

## ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA DE VARIAÇÕES DE PH E DIFERENTES CLORETOS E SULFATOS EM CORPOS DE PROVA DE ARGAMASSA NÃO NORMATIZADOS

Daniel Lira Lopes Targino – daniellira.92@live.com  
Universidade Federal do Ceará, Campus Russas  
Rua Felipe Santiago, nº411 – Cidade Universitária  
62900-000 – Russas – Ceará

Diana Irene Barbosa Muro – dianadibm@gmail.com  
Universidade Federal do Ceará, Campus Russas  
Rua Felipe Santiago, nº411 – Cidade Universitária  
62900-000 – Russas – Ceará

Francisco Thiago Correia de Souza – fcthiago\_correia@hotmail.com  
Universidade Federal do Ceará, Campus Russas  
Rua Felipe Santiago, nº411 – Cidade Universitária  
62900-000 – Russas – Ceará

Aliny Abreu de Sousa Monteiro – alinyabreu@ufc.br  
Universidade Federal do Ceará, Campus Russas  
Rua Felipe Santiago, nº411 – Cidade Universitária  
62900-000 – Russas – Ceará

**Resumo:** A didática do ensino em engenharia sempre foi pautada por uma mescla entre ensinamentos práticos e teóricos. Obter o conhecimento da teoria é sempre fundamental, contudo, a vivência e aplicação prática permite ao aluno uma melhor fixação e entendimento de aspectos conceituais. Dessa forma, concebeu-se um experimento laboratorial temático a ser incorporada na parte prática da disciplina de Química Geral para Engenharia do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, Campus Russas, que objetivou analisar a interferência de diferentes compostos químicos na resistência de corpos de prova de argamassas não normatizados. Elaborou-se a metodologia inicial, sendo realizados ajustes por meio de ensaios testes, obtendo-se o procedimento final a ser implementado. Como parâmetros de interferência foram utilizadas uma análise qualitativa visual das peças e uma análise quantitativa através da força máxima, obtida através do rompimento por compressão axial. Dessa forma, fomentou-se uma discussão entorno de como se deu a interferência dos químicos utilizados, com base também na constituição química do Cimento Portland, dado a natureza inerte dos agregados, além de inserir uma aplicação prática dos conceitos químicos.

**Palavras-chave:** pH. Cloretos. Sulfatos. Argamassas. Corpos de prova não normatizados.

### 1 INTRODUÇÃO

Aulas laboratoriais têm a capacidade de contribuir para uma sólida formação teórica, prática e profissional, por fomentar no aluno a capacidade de reflexão e solução de problemas (SOARES, et al. 2016). Logo, no contexto das engenharias, proporcionar ao aluno uma boa visão prática e objetiva de mundo, certamente contribuirá decisivamente para a formação de bons profissionais.

Ainda na formação acima citada, a química é apenas uma das muitas ciências com as quais os alunos devem estar habituados nos ciclos básicos. Seu domínio é um pré-requisito logo utilizado, para disciplinas que abrangem propriedades dos materiais (BROWN & LAWRENCE, 2011), e no caso da engenharia civil, por exemplo, permite ao aluno refletir sobre materiais como Cimento Portland, que tem seu desempenho pautado pelo proporcionamento dos seus elementos constituintes, geralmente na forma de óxidos.

O Cimento pode ser descrito como um material com propriedades adesivas e coesivas que o fazem capaz de unir fragmentos minerais na forma de uma unidade compacta (NEVILLE, 1997). Dentre os insumos bases do Cimento Portland destacam-se calcário ( $\text{CaCO}_3$ ), sílica ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) que após as interações em alto forno, compostos mais complexos são formados. Durante esse processo, chamado clinquerização, é composto o Silicato Tricálcico ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  ou C3S), Silicato Dicálcico ( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  ou C2S), Aluminato Tricálcico ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  ou C3A) e Ferroaluminato Tetracálcico ( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  ou C4AF) onde aspectos como tempo de pega, calor de hidratação e resistência final, é possível ser estimado através do proporcionamento dos seus óxidos constituintes.

Dessa forma, o presente trabalho objetiva abordar a metodologia desenvolvida para um experimento laboratorial da disciplina de Química Geral para Engenharia, Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, Campus Russas, que submeteu corpos de prova de argamassas não normatizados, também abordados aqui apenas como CP, à interferência de diferentes faixas de pH, cloretos e sulfatos, tendo como principal variável, a análise dos aspectos visuais e a força máxima aplicada no rompimento por carregamento axial. Pode-se ressaltar também como objetivos, o fomento à discussão dos resultados obtidos em contribuição para assimilação dos conceitos abordados na temática e o incentivo ao caráter investigativo e reflexivo dos discentes.

## 2 METODOLOGIA ELABORADA

A prática elaborada foi destinada ao curso de Engenharia Civil no Campus de Russas, onde foi realizada uma pesquisa de temáticas de relevância à formação, que pudessem ser abordadas em escalas reduzidas, no âmbito laboratorial. Constatou-se que concretos e argamassas são itens bem presentes aos estudos ao longo da grade curricular.

Nesse experimento, foi desenvolvida a moldagem de corpos de prova de argamassas em escalas reduzidas com diferentes águas de amassamento, no intuito de abordar a interferência desses químicos através da substituição por soluções, em comparação com uma amostra padrão elaborada sem nenhuma interferência, com água destilada. Do ponto de vista das análises, adotaram-se três grupos principais com duas substâncias de interferência cada:

- Interferência do pH, sendo escolhido Ácido Nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), concentração da 0,001 M, pH igual à 3,0, e o Hidróxido de Potássio (KOH) na mesma concentração e pH igual à 11,0;
- Interferência de Cloretos, adotado o Cloreto de Sódio (NaCl) e Cloreto de Cálcio dihidratado ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), ambos à concentração de 0,5 M;
- Interferência de Sulfatos, utilizado o Sulfato de Potássio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) e Sulfato de Zinco monohidratado ( $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), ambos à concentração de 0,5 M.

No Quadro 1 é possível visualizar o resumo das soluções elaboradas, com os respectivos valores de massa molar e quantidade de reagente utilizado para 500ml de solução.

Quadro 1 - Quantidade de corpos de prova, concentrações e massas dos reagentes.

Elemento	Quantidade CPs	Volume (ml)	Concentração (mol/L)	P.M. (g/mol)	Massa Reagente (g)
Destilada	3	500	-	-	-
HNO <sub>3</sub>	3	500	0,001M	63,01	0,0315
KOH	3	500	0,001M	56,11	0,0281
NaCl	3	500	0,5M	58,44	14,6100
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	3	500	0,5M	110,99	27,7475
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3	500	0,5M	174,27	43,5675
ZnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	3	500	0,5M	179,45	44,8625

Fonte: Autor.

Ao total foram moldados 21 corpos de provas, 7 de cada variável, sendo cada leitura em triplicata. As variáveis analisadas foram a interferência do pH, a influência dos meios de Cloretos e Sulfatos nas resistências finais, tudo em comparação ao CP padrão elaborado.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Matéria Prima

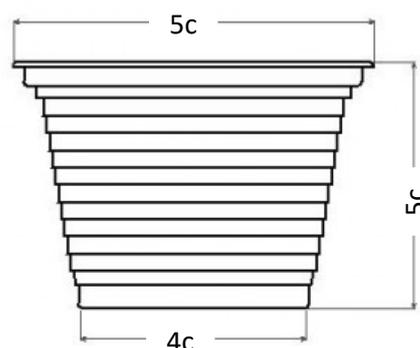
Como matéria prima foi utilizado um Cimento Portland, classificação ABCP CP II-Z 32, como aglomerante, e uma areia de diâmetro máximo característico de 4,8mm como agregado miúdo. Como água de amassamento foi utilizada água destilada em conjunto com as soluções citadas anteriormente. Dado as dimensões reduzidas a serem utilizadas no corpo de prova, percebeu-se também a necessidade de reduzir a granulometria da areia utilizada. Dessa forma, todo o agregado que seria utilizado foi passado pela peneira para agregado com abertura de 0,6mm, normatizado pela NBR NM ISSO 3310-2:2010, sendo utilizado então apenas o passante.

#### 3.2 Moldes, medidas e adaptações

Buscou-se reduzir ao máximo as quantidades de materiais a serem utilizados, em vista que cada experimento é replicado por cada equipe, de três alunos em média, em cada aula prática com 50 alunos, perfazendo um fator de multiplicação, ao total, de 16 vezes.

A NBR 7215:2019 determina que a dimensão para corpos de prova de argamassa seja de 50x100mm, sendo esse volume inviável quando considerado o fator de multiplicação. Por esse motivo, adotou-se então como molde menor, na forma de um copo plástico descartável de 50ml, conforme dimensões dispostas na Figura 1.

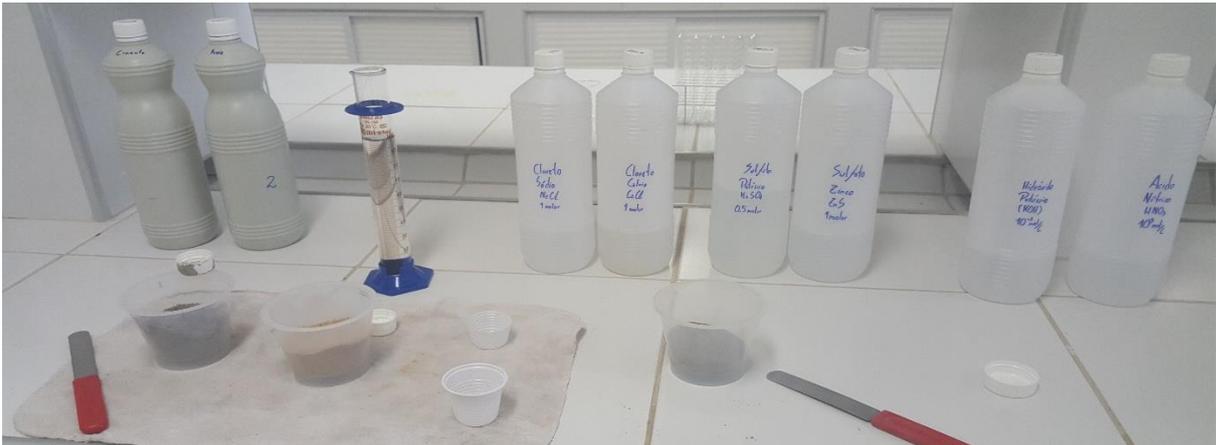
Figura 1 – Medidas do molde de corpo de prova.



Fonte: Autor.

Como traço padrão para todos os corpos de prova, foi utilizada uma medida de cimento e duas de areia para 50ml de água destilada ou solução. Primeiramente foi feita a homogeneização dos grãos secos, para só após ser feita a adição do líquido de forma gradual. Após a pasta uniforme, os moldes eram preenchidos de forma a transbordar, sendo feito o golpeamento com uma espátula metálica, preenchendo os vazios remanescentes, com o arrasamento da superfície ao final. Na Figura 2, constam os itens utilizados para a moldagem.

Figura 2 – Conjunto de utensílios utilizados na moldagem.



Fonte: Autor.

Foram utilizados uma proveta graduada de 50mL, fracos de PVC para armazenamento da matéria prima e soluções, recipientes genéricos para homogeneização e mistura, uma espátula metálica para misturas secas e outra similar para misturas úmidas.

### 3.3 Desmoldagem e retificação

Procedeu-se com o descanso dos CPs nas primeira 24 horas ao ar livre, sendo após retiradas dos moldes. No momento da retirada foram identificados individualmente com uma determinação da substância constituinte e seu respectivo número (Ex.: KOH.01, NaCl.03).

Observou-se que ambas as superfícies, superiores e inferiores, apresentavam irregularidades que poderiam influenciar no momento do rompimento. Dessa forma, foi feito a regularização, por meio do desbaste, utilizando uma lixa comum para massa, granulação 60, até o nivelamento das mesmas.

Figura 3 – Aspecto visual de antes e depois da retificação.



Fonte: Autor.

No momento do desmolde é necessário que seja observado aspectos visuais como coloração, rugosidade, aspecto geral, dentre outros, como forma de reflexão inicial sobre a interferência das soluções e como isso poderia influenciar na resistência final.

Figura 4 – Aspecto visual observados durante os desmoldes.



Fonte: Autor.

### 3.4 Processo de cura

Após a retificação, os CPs foram destinados à cura por imersão. Segundo recomendações da NBR 7215:2019 e NBR 5738:2015, corpos de prova deveriam ser imersos em solução saturada de hidróxido de cálcio, à temperatura ambiente de  $(23\pm 2)^\circ\text{C}$ . Contudo, para evitar a possível interação dessa solução com as presentes nas misturas, adotou-se como solução de imersão, a própria solução inicial utilizada.

Cada CP foi colocado cuidadosamente no fundo de um béquer de 100ml, sendo preenchido com solução até o nível da face superior. Dessa forma, permaneceu-se os 28 dias, longe de intempéries, até o momento da realização dos ensaios.

Figura 5 – Método de cura por imersão por 28 dias.



Fonte: Autor.

Figura 6 – Aspecto dos CPs, com superfície seca, 1 hora após a retirada.



Fonte: Autor.

## 4 ANÁLISES QUALITATIVAS E QUANTITATIVAS

### 4.1 Análise Visual

A primeira análise realizada foi procedida durante a desmoldagem dos corpos de prova. Trata-se da análise visual de aspectos como coloração, rugosidade, aspecto geral, dentre outros. Tais aspectos, quando aliados com os valores de força máxima que serão obtidos posteriormente, poderão relacionar indícios de ganho ou perda de resistência. Nesse ponto também foi observado o aparecimento ou não de trincas e fissuras.

### 4.2 Rompimento por Compressão Axial

Em uma prensa hidráulica universal EMIC, modelo DL 20Ton com célula de carga CCE300KN, foi adaptado um conjunto de calços metálicos para que o dispositivo de aplicação de carga alcançasse a altura reduzida do CP. A Figura 7 mostra o aspecto final do conjunto de aplicação da carga.

De cada análise, submeteu-se as três peças à aplicação de carga axial, obtendo-se ao final três valores de força máxima. Obtendo a média e desvio padrão, os valores finais formaram o segundo conjunto de dados a serem discutidos, levantando a segunda discussão, de que forma as interferências contribuíram para os valores de força máxima aplicadas finais.

Após a finalização do rompimento, foi feita a coleta dos fragmentos restantes de cada conjunto de análise, sendo destinados à secagem ao ar livre, longe de intempéries, por 24 horas.

Figura 7 – Adaptação para a altura reduzida.



Fonte: Autor.

### 4.3 Despassivação e faixa de pH

Por meio da aspersão de fenolftaleína em concretos e argamassas, é possível distinguir regiões carbonatadas, que não apresentam alteração de coloração, de regiões não carbonatada, que assume a cor carmesim (Andrade, 1992). Esse mecanismo é baseado no pH que se encontra o material.

A faixa natural de manutenção do concreto é de caráter básico, sendo favorável à integridade de outros elementos constituintes como ferragens. O aço carbono pode despassivar-se em pH por volta de 11,5 (Nace RP0187, 2008), logo já há possibilidade que desde a zona de transição o aço possa se iniciar processo de corrosão (Nace SP0308, 2008). Mesmo com a

ausência de ferragens, esse índice se mantendo fora da faixa esperada, pode indicar ou favorecer uma degradação precoce nas estruturas.

Com os fragmentos citados anteriormente, foi aspergido fenolftaleína à 1% sobre os fragmentos secos, sendo após observado quais amostras se mantiveram incolor, indicando uma faixa de pH abaixo de 8,0, e quais apresentaram alguma coloração rosa-carmesim, indicando estar acima de 8,0. A faixa de transição foi desconsiderada para simplificação dos resultados.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em resumo, foram coletados três grupos principais de dados: as análises visuais, realizadas após a desforma, os resultados de rompimentos à compressão, obtidos através da força máxima aplicada axialmente, e uma indicação da faixa de pH, obtida através da aspersão de fenolftaleína. Na análise visual foram adotados parâmetros simples para a avaliação: coloração, clara ou escura, rugosidade, baixa, alta ou excessiva, aspecto geral, liso, granular ou se apresenta a manifestação de fissuras, e desprendimento de partículas ao toque, se baixo, alto ou excessivo. Os resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resumo das Análises dos Aspectos Visuais.

Elemento	Coloração	Rugosidade	Aspecto Geral	Desprendimento de Partículas
Destilada	Clara	Baixa	Liso	Baixo
HNO <sub>3</sub>	Clara	Alta	Granular	Alto
KOH	Clara	Baixa	Liso	Baixo
NaCl	Clara	Baixa	Liso	Baixo
CaCl <sub>2</sub>	Escura	Alta	Liso	Baixo
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Clara	Alta	Granular	Alta
ZnSO <sub>4</sub>	Escura	Excessiva	Fissuras	Excessiva

Fonte: Autor.

Na análise visual foi possível visualizar também que o corpo de prova de sulfato de zinco, ZnSO<sub>4</sub>, não possuía condições de ser ensaiado, devido ao seu elevado grau de deterioração e fissuras. Relativos aos rompimentos por compressão de carga axial, os resultados foram coletados de cada corpos de prova, sendo três por análise, realizados após a composição da média e o desvio padrão de cada conjunto de dados. Resultados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resumo das Análises dos Aspectos Visuais.

Elemento	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	Média (N)	Desvio Padrão (N)
Destilada	7.740,31	7.100,71	8.508,61	7.783,21	704,93
HNO <sub>3</sub>	6.434,05	6.700,37	6.759,81	6.631,41	173,48
KOH	10.120,80	9.730,23	9.898,50	9.916,51	195,91
NaCl	6.369,45	6.540,03	6.648,09	6.519,19	140,48
CaCl <sub>2</sub>	7.050,32	6.965,74	7.918,79	7.141,52	527,53
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2.844,67	2.610,10	2.472,31	2.642,36	188,26
ZnSO <sub>4</sub>	-	-	-	-	-

Fonte: Autor.

Dos fragmentos coletados, após a secagem inicial, foi procedido com a aspersão de fenolftaleína e anotado as colorações apresentadas. O resultado é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Coloração da Fenolftaleína.

Elemento	Desvio Padrão (N)
Destilada	Rosa claro
HNO <sub>3</sub>	Rosa claro
KOH	Rosa claro
NaCl	Carmesim
CaCl <sub>2</sub>	Carmesim
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Carmesim
ZnSO <sub>4</sub>	Incolor

Fonte: Autor.

No concernente à discussão dos resultados dos ensaios testes, foi possível visualizar de forma objetiva e clara as interferências destrutivas e construtivas decorrentes dos meios submetidos. Os CPs que foram submetidos à meio sulfatados, por exemplo, obtiveram uma força máxima aplicada cerca de 66,05% menor à média padrão, enquanto que em contra partida os meios básicos de hidróxido de potássio, KOH, obtiveram um ganho de 27,41% em comparação das médias obtidas.

Relativo ao aspecto das análises visuais, os resultados apresentados também foram satisfatórios. Devido à idade prematura dos corpos de prova, foi possível ver uma alta variação de comportamento, onde aspectos como coloração, rugosidade e desprendimento de partículas foram seguidos das resistências finais obtidas, ou seja, os CPs que obtiveram na análise visual aspecto mais escuro, maior porosidade e fácil desprendimento de partículas também obtiveram menor força aplicada no ensaio de rompimento. O inverso também foi válido, principalmente no caso dos cloretos, de aspecto mais firme juntamente, com meio básico.

Quanto à avaliação do experimento elaborado, foi possível ver efetividade no desenvolvimento. As concepções iniciais concordaram com os dados obtidos, o conteúdo abordado foi multidisciplinar, abordando desde de óxidos, ácidos e bases, cloretos e sulfatos a até conceitos de indicadores de pH, dentre outros pontos, proporcionando a visualização prática dos aspectos citados, fomentando o caráter reflexivo e observativo do aluno. Por último, vale ressaltar que o roteiro foi adotado oficialmente como parte das práticas, sendo incluído no conjunto de práticas laboratoriais.

## 6 CONCLUSÕES

Analisando o experimento elaborado, seus resultados experimentais e principalmente as análises visuais obtidas, foi possível concluir, através das diferenças manifestadas individualmente nas análises, que o conjunto se mostrou eficaz em demonstrar macroscopicamente as diferenças provenientes dos elementos interferentes adicionados, em comparação à mistura padrão, com água destilada. Em situações como as dos CPs de Sulfato de Zinco (ZnSO<sub>4</sub>), se tornou ainda mais evidente como a interferência pode levar ao colapso da resistência global da estrutura.

Dessa forma, o experimento traz uma reflexão objetiva sobre as reações de hidratação do Cimento Portland, suas variações e interferências químicas de fatores como pH, cloretos e sulfatos, bem como sobre o processo de ganho de resistência, fator preponderante para a eficiência e durabilidade de estruturas de argamassas e concretos.

Sobre a ótica da incorporação do experimento ao manual de práticas do laboratório de química, bem como avaliando sua aplicação, vale ressaltar que houve aceitação por parte do corpo discente, tanto devido ao tema diferenciado da prática em questão, se comparado às demais da ementa planejada, quanto ao fato de ser o primeiro contato prático com assuntos intrínsecos ao curso, por parte da maioria dos alunos, promovendo um maior interesse e engajamento nesse desenvolvimento em específico.

### *Agradecimentos*

Reservamos agradecimento à Universidade Federal do Ceará, Campus Russas, e ao Laboratório de Química Geral, ao Laboratório de Materiais de Construção Civil do Campus do Pici, LMCC, coordenado pelo professor Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral, e corpo técnico.

### **REFERÊNCIAS**

ANDRADE, C. **Manual para diagnóstico de Obras Deterioradas por corrosão de Armaduras**. São Paulo: PINI, 1992. 104p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM ISO 3310-2: **Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação**. Rio de Janeiro, 2010. 13p

\_\_\_\_\_. NBR 7215: **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2019. 12p

\_\_\_\_\_. NBR 5738, 2015. Errata 1: 2016: **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2016. 1p.

BROWN, Lawrence S.; THOMAS, Holme A. **Química Geral Aplicada à Engenharia**. 1 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 652p.

NACE RP0187-2008. **Desing Considerations for Corrosion Control of Reinforcing Steel in Concrete Highways and Bridges**. 2008

NACE RP0187-2008. **Inspection Methods for Corrosion Evaluation of Conventionally Reinforced Concrete Structures Highways and Bridges**. 2008

NEVILLE, A.M, 1997, **Propriedades do concreto**, 2ª edição, Ed. Pini, Brasil.

SOARES, Darlane Wellen Freitas et al. **Importância de Aulas Práticas Para os Cursos de Engenharia**: Consolidação de conhecimento e motivação. In: VII Mostra de Pesquisa em Ciência e Tecnologia, 7., 2016. Anais., 2016. P. 811 - 812.

## INTERFERENCE ANALYSIS OF PH VARIATIONS AND DIFFERENT CHLORIDES AND SULPHATES INTO NON-STANDARDIZED MORTAR SPECIMENS

**Abstract:** *The didactic teaching in engineering has always been marked by a blend of practical and theoretical teachings. Getting the knowledge of the theory is always fundamental, however, the experience and practical application allows the student a better fixation and understanding of conceptual aspects. In this way, a thematic laboratory experiment was conceived to be incorporated in the practical part of the discipline of General Chemistry for Engineering of the Civil Engineering Course of the Federal University of Ceará, Campus Russas, that aimed to analyze the interference of different chemical compounds in the resistance of non-standardized mortars specimens. The initial methodology was elaborated, adjustments being made by means of tests, obtaining the final procedure to be implemented. As interference parameters, a qualitative visual analysis of the pieces was used, and the quantitative analysis was performed by means of the maximum force obtained by the axial compression tear. In this way, the discussion about the interference of the chemicals used, based on the chemical constitution of the Portland Cement, given the inert nature of the aggregates, was also stimulated, as well as a practical application of the chemical concepts.*

**Keywords:** *pH, Chlorides, Sulphates, Mortars, Non-standardized test bodies.*