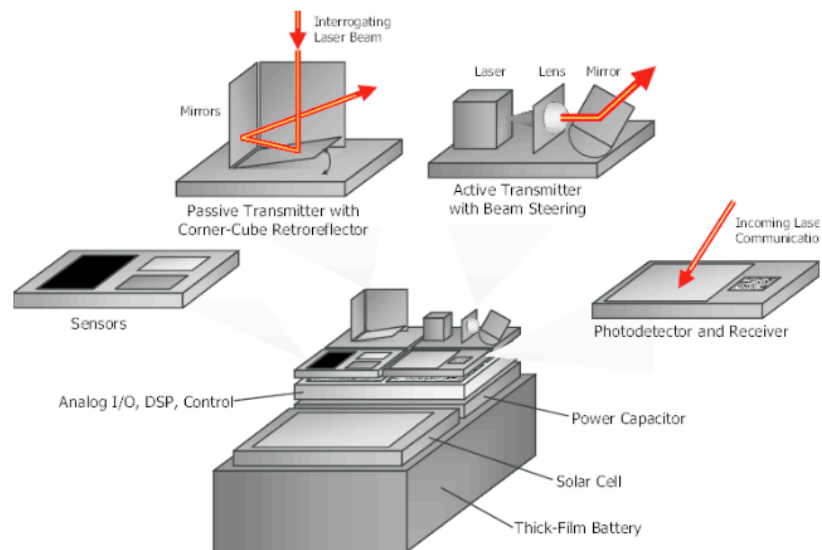
Campos de aplicação da Smart dust

- Automação de Fábrica e Químicos em plantações

⁸ *Strain Gauge* é um aparelho usado para medir a tensão em um objeto, inventado por Edward Simmons e Arthur Ruge em 1938.

- Monitoramento do meio ambiente
- Detecção Industrial
- Domínio de transporte
- Detecção Militar
- Setor de Agricultura

Figura 26: Componentes do *smart dust* em escala ampliada



Fonte: Adaptada de Nanotech-now, 2015.

3.4 NANOFUIDIDO

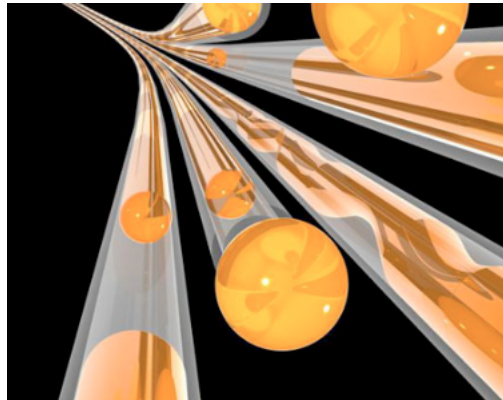
Nanofluido é um fluido contendo suspensão coloidal de nanopartículas, tornando-os aplicáveis em muitas aplicações para análise de transferência de calor. Essas nanopartículas podem ser nanotubos, nanofibras, nanofios entre outros. Compostos por duas fases, uma sólida e um líquida e isso configura uma pequena falha em que cientistas estão melhorando em pesquisas, a estabilidade do nanofluido. Possui propriedades como viscosidade, condutividade térmica e difusão térmica diferenciada de outros fluidos.

Há dois processos construtivos para os nanofluidos, o de duas etapas e o de uma etapa. No de duas etapas, o mais econômico, nanopartículas são produzidas por métodos físicos e químicos formando um pó, que subsequente é disperso nos fluidos e agitado por agitação de força magnética intensiva. Com a intenção de

estabilizar os nanofluidos a técnica de uma etapa que consiste em condensação de vapor físico, o processo de secagem e armazenamento é evitado. Esse método constitui a parte física, representa alto custo e possui um fator delimitador, não pode ser produzido em larga escala.

A investigação sobre a estabilidade dos nanofluidos se faz importante, pois as nanopartículas têm a característica de se aglomerar e a deposição nos canalículos faz com que a condutividade térmica diminua.

Figura 27: Representação artística de nanofluidos.



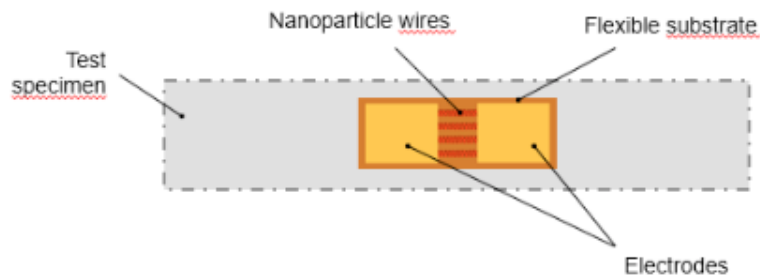
Fonte: Caltech, 2017.

4 INCORPORAÇÃO DOS NANOSENSORES

4.1 QUANTO À IDENTIFICAÇÃO DE FISSURAS





A deformação é medida através de um nanosensor e transformada em variação de resistência elétrica. No caso da empresa Nanolike previamente citada o aparelho que eles produzem possui o sensor ligado à uma cola e à estrutura. Os nanosensores devem ser instalados na mesma direção de aplicação de força. Se a força aplicada esticar o aparelho então significa que a resistência aumentou mas se houve compressão a resistência diminuiu. A figura de número 28 representa o nanosensor colado em uma estrutura de teste em repouso já a figura de número 29 representa a estrutura em movimentação.

Figura 28: Nanosensor em estrutura em repouso



Fonte: Empresa Nanolike, retirado em 2017

Figura 29: Estrutura em Movimentação

	Uniaxial tensile test	Bending	
Compression			R decrease
Traction			R increase

Fonte: Empresa Nanolike, retirado em 2017

Esse mesmo sensor é capaz de identificar interferências no peso, realizar medições de torque e pressão indesejada.

Figura 30: Nanochip



Fonte: Empresa Nanolike, retirado em 2017

4.2 CONTROLE DE MASSA DE CORPOS INDESEJÁVEIS.

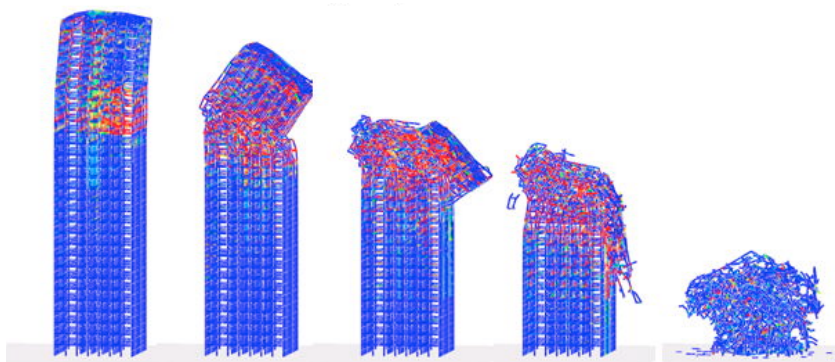
Considerando a formação de objetos ou compostos indesejados seja pela formação de processos químicos devido a fatores externos, há o estudo de um nanosensor que se baseia no sistema nanoeletromecânico (NEMS). Elétrons emissores de campo interferem no modo de vibração dos nanotubos podendo pesar

o material que esteja incorporado no nanotubo. Esse tipo de sensor ainda encontra-se em teste.

4.3 QUANTO À IDENTIFICAÇÃO DE COLAPSO PROGRESSIVO

Para prevenir o colapso progressivo temos dois métodos, o direto e o indireto. Nesse estudo a aplicação de nanosensores seria incorporada no método direto, o empreendimento seria projetado para a redistribuição de cargas para pontos específicos, segundo Kapilk (2008) utilizando dois métodos: “método da resistência localizada específica” e “método de caminhos alternativos de carga”. Assim após a resposta wireless sobre a perda ou mudança de algum elemento, obtida através da análise dinâmica.

Figura 31: Colapso Progressivo



Fonte: Google, retirado em 2017

Uma breve explicação de como seriam medidos pela análise dinâmica, as estruturas dariam respostas acelerações, vibrações e forças de dissipações bem como acelerações através do tempo. Utilizando métodos de integração direta implícitos e explícitos para após utilizar de reforço necessário, como atiramentos. Análise não linear física pois o método é conservativo. Elementos finitos são utilizados para desenhar o edifício e a resposta é dinâmica não linear. Utilizando integração temporal e método iterativo de Newton, em outras palavras verifica a razão entre forças residuais e forças efetivas e verifica se corresponde a um valor menor que um limite de tolerância predeterminado, passa-se para a próxima interação e portanto temos um controle detalhado

É importante ressaltar que, como o carregamento varia ao longo do tempo, podendo ter seu valor aumentado ou diminuído de um passo de tempo ao outro, o incremento do deslocamento pode ser negativo. A cada passo de tempo encontra-se um ponto de equilíbrio sobre a trajetória e o resultado encontrado é geralmente apresentado em um gráfico deslocamento versus tempo, denominado resposta do sistema. (FONSECA 2008).

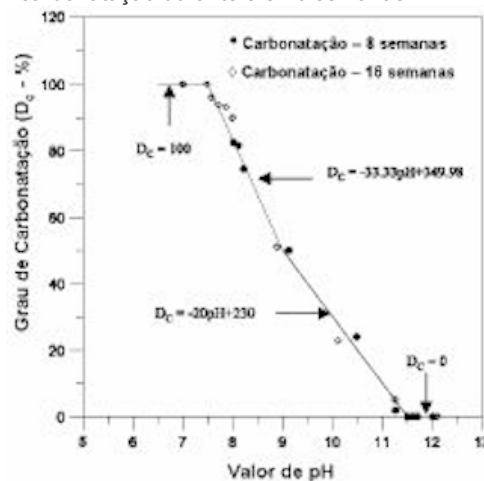
4.4 QUANTO AO PH

A utilização desses nanosensores seria importante para prevenção do processo interino de carbonatação em algumas estruturas de concreto. O concreto recém produzido contém pH de ordem de 12.5 aproximadamente, principalmente por causa do Ca(OH)_2 e proporciona uma proteção às armaduras. O desaparecimento do hidróxido de cálcio do interior da pasta de cimento hidratado e sua transformação em carbonato de cálcio faz baixar o pH da solução em equilíbrio para 9.4, fator importante para o início da corrosão das armaduras.

Segundo Libório (1998) O que é medido é o pH da fase líquida em equilíbrio com a massa sólida, o concreto em si não tem o pH, portanto há a necessidade do contato do CO_2 com um líquido, a taxa de difusão do CO_2 é influenciada pela saturação dos poros.

A espessura de cobrimento deve levar vários fatores em questão pois a cobertura não pode ser considerada absoluta.

Figura 32 intensidade de carbonatação e pH da água de poros de concreto submetido à carbonatação durante 8 e 16 semanas

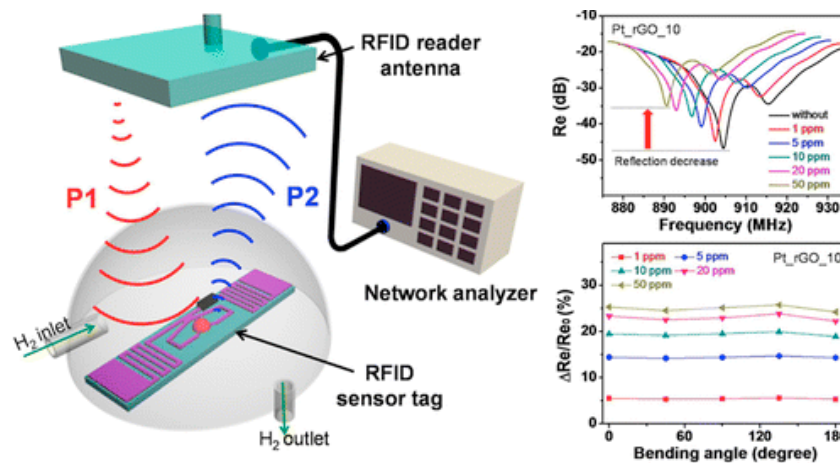


Fonte: Chang e Chen (2006)

A carbonatação é importante para o concreto porém péssima para o aço.

Há indícios de que houve um caso em que a nanofrequência foi utilizada para detectar a concentração de Hidrogênio em uma solução aquosa, onde a superfície de óxido de silício foi modificada em grupos de amino e silanol que são receptoras de íons de hidrogênio e sofrem reações de protonação⁹. A figura 33 mostra um esquema de um nanosensor utilizando grafeno e radiofrequência para identificação de hidrogênio.

Figura 33: Modelo esquemático da identificação por Nanofrequência



Fonte: LEE, 2015

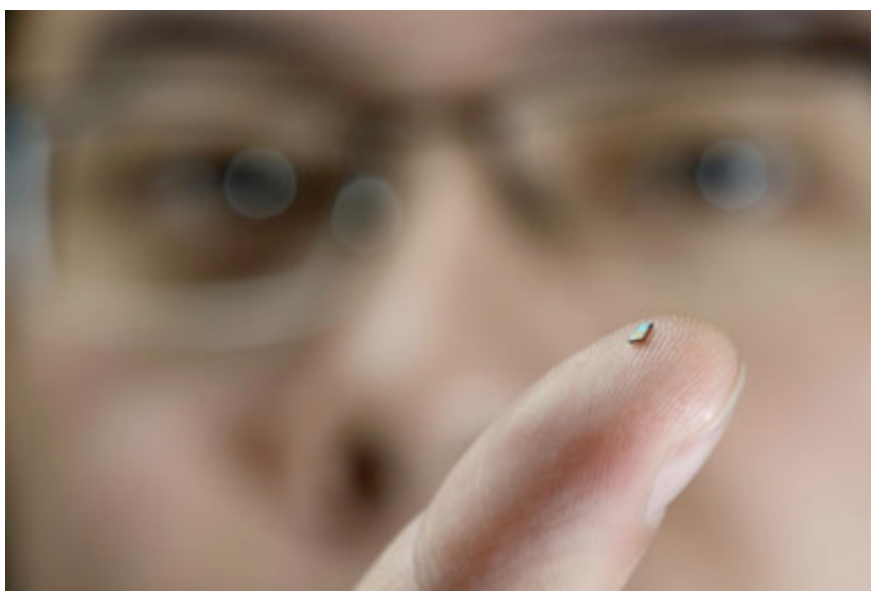
4.5 QUANTO A MUDANÇA DE TEMPERATURA

Em alguns países onde o clima é marcado e as 4 estações são bem definidas há uma grande variação de temperatura entre o inverno e o verão. A utilização dos nanosensores se faz importante nas fases de picos máximos e mínimos de temperatura (verão e inverno). A corrente mudança repentina de temperatura pode resultar em incidentes catastróficos seja em rupturas de materiais devido a alta ou a baixa temperatura. Apesar de que nestes países os empreendimentos são construídos para suportar tais intemperes, a utilização destes sensores traria grande relevância na inovação dos modelos construtivos.

⁹ Chama-se *protonação* a ligação de um próton à um átomo, íon ou molécula.

Pesquisadores da Universidade de Tecnologia de Eindhoven (TU/e), na Holanda desenvolveram um nanosensor wireless que é alimentado a partir de ondas de rádio, fator importante por não se restringir a baterias que precisam de carregamento frequente. Uma vez que a transferência de energia é direcionada com precisão ao sensor o roteador consome pouca eletricidade. O sensor pode operar sob uma camada de tinta, gesso ou concreto. As áreas de aplicação para esse sensor são enormes.

Figura 34: Nanosensor de temperatura na mão do Dr Gao.

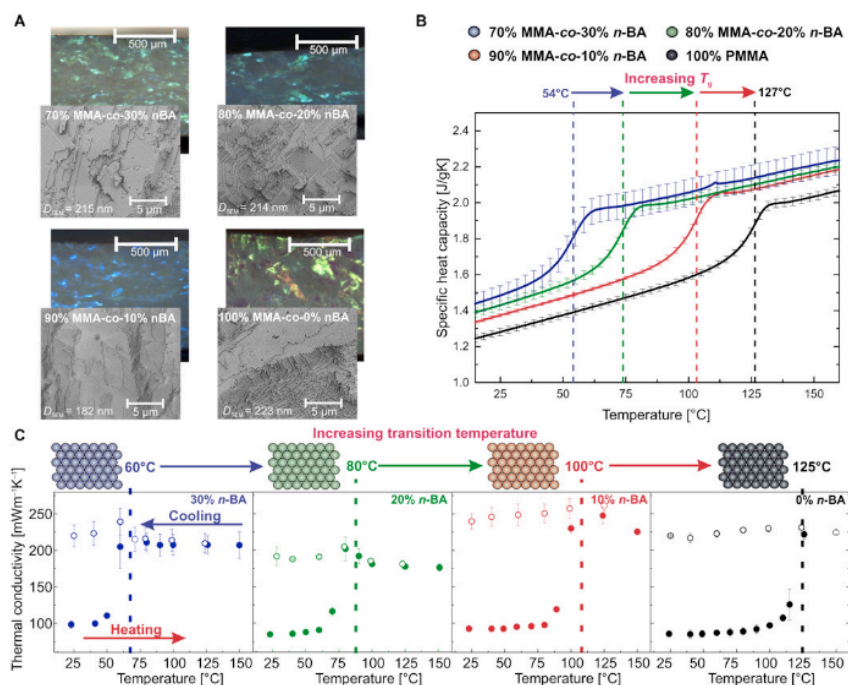


Fonte: GAO, 2015

Outra pesquisa envolvendo mudança de temperatura e análise de comportamento é do grupo de pesquisa do professor Dr. Markus Retsch na Universidade de Bayreuth, na Alemanha, através de quatro métodos capazes de utilizar materiais poliméricos para controlar a condutividade térmica.

O material polimérico é composto por cristais fotônicos, responsáveis pelo controle da condutividade térmica. Os nanomateriais poliméricos perdem sua estrutura ao chegar a um ponto a temperatura, de acordo com o portal Nanowerk “É quando a condutividade térmica dos cristais fotônicos dispara para um nível que é duas ou três vezes maior do que era antes”. A figura 34 mostra o resultado da pesquisa analisando os cristais, calor específico e condutividade térmica.

Figura 35: Resultado da equipe do Dr Retsch sobre os métodos de controle de temperatura.



“Os cristais coloidais representam um campo significativamente sub explorável em relação às suas propriedades de transporte térmico. Ao passar pela transição de fase de segunda ordem o aumento da mobilidade do polímero leva a perda da nanoestrutura particulada.” (NUTZ e RETSCH 2017)

4.6 INTERAÇÃO DOS NANOSENSORES COM A INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA

No caso de infraestrutura rodoviária, existem grandes benefícios na utilização desses sensores, pois confiamos uma segurança contra as vibrações e outros eventos.

Sempre se teve uma preocupação em realizar o monitoramento de pavimentos, tendo como foco estudos sobre a taxa de deterioração. Usando os nanosensores o processo consiste basicamente em coletar dados ao longo dos meses e anos e através de um programa poder identificar o local correto da irregularidade.

4.7 NANOSENSORES NO TRATAMENTO DE ÁGUA

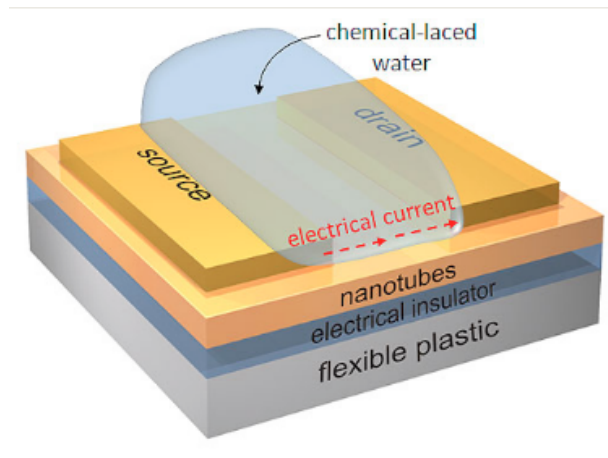
O âmbito de hidrologia possui nanosensores eficientes para resolução de problemas. Neste contexto a nanotecnologia oferece oportunidade de estudos para tratamento de águas e águas residuais.

Materiais como esponjas são capazes de identificar óleo e absorver os poluentes. Nanosensores como aqueles baseados em nanofios de óxido de titânio são usados para detectar contaminantes.

Nanosensores elétricos baseados em nanotubos de carbono podem ser fabricados em substratos flexíveis e sólidos. De acordo com ROBERTS *et al* estão desenvolvendo um dispositivo que funciona como nanosensor químico aquoso e que tem a habilidade de detectar concentrações de toxinas e explosivos presentes na água.

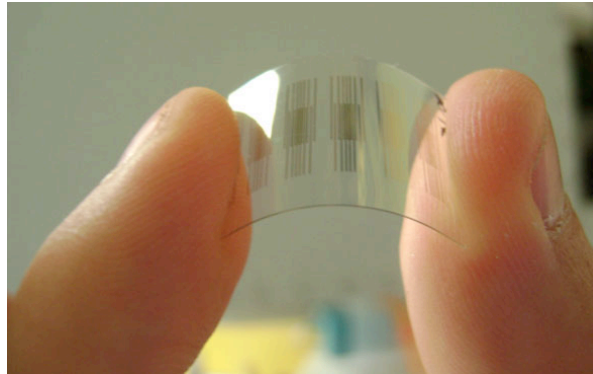
O chip é feito de material plástico com camada de isolante elétrico de polímero fino, permitindo que o dispositivo opere com menos de 1 volt de eletricidade.

Figura 36: Diagrama do nanochip



Fonte: Robert 2009.

Figura 37: Nanochip



Fonte: Robert 2009.

4.8 QUANTO A FORMAÇÃO DE GASES INDESEJADOS E A UTILIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

Alguns nanosensores possuem a capacidade de analisar a formação de gases indesejados, são os chamados eletroquímicos. Reagem com gases e produzem sinal de acordo com a concentração do respectivo gás.

A surface Acoustic Wave (SAW), onda acústica de superfície é capaz de viajar através de uma superfície do material e resulta na exposição da elasticidade do material. Variando com a profundidade de penetração, a amplitude decresce a medida que a onda penetra. Se houver qualquer tipo de irregularidade no material a velocidade e amplitude são alteradas, quantificadas e identificadas então quais são as irregularidades.

4.9 NANOSENSORES EM GASODUTOS

Grande parte da energia hoje é gerada por meio de combustíveis fósseis, portanto o investimento em dutos de gás e petróleo se faz necessário. A tecnologia e o investimento nessa área. Portanto se faz necessário um monitoramento rigoroso e a incorporação de nanochips que identificam mudanças e possíveis deteriorações nos canos.

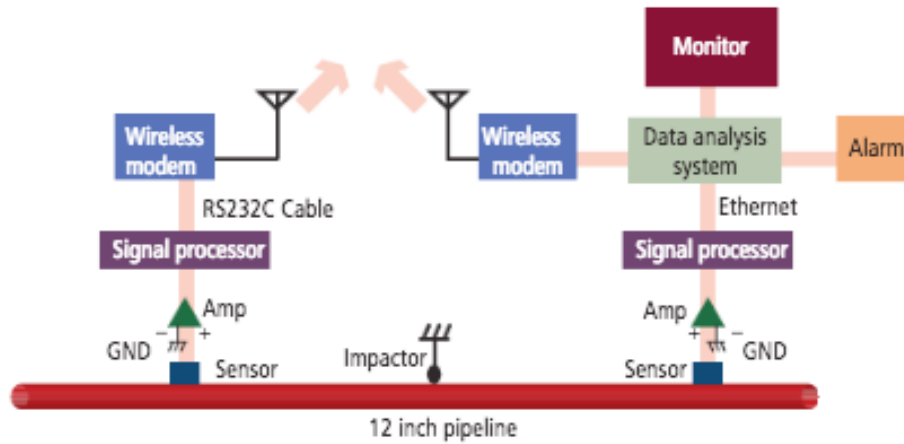
As informações são passadas e então o reparo é feito sem inspeção e procura por pontos de reparo, reduzindo custos e tempo. Reduz as falhas no encanamento.

De acordo com Umeadi e Jones (2015) alguns incidentes ao redor do mundo, como vazamentos no Alasca, sabotagem na Nigéria, no Iraque e na Rússia além da explosão no complexo de Buncefield no norte de Londres, fez com que o mundo fosse alertado para os problemas associados a integridade dos gasodutos e assim o investimento em pesquisas e desenvolvimento nessa área teve um enfoque.

Os testes destrutivos para identificar vazamentos, que envolvem isolar uma área do gasoduto, pressurizar e monitorar, geravam atrasos e afetavam a capacidade de produção no duto, portanto a busca por métodos não destrutivos se fez necessária.

Nanosensores são montados na superfície com o intuito de captar vibrações e monitoramento acústico, um estudo de caso foi realizado por Umeadi e Jones onde foi possível observar as falhas em um gasoduto devido a diferença de frequência e os sinais acústicos em relação as condições normais. Os sinais captados foram então processados em linguagem wireless e proporcionaram representações gráficas e o local dos danos. O funcionamento é registrado pela diferença de tempo intermitente e uma série de processos elétricos e físicos. Com os nanosensores bem calibrados é possível ter uma resposta de mudanças a medida que os dutos se deterioram. Com a pesquisa foi destacado que se trata de uma tecnologia cara devido a extensão dos ductos, porém se torna necessária e urgente.

Figura 38: Nanosensores em gasodutos.



Fonte: Umeadi, 2015.

4.10 NANOSENSORES EM ESTRUTURAS METÁLICAS

Apesar da diversidade de aplicação desses materiais no aço, a incorporação dos mesmos internamente na estrutura ainda não é possível apesar de que existe um incentivo para estudos nesse campo.

Sensores eletromecânicos são responsáveis por detectar e monitorar a corrosão das estruturas metálicas especialmente nas áreas de soldagem, juntas e transferência de cargas para pavimento rígido.

5 METODOLOGIA

5.1 RELATO DA PESQUISA

O presente estudo foi fundamentado em pesquisas bibliográficas sobre um tema até então pouco praticado à impraticado. Tive como base pesquisas, artigos e trabalhos de professores renomados que utilizam nanosensores como linha e foco de pesquisa, dissertações, artigos e boletins técnicos na área de Engenharia Civil.

Um campo vasto e interdisciplinar envolvendo pesquisas não somente no âmbito de materiais da construção civil na área de engenharia civil, mas como na física, química, bioengenharia, biofísica e bioquímica.

5.2 METODOLOGIA DE OBTENÇÃO DOS DADOS

A pesquisa tem caráter quantitativa exploratório de acordo com os meios e Descritivo de acordo com os fins, visto que o estudo se encaixa em algo diferenciado até então na construção civil. Sem muitos estudo de caso e pesquisas práticas de caráter qualitativo experimental e exploratório.

Devido ao tempo disponível optou-se por estudar, gerando um resultado capaz de fornecer dados para possíveis pesquisas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As considerações e aplicações colocadas neste trabalho reforçam que a nanotecnologia na área de construção civil tende a crescer e que é necessário um maior investimento no descobrimento de novas aplicações dos nanosensores.

No estudo teve-se conhecimento que os sensores em análise são incorporados à estrutura ainda na fase inicial de implantação da estrutura e por lá exerciam a função por toda a vida útil do empreendimento. Uma busca pelo uso de forma consciente que não altere ou modifique a estrutura a qual é inserido.

Quando iniciou-se este trabalho o objetivo principal era detectar um nanosensor capaz de monitorar e identificar possíveis causas de patologia de forma preventiva, porém foi constatado que há inúmeros tipos de nanosensores capazes de se adaptarem à situações adversas com diferentes propósitos.

O Nanosensor é composto por elementos diferenciados, variando de acordo com sua aplicabilidade. Foi enfatizado que a forma do nanosensor, o exterior em si, pode variar e por isso a diversidade de aplicação se torna versátil.

Em estruturas metálicas e em pavimentos rodoviários o incentivo para estudo se mostrou falho, pois a bibliografia e teses a respeito deste assunto encontradas, se mostraram restritas.

Uma parte das construções que não foi abordada no texto foram as superestruturas viárias do tipo de aplicação ferroviária, em que não foi achada alguma bibliografia que mencionasse a incorporação de nanosensores nas mesmas.

Esses resultados de pesquisa demonstram que é possível, em princípio, regular a condutividade térmica em materiais nanoestruturados com um alto grau de precisão, Identificar carbonatação e presença de gases indesejados, mudança brusca de temperatura e pH e perceber que outros campos de estudo como tratamento de água, já possuem um início de pesquisa. Foi grande o contentamento por perceber que muitas universidades estão investindo neste tema.

A tecnologia envolvendo nano escala representa um salto importantíssimo para a engenharia civil, pela economia de gastos, tempo de resposta rápido e inovação.

A procura por opiniões diversas e discutíveis sobre o tema, foi fator determinante, pois podemos perceber onde o estudo está mais disseminado e a

importância do mesmo para o país. Projetos da Europa, América do Norte e Ásia foram constatadas e enfatizaram que a América do Sul, principalmente o Brasil, precisa investir mais nessa área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AECweb. **Patologias do concreto.** Disponível em: https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/patologias-do-concreto_6160_10_0. Acesso em: 13 de Setembro de 2017.

AGUIAR, J. E. Durabilidade de estrutura de concreto. Notas de aula. Especialização em Construção Civil (Especialização) – Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2017.

ANDRADE, Miguel, FERREIRA, Franciele M. C., MELO Mirvane V. S., SOUZA Henor Artur de,. **Manifestações Patológicas em estruturas metálicas e mistas.** UFOP. 2014.

NEWS, Ari. Nanotechnology in Construction: One of the Top Ten Answers to World's Biggest Problems. Disponível em: www.aggregateresearch.com/article.asp?id=6279 Acesso em: 18 de Setembro de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14.037: Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações – Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos

BAUER, L.A.F. **Materiais de construção.**, 5a. ed. Rio de Janeiro, LTC. Livros Técnicos e Científicos, 1995. 935 p.

BAUGHMAN, R.H., ZAKHIDOV, A.A., DE HEER, W.A. **Carbon nanotubes: the route toward applications.** Science, v.297, p787-792, 2002.

CASTRO, Eduardo Mariano C. De, **Patologia dos edifícios em estrutura metálica.** Tese de mestrado,UFOP, 1999.

CEYLAN, H. A.. **Feasibility Study on Embedded Micro-Electromechanical Sensors and Systems (MEMS) for Monitoring Highway Structures.** Civil Engineering, Iowa State University, Iowa, 2011.

CHONG, K.P. **Nanoscience and Engineering in Mechanics and Materials,** J. Of Physics & Chemistry of Solids, 2004, 1501-1506.

CONCRETO, **Material construtivo mais consumido no mundo**. Revista IBRACON, Brasil, nº 57, 2009.

DILLON. C. P. **Forms of corrosion**: recognition and prevention. Nace handbook 1.. 2. ed. Houston : National Association of Corrosion Engineers. 1982. 116 p.

ISOBE Dr. **Numerical Simulations for Investigation on True Cause of the Total Collapse of WTC Towers**. Proceedings of International Symposium on Structures under Earthquake, Impact, and Blast Loading 2008 (IB'08), (2008), pp. 157-164, Osaka, Japan.

DURÁN, Nelson; MATTOSO, Luiz Henrique Capparelli, MORAIS, Paulo Cezar de. **Nanotecnologia** : Introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação. São Paulo: Artliber Editora, 2006. 208 p.

EKINCI K. L., ROUKES M. L. **Nanoelectromechanical Systems**. American Institute of Physics, 2005.

FENG Xu, YONG Zhu, **Highly Conductive and Stretchable Silver Nanowire Conductors**", **Advanced Materials**, 2012, Vol 24, Issue 37, 5117–5122.

FERAHIAN, R. H. **Buildings**: Design for Prevention of Progressive Collapse. Journal of the Structural Engineering. ASCE - Civil Engineering, p. 66-69, 1972.

FERREIRA, O. P., **Nanotubos de Carbono**: Preparação e Caracterização. LQES. Unicamp. 2003.

FONSECA, F. T. D. **Sistema Computacional para análise dinâmica geometricamente não linear através do método dos elementos finitos**. Tese (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Belo Horizonte: 2008.

GAO, H. **Fully Integrated Ultra-Low Power mm-Wave Wireless Sensor Design Methods**. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2015.

GAURA, Elena, NEWMAN Robert. **Wireless Sensor Networks**: Realizing the Dream. Coventry University, Inglaterra. 2006.

GEHRK Ilka, GEISER Andreas, SCHULZ- Annette Somborn. **Inovations in Nanotechnology for water treatment.**

GONCALVES, E. A. B. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações.** UFRJ, Rio de Janeiro, 2015.

HAICK, H. **Nanotechnology and Nanosensors:** Introduction to Nanotechnology. Israel Institute of Technology.

HELENE, Paulo R. L. **Corrosão em armaduras para Concreto armado.** São Paulo. PINI. 1986

HELENE, Paulo R. L. **Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo. PINI, 1992.

KAPILK, K. **Multi-Scale Computacional Simulation of Progressive Colapse of Steel Frames.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade de Michigan. 2008.

KAUSHIK B.K., MAJUMDER M.K., **Carbon Nanotube Based VLSI Interconnects,** SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology, 2005

KORVINK, Jan G., PAUL, Oliver. **MEMS** : A Practical Guide to design, analysis and application. Pg 93- 182. 2006.

LEE Jun Seop, OH J., JUN J., JANG J. **Wireless Hydrogen Smart Sensor Based on Pt/Graphene-Immobilized Radio-Frequency Identification Tag.** Korea, 2015.

LEON, Omar de, WONG K. V. , **Applications of Nanofluids:** Current and Future. Miami, 2009.

LIBORIO, J. B. L. **Estudo Patologico de Construções de Argamassa Armada.** Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de Sao Carlos Sao Carlos, 1989. 321p.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das Construções: procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações:** São Paulo: Escola Politécnica da USP. Tese de M. Sc., Universidade de São Paulo, 1985.

MAHDIKHANIAND M., BAYATI Z.. **Application And Development Of Fiber Optic Sensors In Civil Engineering**. Beijing, China. 2008.

MCKINLEY, B., BOSWELL, L. F. **Optical fiber systems for bridge monitoring. Proceedings of First International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management**, Barcelona, Spain, 2002.

MELO, V. S., **Nanotecnologia aplicada ao concreto**: Efeito da Mistura Física de Nanotubos de Carbono em Matrizes de Cimento Portland. UFMG. 2009.

Nanowerk. **Smart Dust future**. Disponível em: <https://www.nanowerk.com/news/newsid=8535.php> Acesso em 15 de Janeiro de 2018.

Nanower. **Watching nanofluids flow in 4D real-time**. Disponível em: <https://www.nanowerk.com/nanotechnology-news/newsid=36261.php> Acesso em 18 de Janeiro de 2018.

NUTZ Fabian A., RETSCH Markus, **Tailor-made temperature-dependent thermal conductivity via interparticle constriction**. University of Bayreuth, Germany, 2017.

PEREZ, Ary R. **Manutenção dos edifícios**. Tecnologia das Edificações. PINI, São Paulo.

PIANCASTELLI, E.M. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. 1ª ed. Depto. Estruturas da UFMG, 1997.

PISTER K. S., KAHN J., J. M., BOSER B. E., **Smart Dust**: Wireless Networks of Millimeter-Scale Sensor Nodes. Highlight Article in Electronics Research Laboratory Research Summary, 1999.

POOLE, C. P., & Owens, F. J. (2003). **Introduction to nanotechnology**. Hoboken: John Wiley & Sons

RIZZO, Luiz Antonio D. **Estudo do Colapso Progressivo em estruturas de Aço**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica do Parana, Pato Branco, 2013.

ROBERTS et al, **Sorted and Aligned Single-Walled Carbon Nanotube Networks for Transistor-Based Aqueous Chemical Sensors**. ACS Nano, 2009.

ROCHA, Robson Soares, EDUARDO, Antonio Lima Costa. **Patologias de Pavimentos Asfálticos e suas Recuperações** – Estudo de caso da Avenida Pinto de Aguiar.

ROUKES. M. L., **Nanoelectromechanical Systems**. California Institute of Technology. 2000.

SILVA, A. de P e. **Manifestações Patológicas nas edificações. Curso de especialização em construção civil**. UFMG, 2016.

SILVA, Paulo Fernando A. **Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos**, 1ª edição. São Paulo. PINI, 2005.

SOUZA, V. C.M, RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. Pini. São Paulo, 1998.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini, 1989.

TULA, L. S. **Contribuição ao estudo da resistência à corrosão de armaduras de aço inoxidável**. Tese D. Sc. USP, São Paulo, 2000.

UMEADI, B. BN. **Use of Nano/Microchip Sensor Technologies in the Oil and Gas Pipeline**. University of Greenwich, London. UK. 2015.

Yat Li, Fang Qian, Jie Xiang, Charles M. Lieber, **Nanowire electronic and optoelectronic devices**, Materials Today, Volume 9, Issue 10, October 2006, Pages 18–27.

ZHANG A., ZHENG G. and LIEBER C.M., **Nanowires: Building blocks for nanoscience and nanotechnology**, Springer 2016

WARNEKE, Brett A, PISTER, Kristofer S.J. **An Ultra-Low Energy Microcontroller for Smart Dust Wireless Sensor Networks**. Berkeley, CA. 2004.