

EFEITOS DE TEMPERATURA EM CONCRETO CONVENCIONAL E FABRICADO COM ADITIVO DE BORRA OLEOSA DE PETRÓLEO

MITIGATING MEASURES IN THE EVENT OF AN ACCIDENT WITH OIL RESIDUE OF OILY SLUDGE TYPE

RAFAELY ANGELICA FONSECA BANDEIRA

Mestre em Engenharia de Petróleo e Gás. Professora da Universidade Potiguar.
E-mail: rafaely@ufersa.edu.br

ANA CATARINA FERNANDES CORIOLANO

Doutora em Geologia. Professora da Universidade Potiguar.
E-mail: catarina.coriolano@unp.br

ANTONIO DE SOUSA ARAÚJO

Doutor em Química. Professor da UFRN.
E-mail: araujo.ufrn@gmail.com

ALMIR MARIANO DE SOUSA JUNIOR

Mestre em engenharia de petróleo e gás. Professor da UFRSA.
E-mail: almir@ufersa.edu.br

Envio em: Julho de 2016
Aceite em: Agosto de 2017

RESUMO

No mundo a indústria petrolífera é uma geradora em potencial de resíduos provenientes de suas atividades, que se dispostos de forma inadequada podem causar prejuízos irreversíveis ao meio ambiente. Na busca de tecnologias alternativa para uso destes resíduos sólidos, foi verificada a aplicabilidade da borra oleosa na indústria da construção civil. Foi investigada, no uso de concreto de baixa resistência, na construção de estruturas de concreto, tais como, fundações, vigas, vergas, pilares e lajes em pequenas construções ou que necessitem de resistências inferiores a 40 MPa (Megapascal), ou até mesmo na fabricação de elementos estruturais de concreto dentro da própria indústria petrolífera. Esta pesquisa se deu através práticas experimentais, onde foi verificada através de duas amostras distintas de borra oleosa de petróleo, a possibilidade de aproveitamento da mesma na fabricação do concreto, utilizando concentrações a 1,7% sobre o volume total de concreto produzido, e a 3,0% em massa sobre o fator água cimento do segundo experimento. Foram realizados ensaios de resistência à compressão simples de corpos de provas, analisando a resistência à compressão simples de corpos de prova expostos a temperaturas extremas 100°C, 292°C e 400°C, corpos de prova curados em temperatura ambiente. Foi verificado que no concreto aditivado a 1,7%, apresentou resposta positiva quando exposto a temperaturas de 400°C.

Palavras-chave: Resistência a compressão. Concreto. Temperatura.

ABSTRACT

In the world the oil industry is a potential generator of wastes from their activities, which if prepared improperly can cause irreversible damage to the environment. In search of alternative technologies for use of these solid wastes, it was verified the applicability of oily sludge in the construction industry. Was investigated, in the use of low-strength concrete in the construction of concrete structures such as foundations, beams, lintels, columns and slabs in small buildings or requiring lower resistances to 40 MPa (Megapascal), or even in the manufacture of concrete structural elements within the oil industry. This research through experimental practices, where was verified by two separate samples of oily sludge of oil, the possibility of use of the same in the manufacture of concrete, using the concentration 1.7% of the total volume of concrete produced, and 3.0% by mass on the water cement factor of the second experiment. Tests were carried out simple compressive strength of evidence, analyzing the simple compressive strength specimens exposed to extreme temperatures 100° C, 292° C and 400° C, specimens cured at room temperature. It was verified in the concrete additive to 1.7%, showed positive response when exposed to temperatures of 400° c.

Key-words: Resistance to compression. Concrete. Temperature.

1 - INTRODUÇÃO

A indústria petrolífera e a indústria da construção civil remontam a tempos muito antigos, onde o asfalto era usado na antiga Babilônia, no Egito na construção de estradas e na edificação das pirâmides. Usado ainda como impermeabilizantes em países europeus e outras civilizações antigas também usavam petróleo para fins medicinais, lubrificação entre outros, enfatizando a importância deste produto no desenvolvimento das civilizações desde os tempos mais remotos até os dias atuais (THOMAS, 2001).

No petróleo estão os hidrocarbonetos parafínicos normais, hidrocarbonetos parafínicos ramificados, hidrocarbonetos parafínicos cíclicos, hidrocarbonetos insaturados e hidrocarbonetos aromáticos (THOMAS, 2001).

A lei 9966/2000 preconiza que óleo é qualquer forma de hidrocarboneto (petróleo e seus derivados), incluindo óleo cru, óleo combustível, borra oleosa, resíduos de petróleo e produtos refinados; sendo assim, a borra oleosa de petróleo é um tipo de óleo constituído de metais pesados, óleos, águas e argila, onde as concentrações irão variar de amostra para amostra.

Paulino (2011) diz que uma das maiores preocupações em relação à gestão ambiental é o gerenciamento de resíduos, tanto pela normatização quanto pela legislação. Os resíduos são definidos como o resultado final do processo de produção. O destino de um dos resíduos, denominado de borra oleosa, resultante desse processo, é um desafio para a produção de petróleo, uma vez que contém metais pesados, óleo e outros poluentes.

Segundo Ribeiro et al (2012), substâncias químicas diferentes podem causar danos diferentes à saúde, que vão desde pequenas irritações nos olhos e na garganta até a dificuldade na respiração e morte;

Uma vez havendo derramamento destes resíduos químicos em solos ou mesmo em águas, terá que ser feito o tratamento de descontaminação, onde umas das alternativas viáveis pode ser a biorremediação ou a fitorremediação, ou ainda o recolhimento do solo contaminado para tratamento em local adequado, usando produtos químicos, realizando a lixiviação do solo ou ainda fazendo a biorremediação nas pilhas, usando bactérias indígenas ou bactérias consumidoras de hidrocarbonetos. Já nas águas, pode-se usar coagulantes químicos, para facilitar a retirada deste produto do meio contaminado, de forma que existem muitos estudos a cerca deste assunto e em busca de medidas alternativas para a solução deste problema.

O concreto é uma mistura homogênea de agregados graúdos, agregados miúdos, aglomerantes, água e aditivos. Existem diversos estudos no Brasil e no mundo, relacionando o uso de fibra de carbono no concreto com

as melhorias que este produto gera ao material. Sabendo que na composição na borra oleosa existem valores muito alto de carbono, é que faz-se interessante o estudo do incremento deste aditivo ao processo.

Para Relvas (2003), O uso de novos elementos para reforços de estruturas de concreto armado que apresentam algum tipo de patologia é uma atividade cada vez mais intensa. As estruturas de concreto armado, como qualquer outro material de construção civil, têm quando da sua idealização, a perspectiva de um determinado tempo de vida útil em função da finalidade e da forma de utilização. Entretanto dependendo das condições de utilização e também de uma manutenção preventiva, HPA (Hidrocarboneto Poli Aromáticos), em vigas vem tendo grande aplicação, principalmente pela facilidade de aplicação e bom desempenho, apesar de custo ainda significativo. Esta necessidade ocorre em geral pela alteração de utilização do sistema estrutural e com aumento no carregamento. Eventualmente erros de concepção da estrutura também podem levar a necessidade de reforços.

Para Mehta e Malhotra (1996), os principais efeitos benéficos alcançados com adições minerais ao concreto são no tocante ao aspecto ambiental, pois quando um resíduo industrial é adicionado, evita que o material seja lançado no ambiente sem nenhuma finalidade benéfica; econômico, pela substituição parcial do cimento, o que reduz o seu consumo e conseqüentemente, o custo do m³ do concreto.

Conforme Marcelli (2007), para se analisar o comportamento do concreto quando sujeito a elevadas temperaturas, devemos inicialmente verificar o que ocorre com os seus diversos componentes: água, cimento, agregados e armaduras.

A água contida no concreto se apresenta de três formas diferentes: Ligada quimicamente: que realizou hidratação dos constituintes anidros do cimento; ligada fisicamente: absorvida, água zeolítica e água de cristalização e no estado livre: que ocupa os poros. Para temperaturas um pouco superiores a 100°C, ocorre evaporação da água livre e parte da água ligada fisicamente, o que implica uma retração da peça, ou seja, uma diminuição de volume que gera microfissuras; por outro lado, altera muito pouco a resistência mecânica do elemento estrutural. Quando o concreto atinge temperaturas menores ou iguais a 300°C, não se altera a composição química dos constituintes, ocorrendo apenas a perda de água ligada fisicamente a ele.

Na busca de investigar o comportamento do concreto exposto a temperaturas extremas, é que foi viabilizado esse estudo. Onde se investigou a viabilidade técnica do uso da borra oleosa de petróleo para a fabricação de concreto de baixa resistência, analisando a resistência a compressão simples do concreto aditivado com borra oleosa

em face do concreto fabricado sem o uso de aditivos. Se observou a resistência à compressão simples do concreto aditivado com borra oleosa e exposto a temperaturas de 100°C, 292°C e 400°C durante um determinado período de tempo, tomando como parâmetro a resistência obtida no concreto fabricado sem aditivo de petróleo.

METODOLOGIA DE TRABALHO

Foi realizado estudo de caso, onde foi verificada a alteração das propriedades do concreto aditivado com borra

oleosa em face ao concreto sem aditivo. Foram utilizadas duas amostras de borra oleosa de petróleo, denominadas BO1 e BO4. Esse produto foi coletado na bacia potiguar no ano de 2014, oriundo do processo primário de diferentes separadores de água e óleo, e foi caracterizado por Lima, 2014.

Foi escolhido o traço do concreto a ser utilizado para moldagem dos corpos de prova, a partir do trabalho de Barboza e Bastos (2008), artigo intitulado traços de concreto para obras de pequeno porte. Este traço será demonstrado na tabela 1.

Tabela 1 – Traços de Concreto com cimento CP V ARI (Alta Resistência Inicial).

Traço em massa para 1 kg de cimento		
Areia (kg)	Pedra (kg)	a/c (fator água cimento)
2,59	2,71	0,59

Fonte: Adaptada pelo autor de Barboza e Bastos, 2008.

Barboza e Bastos (2008), no traço experimental da tabela 1 usou o aditivo plastificante da vedacit. O aditivo utilizado neste trabalho foi a borra de petróleo. As características do traço mencionadas na Tabela 1, que serviram como parâmetro para os nossos testes, atendem as edificações de pequeno porte, até 3 pavimentos cujo carregamento necessite de resistência a compressão dentro das encontradas nos experimentos laboratoriais.

O material utilizado para confecção desse concreto foi o agregado graúdo - brita 1 de granito, onde a dimensão máxima característica é de 19mm, o agregado miúdo - areia, onde a areia usada foi a quartzosa grossa que apresenta 1,2mm de dimensão máxima característica e o aglomerante cimento foi o CP V ARI, que atende as NBR 5733 e 5737. A mistura foi feita numa betoneira de eixo inclinado, com capacidade de 145 litros. Primeiro foi misturada a brita 1 com a totalidade da água, por 30 s, em seguida por mais 30 s com o cimento, a areia foi adicionada aos poucos, sendo o concreto misturado por vinte minutos.

Foi realizado o teste de determinação da consistência do concreto fresco pelo abatimento do tronco de cone, embasada na NBR NM 67/ 96.

Foi medido o abatimento do concreto, determinando a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova, que corresponde a altura média do corpo de prova desmoldado, aproximando os 5 mm mais próximos.

Conforme a NBR 5738/2015, moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndrico ou prismático de concreto, os moldes cilíndricos devem ter altura igual ao dobro do di-

âmetro; sendo que o molde utilizado tem diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm.

Conforme a NBR 5738, 2015, após a moldagem deve-se colocar os moldes sobre uma superfície horizontal rígida, livre de vibrações e de qualquer outra ação que possa perturbar o concreto. Durante as primeiras 24 horas, os corpos de prova são armazenados em local protegido de intempéries. Após cumprido o período de cura inicial foram desmoldados os corpos de prova e colocados no tanque de cura

Antes de ser ensaiado o concreto, para resistência a compressão deve ser aplanada (retificada ou capeada) as faces, de forma que não fique falha na planicidade de modo a interferir na resistência potencial do concreto.

Foram confeccionados dois lotes de concreto usando a borra oleosa em proporções diferentes, onde estes foram testados no ensaio da resistência a compressão simples e foi feito uma interface entre o concreto confeccionado sem aditivo de petróleo e o concreto aditivado com borra.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Serão considerados os resultados obtidos no trabalho de Lima (2014), onde consta a composição da borra oleosa usada para a confecção do concreto. As amostras usadas para essa pesquisa foram a BO1 e BO4, onde a análise elementar destas serão apresentados nas tabelas 2 e 3 que servirão como base para a análise dos ensaios realizados no concreto.

Tabela 2 – Análise elementar da parte inorgânica das borras oleosas.

Parâmetro	BO1 (%)	BO4 (%)
Cloro	1,74	0,91
Enxofre	4,24	0,41

Fonte: Lima, 2014- Adaptada pelo autor.

Baseado na tabela 2, e nos percentuais utilizados na fabricação de concreto, pode-se afirmar o seguinte:

- ✓ Teor de cloro na BO1, 1,74%, esse valor quando incrementado no concreto a uma proporção de 1,7% do volume total do concreto fabricado, da aproximadamente 0,000288% de cloro.
- ✓ Teor de cloro na BO4, 0,91%, esse valor quando incrementado no concreto a uma proporção de 3,0% do fator água cimento, da aproximadamente 0,00003,0% de cloro no concreto.
- ✓ Teor de enxofre na BO1, 4,24%, esse valor quando in-

crementado no concreto a uma proporção de 1,7% do volume total do concreto fabricado, da aproximadamente 0,0007% de enxofre no concreto.

- ✓ Teor de enxofre na BO4, 0,41%, esse valor quando incrementado no concreto a uma proporção de 3,0% do fator água cimento, da aproximadamente 0,000001% de enxofre no concreto.

Os valores analisados indicam que quando a borra oleosa é diluída no volume total de concreto produzido, só fica traços de cada elemento químico, o que leva a concluir que esses não podem ocasionar prejuízos ao desempenho do concreto.

Tabela 3 – Análise elementar da parte inorgânica das borras oleosas e resíduo de vácuo.

Amostras	% de Carbono	% de Hidrogênio	% de Nitrogênio	% de Enxofre	% de Oxigênio	Relação C/H
BO1	87,07	11,12	0,22	*<LD	1,59	7,8
BO4	85,20	10,93	0,25	*<LD	3,62	7,8

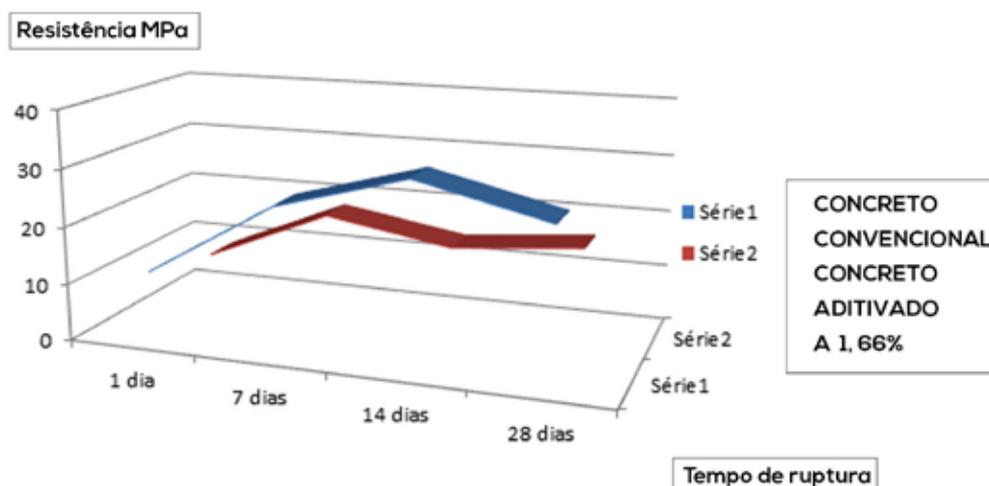
Fonte: Lima, 2014 - Adaptada pelo autor.

Na análise elementar da borra oleosa de petróleo, foi identificado alto teor de carbono, valores superiores a 85%, existente na borra oleosa de petróleo, sejam a BO1 ou a BO4. Esse fator influenciará beneficemente na propriedade do concreto endurecido, resistência a compres-

são do concreto.

No gráfico 1 será verificada a resistência à compressão simples, onde será realizado um comparativo entre concreto aditivado com borra oleosa de petróleo, utilizando 1,7% de borra sobre o volume total e o concreto convencional.

Gráfico 1 – Resistência à compressão (comparativo entre concreto aditivado e concreto convencional).



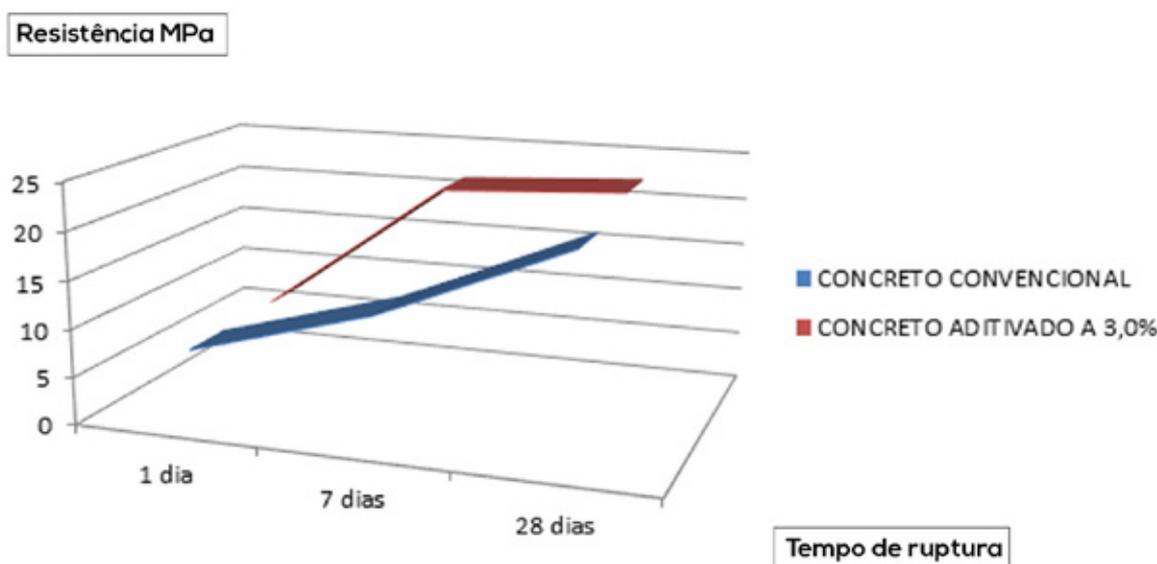
Fonte: Autoria própria, 2015.

Apesar da perda de resistência do concreto aditivado, quando comparado ao concreto convencional, conforme pode ser verificada no gráfico 1, a resistência obtida ainda é indicada para construção de peças de concreto sem função estrutural em locais de edificações que recebam pequenas cargas ou que precisem resistir até aproximadamente 14 MPa; também é indicado para edificações que precisem receber temperaturas extre-

mas de até 400°C em curto espaço de tempo, ou temperaturas de aproximadamente 100°C em espaços de tempo maiores, conforme foi verificado e confirmado em ensaios laboratoriais.

No gráfico 2 será verificada a resistência à compressão simples, onde será realizado um comparativo entre concreto aditivado com borra oleosa de petróleo, utilizando 3,0% de borra e o concreto convencional.

Gráfico 2 – Resistência à compressão (comparativo entre concreto aditivado e concreto convencional).



Fonte: Autoria própria, 2015.

Conforme pode ser visualizado no gráfico 2, é possível verificar que esse traço formulado para concreto a ser aditivado com 3% de borra oleosa, é uma alternativa viável para edificações de pequeno porte, que não precisem sofrer efeitos de temperaturas extremas superiores a 292°C, durante intervalos de tempo superiores a 3 horas. Considerando que, este concreto quando exposto somente a temperatura ambiente apresentou resistência a compressão melhor que o concreto convencional em todos os ensaios realizados,

Segundo Marcelli (2007), para temperaturas superiores a 400°C, começa a existir a perda de água ligada quimicamente ao concreto; nessas condições, ocorrerá uma queda considerável na resistência do concreto. Para con-

cretos que empregam cimento Portland comum e agregados usuais, temperaturas de até 300°C alteram muito pouco as suas qualidades mecânicas; para temperaturas mais elevadas, é preferível a utilização de cimento aluminoso e pozolânico.

Em caso de incêndio, o que ocorre com o concreto depende em grande parte do comportamento do agregado quando diante de elevadas temperaturas. Os agregados se comportam bem até 300°C; acima desse valor eles começam a ter uma dilatação excessiva, provocando o fissuramento do concreto. A Tabela 4 apresenta as alterações de resistência do concreto devido a exposição a temperaturas elevadas.

Tabela 4 – Resistência do concreto exposto a temperaturas elevadas.

Alterações na resistência do concreto devido a elevação de temperatura		
Temperatura (°C)	Tração (%)	Compressão(%)
100	100	100
200	70	85
300	40	75
400	20	50
800	5	50

Fonte: Marcelli, 2007.

CONCLUSÕES

Foi verificado que Concreto aditivado a 1,7% esteve exposto até a temperatura de 400°C e não apresentou problema.

Concreto aditivado a 3%, na temperatura de 400°C, se desintegrou. Existem estudos, que foram mencionados no referencial teórico, onde é apontado que a partir de 300°C, os agregados começam a dilatar, o que possibilita a desintegração do concreto, sendo esta uma das prováveis causas do extravio do corpo de prova do lote 2, 6 R 2. Outra causa para a possível explosão do corpo de prova, quando submetido a temperatura mencionada, são os gases (oxigênio, nitrogênio e hidrogênio) existentes na borra oleosa de petróleo.

Outra característica verificada durante a fabricação e o usinamento do concreto aditivado com borra oleosa de petróleo, seja esta a BO 1 ou a BO 4, foi a melhora na fluidez e trabalhabilidade do concreto; características estas muito importantes para a acomodação e moldagem do concreto nas formas e um ganho considerável nas propriedades do concreto fresco.

Os elementos químicos presentes na borra oleosa (alu-

mínio, cálcio, cloro, cobre, enxofre, ferro, fósforo, magnésio, níquel, potássio, silício e sódio), que foram detectados na análise elementar da parte inorgânica das borras, não causará prejuízo as propriedades do concreto, pois quando diluído no volume total, em termos percentuais, este torna-se apenas traços de elementos no concreto.

As NR (Norma Regulamentadora) nº6, nº 9 e a NR nº 15, emitidas pela portaria 3.214 de 1978 do Ministério do Trabalho e Emprego, que trata sobre Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e de riscos ambientais, falam sobre o risco químico, que será um novo risco incrementado a essa atividade quando inserido o uso desse resíduo químico. Para a manipulação segura desse produto, faz-se necessário o uso de equipamentos de segurança tais como: Luvas impermeáveis, óculos de segurança e máscaras que protejam contra vapores orgânicos e gases ácidos.

Sendo assim, é possível afirmar que o concreto aditivado com borra oleosa de petróleo, a 1,7%, bem como a 3,0% são propostas viáveis de destinação deste produto, desde que o projeto estrutural solicite as resistências encontradas nos ensaios laboratoriais, ou exposição a temperaturas extremas até o limite aqui estudado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733**: Cimento Portland com Alta Resistencia Inicial. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.

_____. **NBR 5737**: Cimentos portland resistentes a sulfatos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

_____. **NM 67**: Concreto- Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone . 1.Ed. Mercosul, 1996.

_____. **NBR 5738**: Concreto- Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2.Ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BARBOZA, Marcos R.; BASTOS, Paulo Sérgio. **Traços de concreto para obras de pequeno porte**. São Paulo, 2008. Disponível em: <http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/site_paulo/Artigo%20Tracos%20Concreto-Paulo%20Bastos.pdf> Acesso em 12 abr. 2015.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria GM n.º 3.214, de 08 de junho de 1978: **NR 6 – Equipamento de Proteção Individual – EPI**. Disponível em: <<http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C812D36A2800001388130953C1EFB/NR-06%20%28atualizada%29%202011.pdf>> Acesso em 07 jan. 2014.

_____. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria GM n.º 3.214, de 08 de junho de 1978: **NR 9 – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais**. Disponível em: <[http://portal.mte.gov.br/data/files/FF80808148EC2E5E014961B76D3533A2/NR-09%20\(atualizada%202014\)%20II.pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/FF80808148EC2E5E014961B76D3533A2/NR-09%20(atualizada%202014)%20II.pdf)> Acesso em 20 set. 2015.

_____. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria GM n.º 3.214, de 08 de junho de 1978: **NR 15 – Atividades e operações insalubres**. Disponível em: <http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEF2FA9E54BC6/nr_15_APENDICE1.pdf> Acesso em 22 set. 2015.

_____. **Lei nº 9966 de 29 de abril de 2000**. Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=366> > Acesso em 11 jun. 2015.

LIMA, Cícero de Souza. **Pirólise da borra oleosa de petróleo utilizando nanomateriais**. Tese (Doutorado)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2014.

MARCELLI, Maurício. **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras**. São Paulo: Editora Pini, 2007.

MEHTA, P. K.; MALHOTRA, V. M. **Pozzolanic and cementitious materiais**. Routledge, set. 1996

PAULINO, Ana Adalgisa Dias. **Degradação Térmica e Catalítica da Borra Oleosa de Petróleo com Materiais Nanoestruturados Al-MCM-41 E Al-SBA-15**. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Petróleo) – UFRN, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo. Natal – RN, 2011.

RELVAS, Fernando José. **Reforço de vigas de concreto armado, á flexao, com fibra de carbono** - curso prático de diagnostico, reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto. ABECE- Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: < http://www.exataweb.com.br/downloads/abece03_relvas.pdf> Acesso em 21 ago. 2015.

RIBEIRO, Marcela Gerardo; PEDREIRA, Walter dos Reis Filho; RIEDERER, Elena Elisabeth; **Avaliação Qualitativa de Riscos Químicos: Orientações básicas para o controle de produtos químicos**. São Paulo: Fundacentro, 2012.

THOMAS, José Eduardo et al. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.