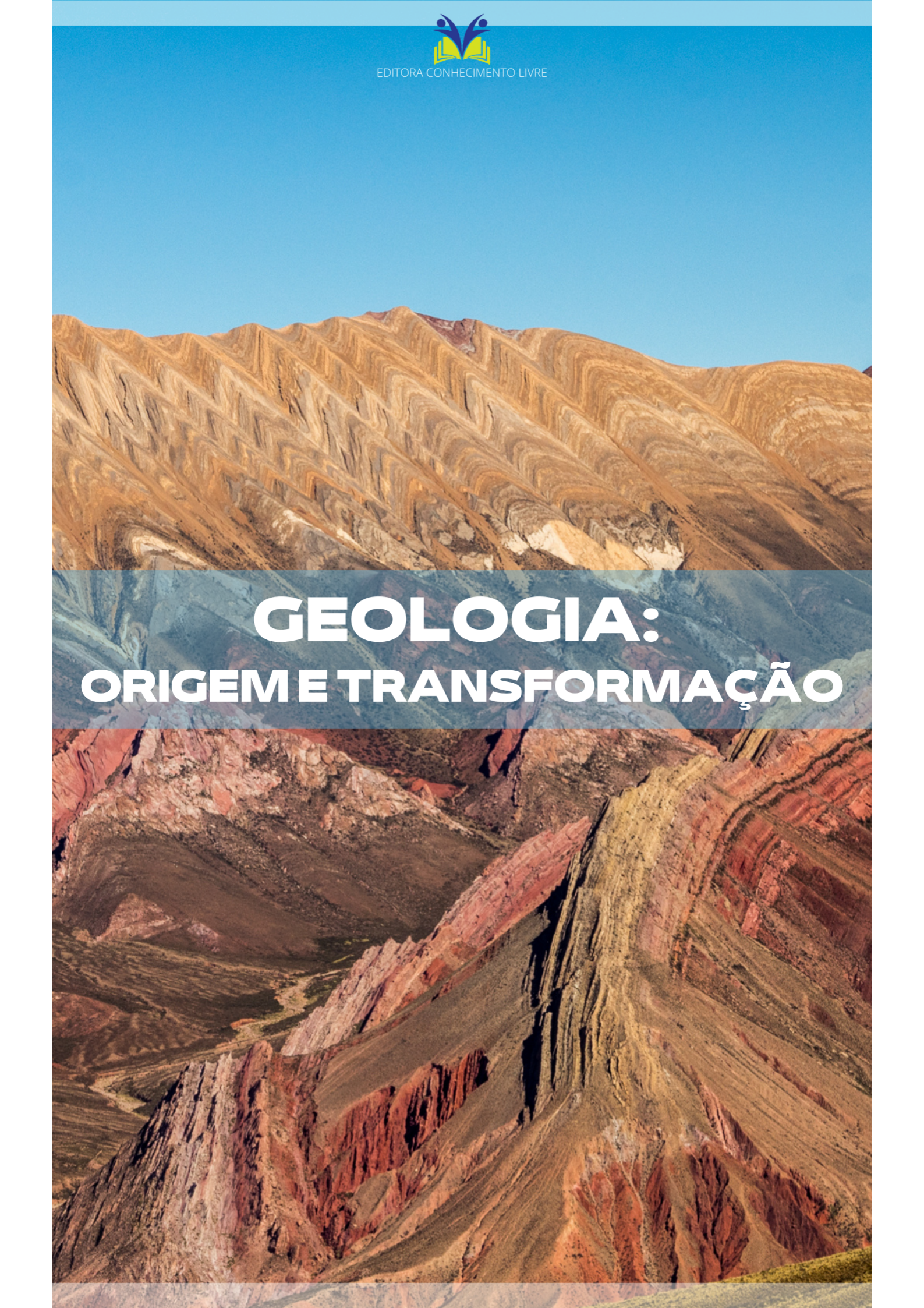




EDITORA CONHECIMENTO LIVRE



GEOLOGIA: ORIGEM E TRANSFORMAÇÃO

Frederico Celestino Barbosa

Geologia: origem e transformação

1ª ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO

1ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Barbosa, Frederico Celestino
B238G Geologia: origem e transformação

/ Frederico Celestino Barbosa. – Piracanjuba-GO

Editora Conhecimento Livre, 2023

68 f.: il

DOI: 10.37423/2023.edcl785

ISBN: 978-65-5367-381-6

Modo de acesso: World Wide Web

Incluir Bibliografia

1. terra 2. composição 3. estrutura 4. evolução I. Barbosa, Frederico Celestino II. Título

CDU: 550

<https://doi.org/10.37423/2023.edcl785>

O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

EDITORIA CONHECIMENTO LIVRE

Corpo Editorial

MSc Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior

MSc Humberto Costa

MSc Thays Merçon

MSc Adalberto Zorzo

MSc Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno

PHD Willian Douglas Guilherme

MSc Andrea Carla Agnes e Silva Pinto

MSc Walmir Fernandes Pereira

MSc Edisio Alves de Aguiar Junior

MSc Rodrigo Sanchotene Silva

MSc Wesley Pacheco Calixto

MSc Adriano Pereira da Silva

MSc Frederico Celestino Barbosa

MSc Guilherme Fernando Ribeiro

MSc. Plínio Ferreira Pires

MSc Fabricio Vieira Cavalcante

PHD Marcus Fernando da Silva Praxedes

MSc Simone Buchignani Maigret

Dr. Adilson Tadeu Basquerote

Dra. Thays Zigante Furlan

MSc Camila Concato

PHD Miguel Adriano Inácio

MSc Anelisa Mota Gregoleti

PHD Jesus Rodrigues Lemos

MSc Gabriela Cristina Borborema Bozzo

MSc Karine Moreira Gomes Sales

Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

MSc Pedro Panhoca da Silva

MSc Helton Rangel Coutinho Junior

MSc Carlos Augusto Zilli

MSc Euvaldo de Sousa Costa Junior

Dra. Suely Lopes de Azevedo

MSc Francisco Odecio Sales

MSc Ezequiel Martins Ferreira

MSc Eliane Avelina de Azevedo Sampaio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	5
DETECTION OF FERRUGINOUS LATERITE ON THE ISLAND OF SÃO LUÍS, STATE OF MARANHÃO (BRAZIL) USING REMOTE SENSING	
José Edward de Oliveira	
Otto Corrêa Rotunno Filho	
DOI 10.37423/230808071	
 CAPÍTULO 2	 23
A HISTORICAL CASE OF THE USE OF LATERITIC ROCKS IN PORTLAND CEMENT CONCRETE	
José Edward de Oliveira	
Otton Corrêa Rotunno Filho	
Edson Farias de Mello	
DOI 10.37423/230808093	
 CAPÍTULO 3	 45
ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DAS ÁGUAS DE POÇOS DA CIDADE DE ARARUNA-PB, UTILIZADAS COMO ÁGUA DE AMASSAMENTO NA PRODUÇÃO LOCAL DE CONCRETO E ARGAMASSA.	
Daniel Baracuy da Cunha Campos	
Jonatã Gomes de Souza	
Ana Paula Araújo Almeida	
Gabio Stalin Soares Almeida	
DOI 10.37423/230808114	

Capítulo 1



10.37423/230808071

DETECTION OF FERRUGINOUS LATERITE ON THE ISLAND OF SÃO LUÍS, STATE OF MARANHÃO (BRAZIL) USING REMOTE SENSING

José Edward de Oliveira

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Otto Corrêa Rotunno Filho

Universidade Federal do Rio de Janeiro



Abstract: The purpose of this study was to map the sites aimed at the occurrences of lateritic or duricrust on the island of São Luis in the state of Maranhão – Brazil. The island comprises typical landscape features such as vegetation, water courses, exposed soils, urban areas, agricultural areas and pastures. The mapping methodology focused on the Crosta Technique applied to six and four spectral bands of the TM Landsat 5 sensor. The results show that the application of the four-band technique is more efficient in detecting iron oxide/hydroxide minerals. Many of the potential areas of occurrence of mapped iron oxide/hydroxide minerals correspond to the ceramic roofs of buildings, and possibly to concrete surfaces, which have a spectral behavior similar to that of iron-rich surfaces in the reflected infrared range. Many studies on lateritic rocks are also developed at African and Indian universities applied to civil engineering and precisely aiming at the use of lateritic rocks as construction material for multiple purposes. The present study was obtained based on the analysis of remote sensing mapping. The methodology focused on the Crosta Technique applied to six and four spectral bands of the TM Landsat 5 sensor and the results were used in the elaboration of a Doctoral thesis on the use of laterite as aggregate in Portland cement concrete at the Federal University of Rio de Janeiro - Brazil.

Keywords: duricrust; Landsat TM; ferruginous laterite; construction material; Brazil.)

1. INTRODUCTION

This remote sensing study aims to contribute to the detection of ferruginous lateritic zones on the São Luís island, State of Maranhão. The laterites are employed in civil construction and engineering for numerous purposes, mainly as stone material used in Portland cement concrete mixes [2]. This work will focus exclusively on techniques that are relevant to Remote Sensing, also demanding the presentation of some geology and petrographic data, considered important for the study.

The mapping methodology focused on the Crosta Technique applied to six and four spectral bands of the TM Landsat 5 sensor. The results show that the application of the four-band technique is more efficient in detecting iron oxide/hydroxide minerals. This work will focus exclusively on techniques that are relevant to Remote Sensing, also demanding the presentation of some geology and petrographic data, considered important for the study [14-15-17].

Lateritic concrete is already well known in Brazil and abroad and accepted in the world civil construction, as being that concrete that uses the laterite rock or simply laterite, such as crushed stone and should be treated as an aggregate not conventional for use in Portland cement concrete as a substitute for aggregate conventional, originated from the granite rock [3]. About 40% of the earth's emerged land is covered by laterites. In Brazil, laterites cover close to 65% of the country's total area [4], which from the beginning would indicate the impact of studies and research related to the laterite theme.

Despite the existence of a large extension of this material in our country, the existing deposits of laterite are little used in concrete. Although there is great availability of laterites in deposits in the national territory and on the planet, they are little used and information on the properties of lateritic concrete is scarce and limited, when compared with the information that exists on the properties of conventional concrete. This fact is mainly due to the lack of scientific knowledge in the use of this lateritic material. If there is greater knowledge of laterite, it can be better used in civil construction. Scientific knowledge is of practical use in civil engineering, even making it possible to benefit other countries that have this material. As is well known, the Amazon region represents 40% of the territory of the South American continent. It contains laterites in large quantities. A particular feature that encourages the use of laterites in the northern region of Brazil is that there is no granitic gravel in most of the 3,869,637 km², 45% of the Brazilian territory, which has a total area of 8,516,000 km² [3].

In the northeast region of Brazil, with an area of 1,561,171 km², 18.3% of the national territory, both materials are available, both granitic gravel and laterite. The use of laterite is justified by its availability, making it an alternative to lower the cost of producing concrete made with them, to serve the 47,693,253 inhabitants residing in the region, with 50.12% of its population having income family of half a minimum wage, considered one of the poorest in the country [3].

2. GEOLOGICAL CONTEXT TO USE REMOTE SENSING

The geological map of the São Luís island is shown in Figure 1. Given the absence of conventional stone materials (granitic gravel) on the island for use in civil construction, ferruginous laterites are alternatively utilized. They have adequate chemical, physical and mechanical characteristics, being also easy to extract and produce [2].

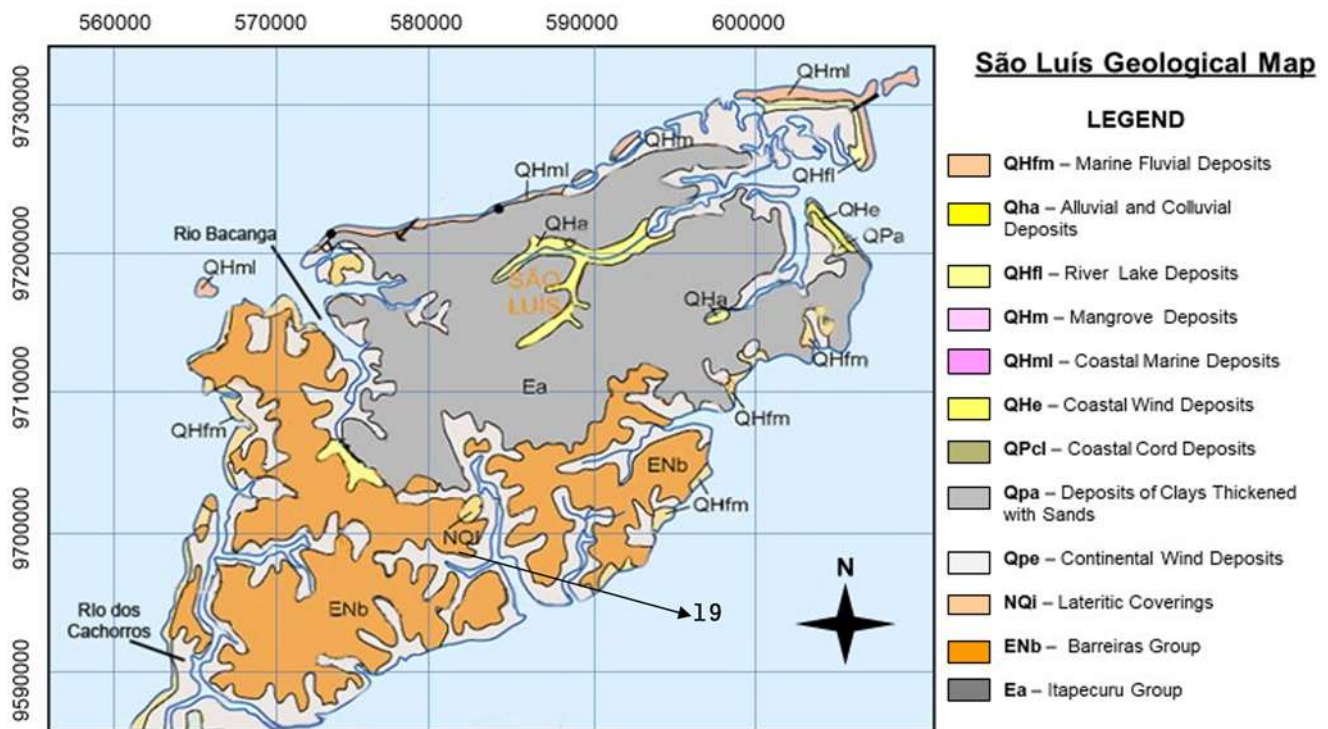


Figure 1. Geological Map of the São Luiz. Scale 1:250000. Source: [5].

The sedimentary rocks, referred to in the map above are in the regional domain of the Parnaíba basin. Geologically called the São Luís sub-basin. These two basins are separated by the structural and tectonic arc called Ferrer Urbano Santos. The sediments of interest to the studies belong to the Barreiras Group belonging to the Cenozoic (ENb), with the Pirabas Formation of tertiary age at the base of the sub-Basin and the São Luís Formation of Quaternary age at the top of the sub-Basin

containing beds of sandy materials with reduced thickness of claystones, being its continental origin where sandstones are cemented by iron oxide [1].

The tertiary-age Pirabas Formation consists of a gradual passage of clayey deposits, with dark colors at the base, to lighter, less calciferous material, until reaching a layer of white claystones and siltstones with migrations of iron oxide, where concretions of iron oxide [2]. The quaternary-age São Luís Formation is made up of unconsolidated and consolidated red and yellow sandstones. These Formations mentioned above are not included in the geological map due to their very small scale. Finally, the geological map presented at 1:250.000 scale does not include the Pirabas and São Luís Formations. In the analysis based on Remote Sensing, it is observed that in these two formations, Pirabas and São Luís, laterite outcropping on the surface occurs [2], which was confirmed by the laterite deposits indicated in Figure 11.

The Itapecuru group (Ea) belonging to the Mesozoic and Cretaceous age, has the Itapecuru formation composed of red pink sandstone, green, fine-grained micaceous, red micaceous siltstone and red, silty and micaceous claystone. The occurrences of laterite deposits in the Itapecuru group occur with lower incidence, as shown in Figure 11. Lateritic covers result from laterization processes through intense chemical weathering from pre-existing rocks. They are developed in tropical climate regions with a long dry season and annual precipitation between 1,200 and 1,800 mm [6-7].

Laterites from the São Luis island have several aspects and compositions, according to [1]. The dominant type is characterized by a horizon of concretion or rust in the upper part of the terrain, constituted mainly by iron minerals, like hematite and goethite. The “duricrust” horizon has a thickness varying between 0.5 and 1.50 m and is topped by an organic vegetal horizon, with a variable thickness of up to 0.5 m approximately. Figures 02 and 03 illustrate an archetype lateritic profile and the plant/organic cover. Figure 4 shows the structural arrangement of the predominantly quartz-rich matrix mixed with the ferruginous cement.



Figure 2. Lateritic coverage with variable thickness of 0.50 to 1.50 m. The image belongs to deposit/point 19.



Figure 3. Detail of the stone material extracted from the "duricrust" laterite deposit. The image belongs to deposit/point 19.



Figure 4. Detail of the structure of the laterite in the “Maracujá Deposit” (point 19 in Figure 1), showing the proportionality between the quartz-rich matrix and the ferruginous cement. The cement has the following chemical composition determined by X-Ray fluorescence: % Al_2O_3 - 2.4, % SiO_2 - 8.0, % P_2O_5 - 1.6, % Fe_2O_3 - 76.5, % CaO - 0.10, % PPC – 11.1.

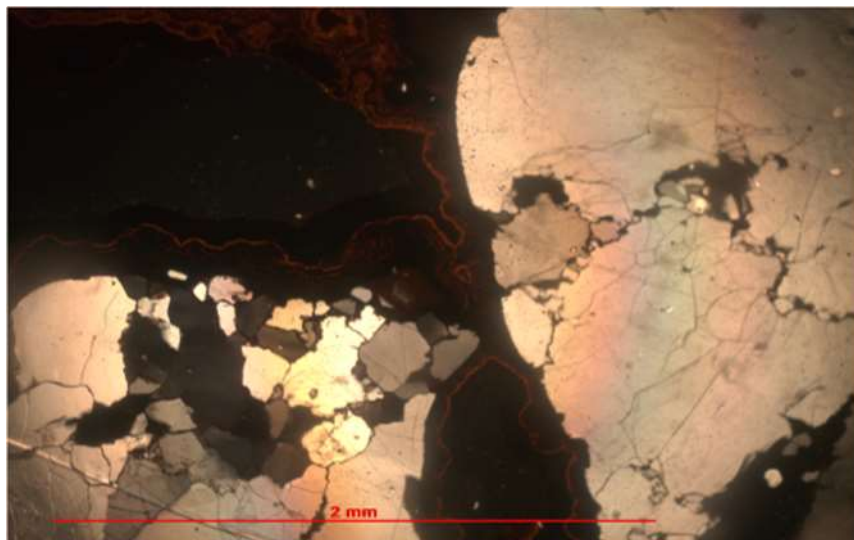


Figure 5. Photomicrograph using a polarized light microscope with crossed polarizers in which it highlights the structure of the quartz grains of the lateritic ferruginous conglomerate, consisting of polycrystalline quartz grains and undulating extinction quartz with granule fractions as modal value, very thick ends and small pebbles and containing a lot of gravel, while sand represents less than 5%. The rock matrix is subangular and subrounded, high sphericity with light brown to dark brown cement, like hematite and limonite, and the presence of potassium feldspar and granite fragments is rare. Cement occurs in some points, as botryoidal goethite evolving in some points for crystallization of hematite. Note, also, that the larger quartz grains are microfractured, which reveals the susceptibility of the grain to be reduced to a lower granulometry, when subjected to the crusher jaw forces and, consequently, revealing the ease of granulometry reduction.



Figure 6. Photomicrograph referring to the lateritic ferruginous conglomerate with microscopic aspects obtained in light with parallel polarizers evidencing the interaction between the cementitious ferruginous oxides with the quartz matrix. Note that ferruginous cement encompasses very fine particles of quartz fractions. Detail of the red star in Figure 7.

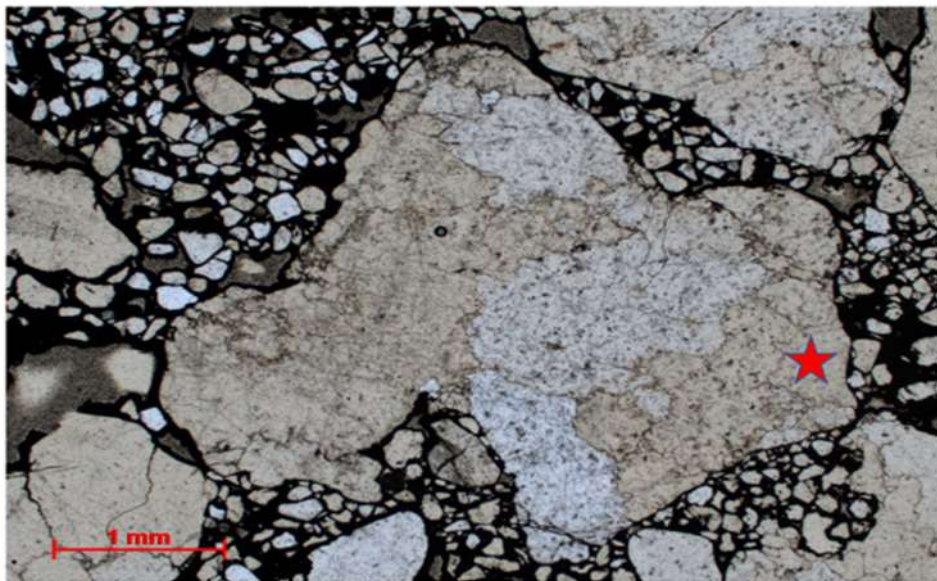


Figure 7. Photomicrograph with polarized light showing detail of the lateritic ferruginous conglomerate previously presented. Here it is evident that the cement encompasses very fine particles of quartz fractions and thus establishing a greater area of contact between different materials, in this case, cement and matrix grains.

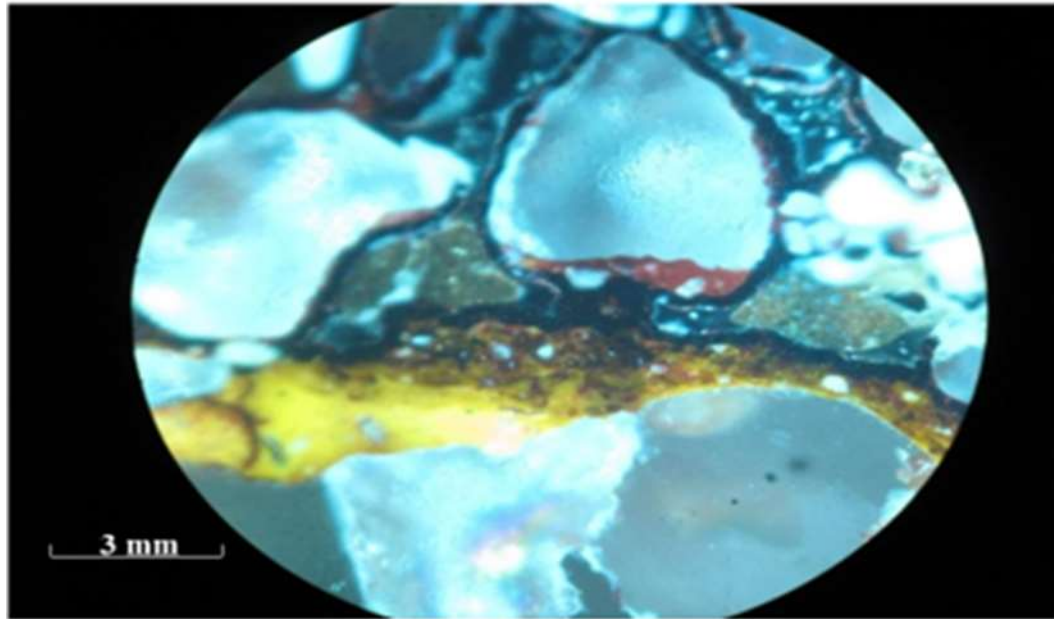


Figure 8. Photomicrograph with reflected light of the lateritic ferruginous conglomerate denoting goethite represented by the yellow color, the hematite represented by the brown color and the quartz represented by the white color.

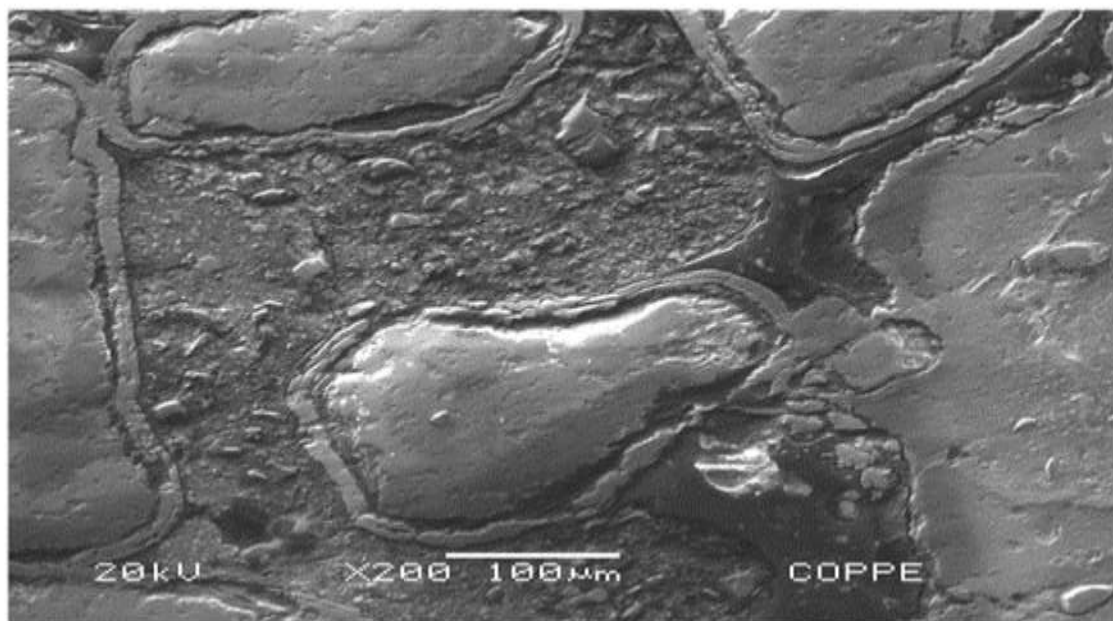


Figure 9. SEM electron micrograph (Scanning Electron Microscopy) showing in a more striking plane the larger quartz grains involved by a fraction/film of ferruginous oxide. Between one grain and another, the ferruginous cement can be observed, in which very fine quartz grains are disseminated. The constituents of the rock were identified based on the scattering energy through an X-ray detector (EDS).

The laterites were developed on sediments from the Neogene to the Quaternary, comprised in the Barreiras Group and in the Itapecuru Group, as well as coastal deposits and colluvial soils [8]. The use

of remote sensing through Landsat images, with focus on mineral exploration, has been successfully employed by several researchers [9-10-11-12-13-14-15-16]. In this sense, this work aims to determine the areas with the highest potential for the occurrence of ferruginous laterites using digital processing of LANDSAT-TM images. For that, we used the Crósta technique, which is based on a variant of the principal component transformation [17]

3. MATERIAL AND METHOD

In tropical and equatorial regions, vegetation can dramatically limit the application of multispectral sensor data in the detection and mapping of minerals, as it obscures their corresponding spectral response [18-19]. Although the study area is covered by vegetation, it was deeply degraded by anthropogenic interference. Agriculture, mining, livestock and urban expansion have transformed the landscape, exposing soils and rocks and, thus, increasing the chance for the successful use of remote sensing in mineral detection.

Here, LANDSAT-5 TM is employed for the mineral detection task. The data was digitally processed using both ENVI 5.0 and ArcGis 9.3 software. The study area is covered by two, almost cloud-free, Landsat-5 TM scenes (orbit/point 220/62 - acquired in 6th Nov 2004; and 221/62 - acquired in 24th June 2006). The images were geocoded using the SIRGAS 2000 geodetic reference system.

The image processing methodology was two-fold. Firstly, the full Landsat scenes were geometrically corrected using the Geocover mosaic and the study area extracted from it. Image processing was based on the reflectance properties of targets in the 0.4-2.5 μm range of the electromagnetic spectrum (Figure 10), with focus on iron oxides and hydroxides present in laterites [20].

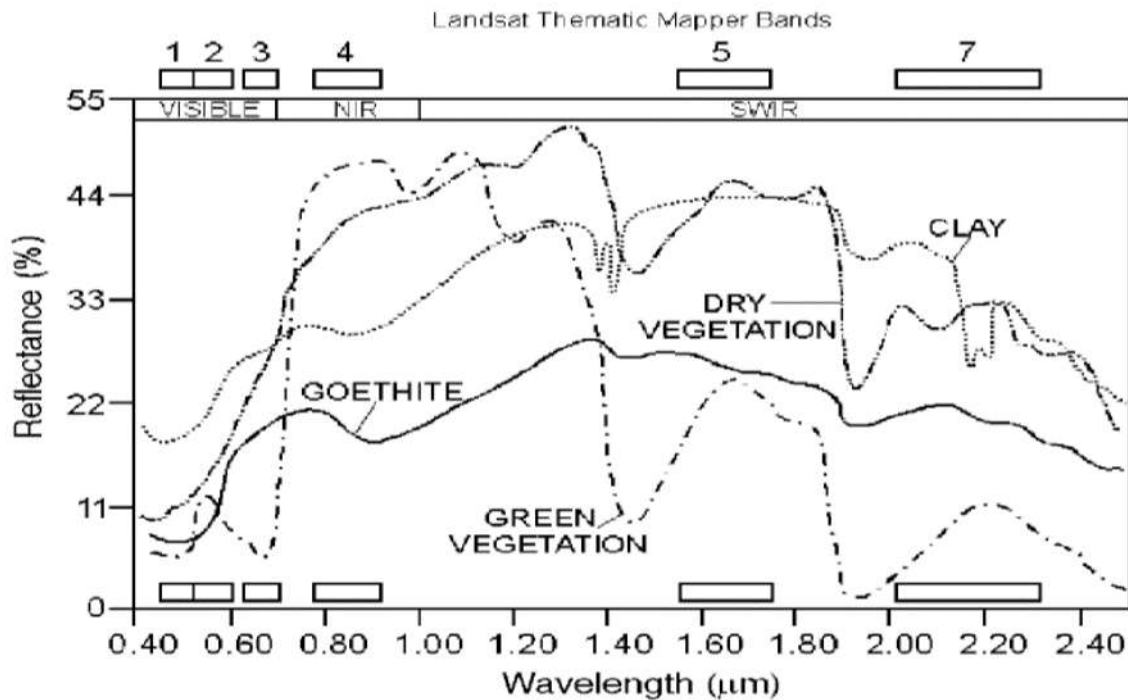


Figure 10. Spectral signatures of iron hydroxide (goethite), vegetation and clay (source: Carranza & Hale, 2002). Note that goethite (as well as hematite) shows low spectral response on TM channels 1, 2 and 4 and high response on TM channels 3, 5 and 7.

The procedure developed by [17], which is a variant of the principal components transformation, was applied to the imagery. The procedure aims to remove the redundancy of information contained in the original images, having been successfully used by several researchers [21-14-24-25-26-27-28-29]

The technique is based on prior knowledge of the spectral signature of specific targets in the spectral bands, in order to define and select the main components that contain the desired information. An important aspect of this technique is that it indicates, based on the signals and magnitude of contributions from each original image, whether the target of interest will be highlighted in the principal component images as light or dark pixels. In the present work, the technique was applied to a reduced number of TM 1-3-4-5 bands of the LANDSAT satellite, since this proposition has been shown to be efficient in regional mineral exploration [11-15-16].

3.1. IMAGE ANALYSIS AND PROCESSING

Figure 6 is an R7G4B3 false color composite commonly used in geology, which is intended to support the interpretation of the principal components. It is possible to observe the following features: i) vegetation in green, especially close to water courses; ii) water bodies in blue or black; iii) exposed soil and urban areas in magenta or reddish tones; and iv) agricultural areas or pastures in yellowish tones. Based on the method used in this work, the most favorable areas for the identification of laterites are

those where vegetation cover is absent or incipient. These areas occur preferably the vicinity of São Luis city and, generally, as small discontinuous tracts.

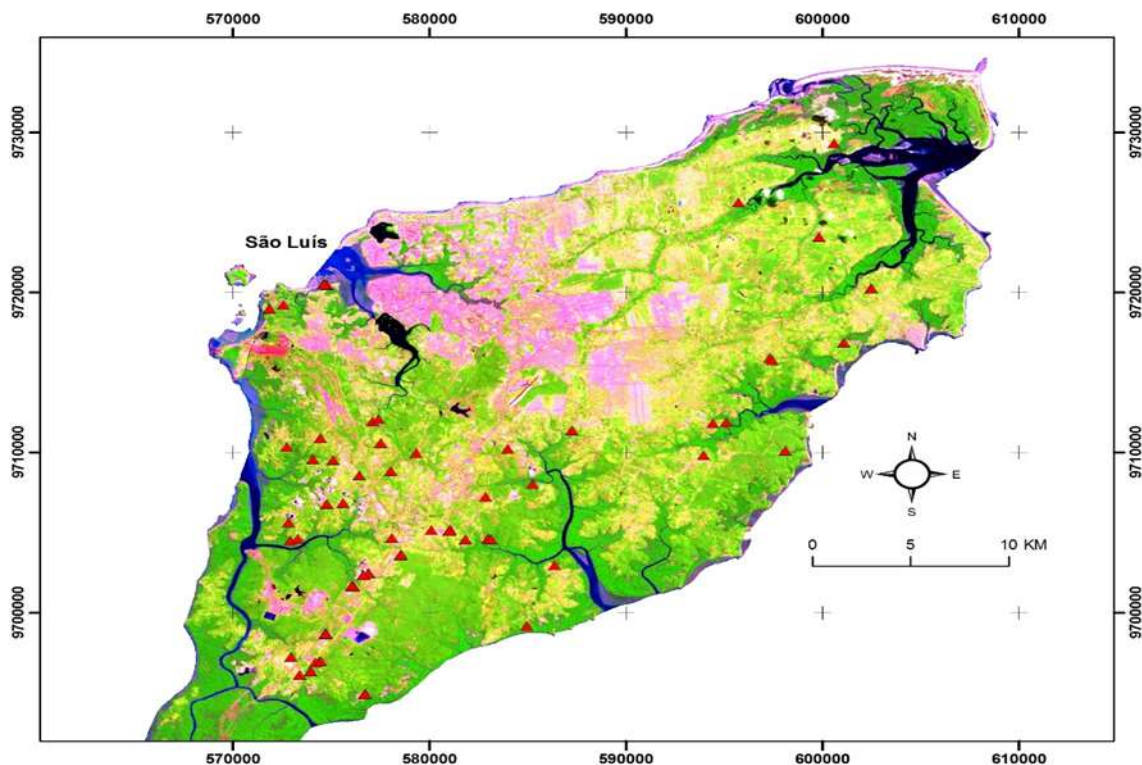


Figure 11. 7R4G3B color composition, with indication (red triangles) of occurrences and mines developed over false ferruginous laterites. Composição colorida 7R4G3B realçada, com indicação das jazidas e áreas de ocorrência de lateritas ferruginosas (triângulos vermelhos). Colored composition 7R4G3B highlighted, with indication of deposits and areas of occurrence of ferruginous laterites (red triangles).

Figure 12 corresponds to the hypsometric map of São Luís generated from SRTM-90m DEM data. The terrain analysis allows the following observations to be made: i) the maximum elevations are concentrated in the central portion of the island; ii) terrain dissection is more prominent in the southern portion, where the largest area of exposure of sediments from the Barreiras group occurs; and iii) the occurrences and deposits of documented laterites are concentrated in the southern portion, in the altimetric range of about 15 to 30m above sea level. Therefore, the data indicate that, in principle, there is some lithological and topographical control in the spatial distribution of the laterites.

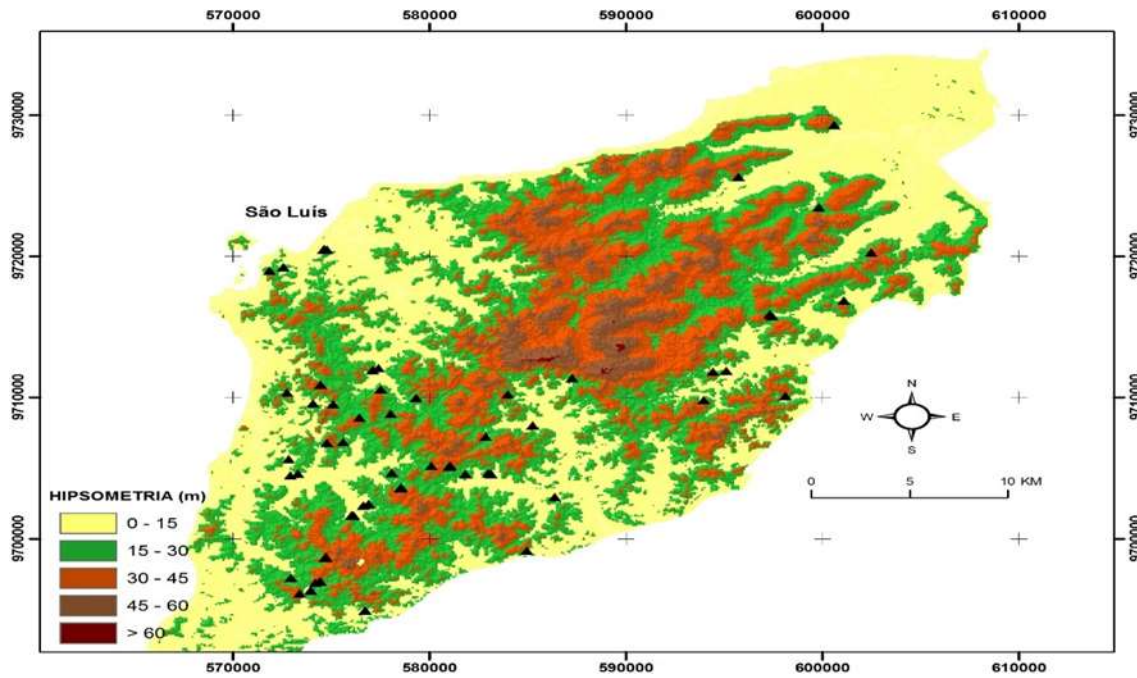


Figure 12. Hypsometric map of the study area, indicating deposits and areas of occurrence of ferruginous laterites (black triangles).

Tables 1 and 2 display the eigenvector matrices yielded from the principal component (PC) transformation applied to TM bands 1-3-4-5 for the two Landsat scenes under investigation. The first two PCs can be discarded as possible candidates for containing spectral information related to oxide/hydroxide minerals. PC1 can be interpreted as albedo and shading, since there is a positive contribution from all spectral bands. PC2 highlights vegetation, as it shows a high negative contribution from TM4 band. In Table 1, the spectral information referring to the iron oxide/hydroxide minerals is contained in PC3 and PC4, which, together, correspond to only 5.25% of the total variance of the scenes. In PC3, the iron oxide/hydroxide minerals will be mapped as light pixels, as they show high contributions with opposite signals in the TM1 (-31%), TM3 (21.17%) and TM5 (23.31%) bands. In contrast, the iron oxide/hydroxide minerals will be mapped in PC4 as dark pixels, as they show high contributions with opposite signals in the TM1 (41.21%) and TM3 (-46.36%) bands.

Table 1. Eigenvector matrix from TM bands 1-3-4-5 of scene 220/62. The cells in bold indicate the PCs that contain the information regarding iron oxide/hydroxide minerals.

Autovectors	TM1	TM3	TM4	TM5	Eigenvalue (%)
PC1	0,228	0,308	0,280	0,879	70,12
	13,45%	18,20%	16,55%	51,81%	
PC2	0,372	0,426	-0,823	0,016	24,64
	22,74%	26,00%	-50,24%	1,02%	
PC3	-0,613	0,418	0,485	0,461	4,73

	-31,0%	21,17%	24,51%	23,31%	
PC4	0,657	-0,739	-0,082	0,115	0,52
	41,21%	-46,36%	-5,19%	7,24%	

Figure 13 displays images of the four principal components arranged in a mosaic. In PC3, many of the potential areas of occurrence of mapped iron oxide/hydroxide minerals correspond to the ceramic roofs of buildings, and possibly to concrete surfaces, which have a spectral behavior similar to that of iron-rich surfaces in the reflected infrared range. Some water bodies were also mapped in light colors due to the presence of suspended sediments. As for PC4, it is highlighted that despite containing the spectral information of interest, it is the component that contains excessive noise, jeopardizing its interpretation. The occurrences and deposits of laterites show a good correlation to brighter pixels in PC3.

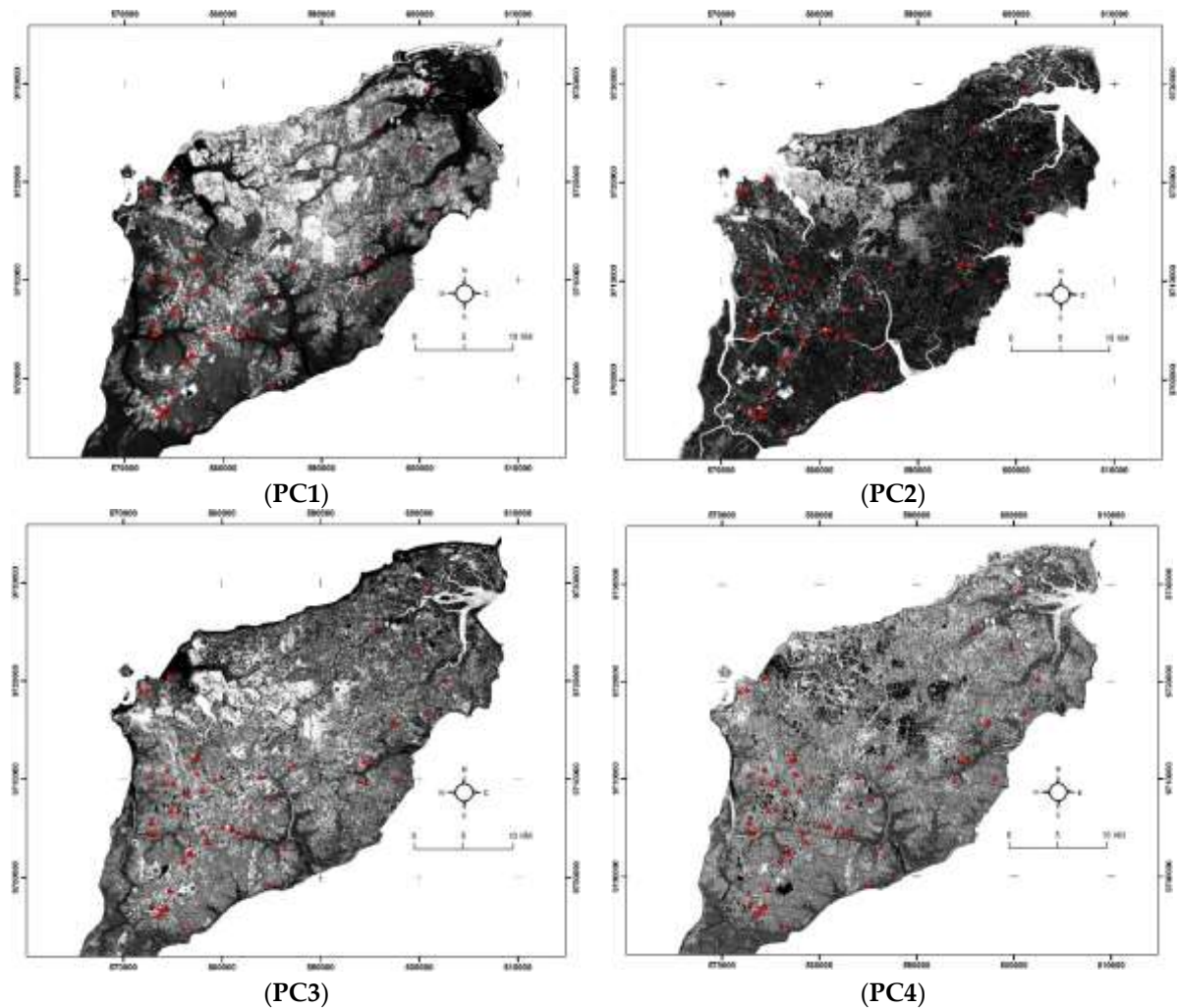


Figure 13. Mosaic of the four principal components of scenes 220/62 and 221/62 generated from the original TM 1-3-4-5 bands. Minerals from the iron oxide/hydroxide group are highlighted as light regions in PC3 and as dark regions in PC4. Red triangles correspond to known deposits and occurrences of laterites.

4. CONCLUSIONS

The results obtained here allow for the following conclusions:

- (1) the iron oxide/hydroxide minerals were mapped as brighter pixels on PC3 and as darker pixels on PC4;
- (2) PC3 showed a greater correlation with the areas of occurrence of laterites deposits, despite the fact that some areas mapped as iron-rich surfaces are actually urban features (ceramic and concrete roofs) and suspended sediments in water bodies;
- (3) PC4, despite containing spectral information referring to iron oxides/hydroxides, contains noise, which makes it difficult to visually interpret the results;
- (4) hypsometric data indicate that there is some lithological and topographic control in the spatial distribution of laterites, which should be verified in future research.

Declaration of competing interest: The authors declare that they have no competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

REFERENCES

1. Oliveira, J.E 2008. 'Comportamento geotecnológico de lateritas de S. Luís (MA) e suas resistências no concreto de cimento Portland'. Dissertação de Mestrado, IGEO- UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro.
 2. Oliveira, J.E 2019. 'Potencialidade do conglomerado ferruginoso laterítico da Ilha de São Luís do Maranhão utilizado no concreto de cimento Portland'. Tese de Doutorado, COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro.
 3. Chagas Filho, M.B. 2005. 'Estudos de agregados lateríticos para utilização em concretos estruturais' Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, 343 p.
 4. Melfi, A.J. 1977. 'Lateritas e processos de laterização'. Publicação 93/94. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de S. Paulo – USP, São Carlos, São Paulo.
- Companhia de Recursos Minerais – CPRM 2004 – Brazil
- Beauvais, A., Colin, F. 2003, 'Formation and transformation processes of iron duricrust systems in tropical humid environment'. *Chem. Geol.*, vol. 106, pp.77-101.
5. Bigarella, J.J., Becker, R.D., Passos, 2006, Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis: *Editora da UFSC*, vol. II. p. 566-612.
 6. Pereira, E. 2017, - As lateritas nos tabuleiros dissecados da Ilha do Maranhão, Ocorrências e Exploração, Anais da Revista - Contribuições a Geologia da Amazônia – volume 10.
 7. Kaufman, H. 1988. 'Mineral exploration along the Aqaba-Levanat structure by use of TM data, concepts, processing and results. *International Journal of Remote Sensing*, 9, 1639-1658.
 8. Varajão, C.A., 1988, - Detecção de depósitos bauxíticos em coberturas lateríticas através de imagens TM, sinclinal do Gandarela, Quadrilátero Ferrífero, MG. V Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, RN. Anais, v.2, p.275- 281.
 9. Loughlin, W.P. 1991. 'Principal component analysis for alteration mapping'. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.57, p. 1163-1170.
 10. Fraser, S.J. 1991. 'Discrimination and identification of ferric oxides using satellite' *Thematic Mapper data: a Newman case study. International Journal of Remote Sensing*, 12, 635-641.
 11. Bennet, S.A 1993. 'Use of Thematic Mapper imagery to identify mineralization in the Santa Teresa district, Sonora', Mexico. *International Geology Review*, 35, 1009-1029.
 12. Crósta, A.O. & Rabelo, A. 1993. 'Assessing Landsat TM for hydrothermal mapping in central-western Brazil'. *Proceedings of the Ninth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing*, Pasadena, California, USA, 1053-1061
 13. Crosta, A.P. & Souza Filho, C.R. 2019. Mineral exploration with Landsat Thematic Mapper (TM)/Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+): a review of the fundamentals, characteristics, data processing and case studies. In: Bedell, R.; Crosta, A.P.

14. Hartwig, M.E. & Caboclo, F.D.G. 2012. 'Detection of lateritic deposits using TM Landsat images in order to support the Carajás Railway duplication project, north and northeast - Brazil'. *Revista Brasileira de Geofísica*. v. 30, n° 1, 41-49 pp.
15. Crósta, A. & Moore, J. M. 1989. 'Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: a prospecting case history in Greenstone belt terrain. In: *Proceedings of the Seventh thematic conference on Remote Sensing for Exploration Geology*. Proceedings, ERIM, Calgary, p. 1173-1187.
16. Carranza, E.J.M. & Hale, M. 2019. 'Mineral imaging with Landsat Thematic Mapper data for hydrothermal alteration mapping in heavily vegetated terrane'. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 4827-4852.
17. Siegal, B.S., Goetz, A.F.H. 1977. 'Effect of vegetation on rock and soil type discrimination'. *Photogrammetric engineering and remote sensing*. v. 42, n° 2, p. 191-196.
18. Hunt, G.R. & Salisbury, J.W. 1970. 'Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks': III oxides and hydroxides. *Modern Geology*, 2, 195-205.
19. Loughlin, W.P. 1991. 'Principal component analysis for alteration mapping'. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.57, p. 1163-1170.
20. Mingoti, S.A. 2007. 'Análise de dados através de métodos de estatística multivariada': uma abordagem aplicada (Didática). Belo Horizonte: Editora UFMG. 295p.
21. Loughlin, W.P. 1991. 'Principal component analysis for alteration mapping'. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.57, p. 1163-1170.
22. Davidson, D., et al., 'Operational remote sensing mineral exploration'. In a semi-arid environment: Troodos Massif the Cyprus. *Thematic Conference on Geologic Remote Sensing. 9th. Pasadena. California. Environmental Research Institute of Michigan. Proceedings*. v.2, p. 845-859.
23. Souza Filho, C.R., Drury, S.A. 1998. 'Evaluation of JERS-1 (FUYO-1) OPS and Landsat TM images for mapping of gneissic rocks in arid areas'. *International Journal of Remote Sensing*. v.19, p. 3569-359.
24. Sabine, C. 2009. 'Remote sensing strategies for mineral exploration'. In: Rencz, A.N. (Editor). *Remote sensing for the earth sciences - manual of remote sensing*. New York: John Wiley and Sons, Inc., 3rd ed., v.3, p. 375-447
25. Tagestani, M.H., Moore, F. 2012. 'Porphyry copper alteration mapping at the Meidukarea, Iran'. *International Journal of Remote Sensing*. v.23, n. 22, p. 4815-4825.
26. Carranza, E.J.M. & Hale, M. 2019. 'Mineral imaging with Landsat Thematic Mapper data for hydrothermal alteration mapping in heavily vegetated terrane'. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 4827-4852.

27. Ranjbar, H., Hornarmand et al., 2014. 'Application of the Crósta technique for porphyry copper alteration mapping using ETM+ data in the southern part of the Iranian volcanic sedimentary belt'. *Journal of Asian Earth Sciences*. v. 24, p. 237-243.

Capítulo 2



10.37423/230808093

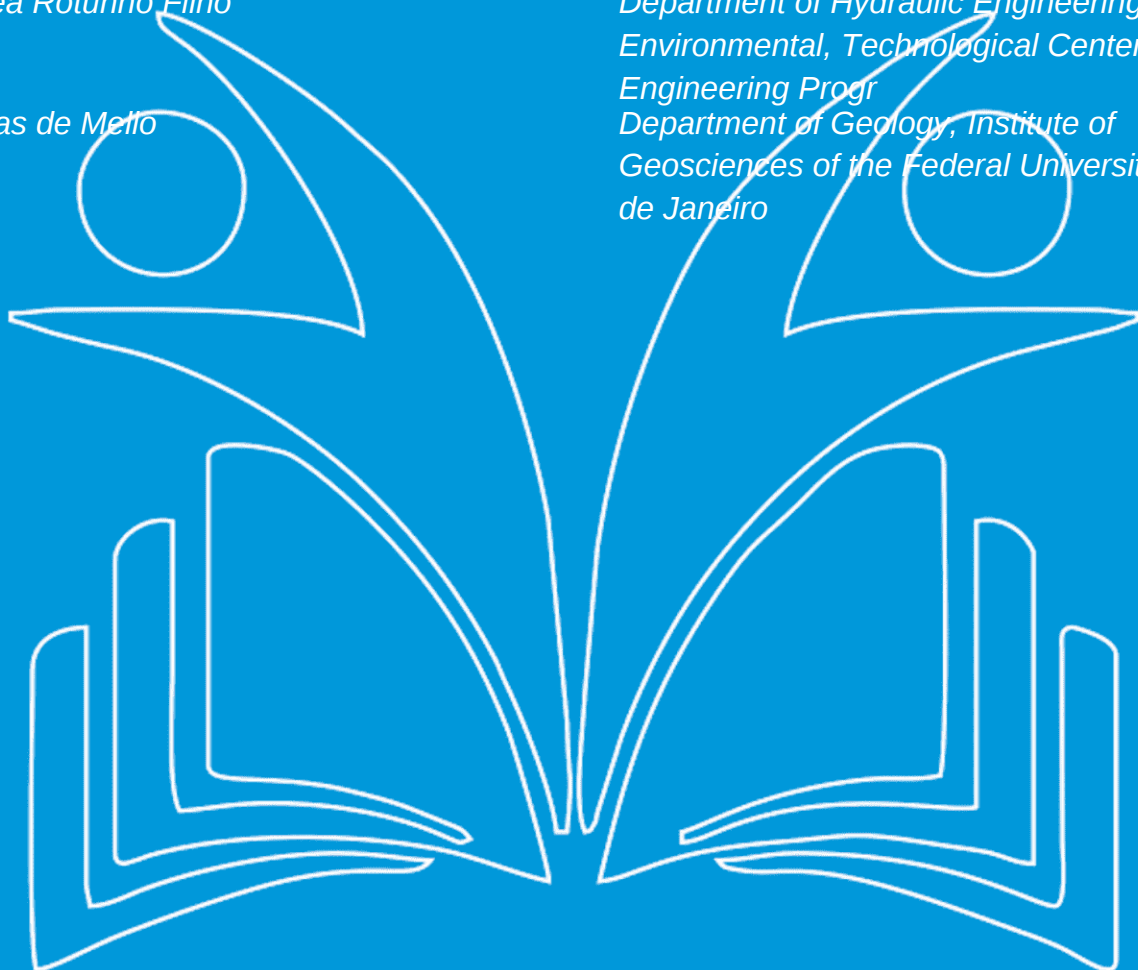
A HISTORICAL CASE OF THE USE OF LATERITIC ROCKS IN PORTLAND CEMENT CONCRETE

José Edward de Oliveira

Otton Corrêa Rotunno Filho

Edson Farias de Mello

*Department of Geology, Institute of
Geosciences of the Federal University of Rio
de Janeiro, Rio de
Department of Hydraulic Engineering and
Environmental, Technological Center, Civil
Engineering Progr
Department of Geology, Institute of
Geosciences of the Federal University of Rio
de Janeiro*



Abstract: On the island of São Luís in the state of Maranhão, Brazil, four types of rocky materials (aggregates) are designated as ferruginous laterite, based on the silica/sesquioxide ratio, according to DNER ME 30 - 73 (1971). Intense field and laboratory studies were needed to differentiate these rock types and choose which type of rock material is best suited for use in "Portland" cement concrete.

The transformation of the rock into laterite is due to the weathering process called "laterization". A series of indispensable technological tests were carried out in order to characterize the materials from the geological, chemical, physical and mechanical point of view. An organization chart is presented expressing an understanding of the beginning, middle, and end of studies.

The present study contemplates the laterization, which causes the cementation of the sedimentary rocks of the place, having as a consequence, the formation of a hard rock, transformed into laterite, which after crushing was used as an aggregate (rocky material) in the manufacture of the concrete of cement "Portland".

This work was based on relevant techniques for remote sensing, also requiring the presentation of geological and petrographic data, considered important for the study.

The identification of the laterization zones were detected through a mapping whose methodology used was the "crust" technique applied 6 to 4 bands of the Landsat TM 5 sensor. The results showed that the application of band 4 is the most efficient in detecting the Iron oxides and hydroxides.

Through the establishment of the granulometric curves of the rock types it was possible to verify, based on the theoretical granulometric curve of "FULLER", which granulometries could be corrected and thus having a denser specimen and consequently with greater strengths, when molded in concrete of "Portland" cement.

In this study the material was crushed and used as it came out of the crusher and thus providing, both the coarse aggregates, as the fine aggregates, when crushed being molded into specimens and broken to verify their resistance. In other studies, the fine lateritic aggregates were obtained in sand washed from rivers, which substantially increases the environmental liability.

The lateritic rocks existing in the distinct deposits or deposits at the site showed that the sedimentary rock of the ferruginous conglomerate type, behaves better physically and mechanically, when molded in concrete specimens with 28 days of curing and with different water/cement factors. We highlight the fact that lateritic rock is not reactive to the 'Portland' cement alkalis

The feasibility of using the laterite as an aggregate used in concrete “Portland” cement concrete is feasible as it has a simple axial compression resistance similar to concrete using crystalline rocks. Add to this main factor the ease of exploration of this aggregate and decrease in environmental liabilities

Keywords: Lateritic concrete strength; Lateritic aggregate properties; Sedimentary lateritic rock

1 INTRODUCTION

The metropolitan region of São Luís in Maranhão is a sample of Brazilian urban growth, increasing the demand for materials for construction purposes, bringing the need to increase research aimed at knowing the technological characteristics of the lateritic rocks that occur abundantly at the site.

This situation awakens interest in knowing the potential uses of alternative construction materials in this region, be careful to research specifically in research of this type here.

Lateritic concrete is already well known in Brazil and abroad and accepted in the world civil construction, as being that concrete that uses the laterite rock or simply laterite, such as crushed stone and should be treated as an aggregate not conventional for use in Portland cement concrete as a substitute for aggregate conventional, originated from the granite rock, CHAGAS FILHO (2005).

The lateritic rock (aggregates) of this region is considered an unconventional aggregate and classified according to the International Society of Rock Mechanics (ISMR) and belonging to the domain of soft rocks and which has the following axial compressive strength variation |, in DOBEREINER (1987)

The lateritic rock types that we treat in this study have their genesis based on the rock of sedimentary origin and that was submitted to the sedimentary process and later to the laterization process, which petrifies the rock, due to the cementation of the rock by various iron oxides.

In the present study, we consider the geology of fundamental importance for the understanding of the “potential” of lateritic rock types. It should be clarified that the study is multidisciplinary, however, the technological tests applied to lateritic rock types are recommended in the technical standards currently in force.

The identification of the laterization zones were detected through a mapping whose methodology used was the “Crosta” technique applied 6 to 4 bands of the Landsat TM 5 sensor. The results showed that the application of band 4 is the most efficient in detecting the Iron oxides and hydroxides

The mapping methodology focused on the Crosta Technique applied to six and four spectral bands of the TM Landsat 5 sensor. The results show that the application of the four-band technique is more efficient in detecting iron oxide/hydroxide minerals.

2 JUSTIFICATION

In the island of São Luís do Maranhão it was possible to identify various types of stone materials and perform a geotechnological classification in such a way to make a comparison between the materials and identifying which material is best for use in concrete Portland cement.

The research was born from the knowledge on the part of the authors in view of the scarcity of bibliographic elements on the lateritic rocks of the Island of São Luís in Maranhão. Therefore, the following detailed justifications are presented:

1. Lack of scientific and technological knowledge regarding the lateritic rock types existing on the Island of São Luís, where the knowledge, identification and use of the lateritic rock types were empirical and inadequate in the civil construction of the place. Good quality lateritic sedimentary rock was used in works of lesser responsibility and inferior quality material was used in works of greater responsibility an attitude quite contradictory because academic scientific research was lacking at the time.
2. In terms of economics, the lack of granitic rock on the island stands out, since it occurs 70 km away, in the town of Rosário, in the state of Maranhão, within the continent, thus making the manufacture of concrete more expensive.
3. On the social issue, I could not fail to highlight the immense number of workers without legal registration exploiting the deposits.
4. Absence of a reliable record of deposits in exploration, abandoned deposits and potential exploration deposits.
5. Lack of a large scale geological map of the Island and also the lack of a survey based on remote sensing through Landsat images, which was carried out, according to OLIVEIRA (2019)

3 OBJECTIVES

This article is organized in 6 items, in addition to bibliographic references including a series of photos, map, figures/tables with test results and an organizational Chart of developed studies.

In item 1 is the introduction, where the motivations for the study was clarified. In item 2 is the justification of the studies. In item 3 it is very relevant presenting the objective of the studies. In item 4 is presented the methodology followed for the development of the study, where a chart with explanatory subtitles can be verified. In item 5 is presented the discussion of the main results and finally in item 6 the conclusions of the studies are presented.

1. To use of lateritic rock types (stone aggregate) from the island of São Luís, in concrete, when molded with Portland cement, with reference to some previous studies by the author himself, OLIVEIRA (2008) and OLIVEIRA (2019). However, it is observed in previous studies, a lack of geological, chemical, physical and mechanical studies of the lateritic rock used in the molding of Portland cement concrete.

2. Elaboration of a Laterite deposits register based on a geological map of São Luís Island.
3. Remote Sensing Analysis of the Island of S. Luís from Maranhão based on digital Image processing of the TM Landsat Sensor, Through Sent 4.8 and Arc Gis 9.3 Applications, aiming to identify the Lateritic Zones (deposits)
4. Complementary adaptations of advanced technological tests in such a way as to supply the lack of technological knowledge of these laterites on the island of São Luís in Maranhão.

In order to achieve the objective of the work and fill the gaps in previous studies carried out by other authors, a sequence of procedures contained in the methodology of the studies was followed and which was simplified in Fig. 1.

4 METHODOLOGY FOLLOWED

At the beginning, it is repeated that the lateritic concrete obtained in this study followed a methodology established in the technical standards, however, sand from rivers or pits was not used, only crushed lateritic rock, cement and water, the sands being used from the crushing itself, which denotes a unique methodology. The sequential methodology followed can be seen in the organization chart below and which constitutes Fig. 1.

The chart below has several nucleus, a first group that refers to geological photointerpretation addressing geological mapping techniques depending on the research objectives. A second group seeks remote sensing, based on Landsat images, whose images processing is based on the 350 -1500 nm interval reflection of the electromagnetic spectrum, associated with the minerals of the iron oxides group present in lateritic rocks. A third group that aims to perform geological, chemical, physical and mechanical characterization and finally a fourth group that deals with the accomplishment of tests directed to the technology of the "Portland" cement concrete.

This set of procedures led and directed the study to obtain the maximum value of the high strengths of the concrete when molded and broken the specimens elaborated through traces and water cement factors optimized during the study.

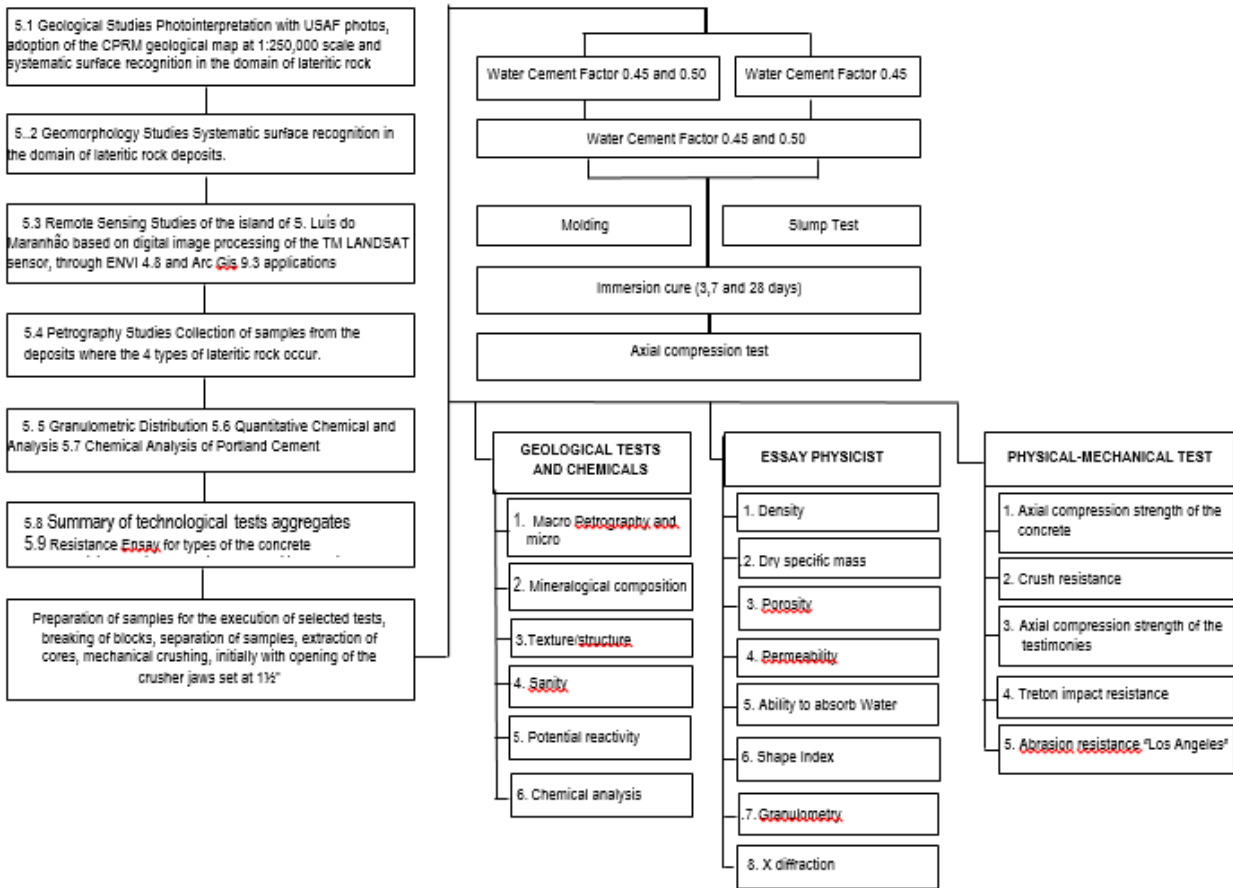


Figure 1 - The Chart above has several nucleous, a first group that refers to geological photointerpretation addressing geological mapping techniques depending on the research objectives. A second group seeks remote sensing, based on Landsat images, whose images processing is based on the 350 -1500 nm interval reflection of the electromagnetic spectrum, associated with the minerals of the iron oxides group present in lateritic rocks. A third group that aims to perform geological, chemical, physical and mechanical characterization and finally a fourth group that deals with the accomplishment of tests directed to the technology of the "Portland" cement concrete.

5 PRESENTATION AND DISCUSSION OF THE MAIN RESULTS

5.1 GEOLOGY

In the region of São Luís Island, state of Maranhão, according to the geological map at a scale of 1:250,000, Fig. 2, the materials involved in the laterization process include the Barreiras Group with Tertiary lithologies and colluvial deposits from the latest Quaternary. The Barreiras Group laterites are the major producer of aggregate materials for Portland cement concrete.

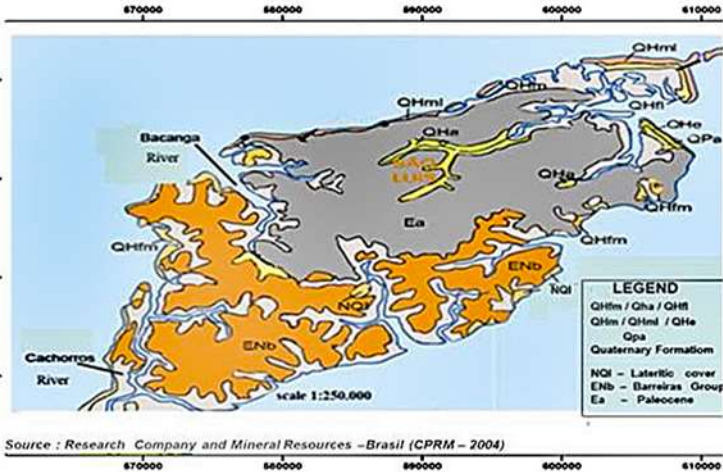


Figure 2 - Geological map of the island of São Luís – Scale 1:250.000

5.2 GEOMORPHOLOGY

Geomorphologically Fig.3 shows that the island of São Luís has five distinct elevation zones, including high elevations of greater than 60 m, areas with significant undulations, areas that are often affected/carved by rivers that drain to the coast, and alluvial plains that are periodically flooded by the sea.

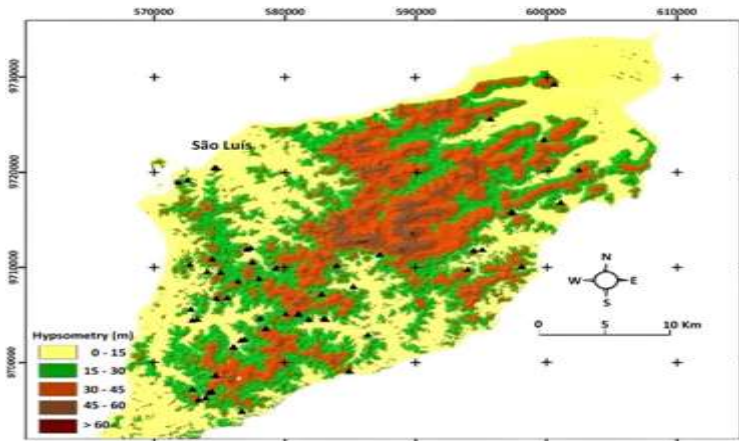


Figure 3 - Hypsometric map of the study area indicating the elevation zones and the locations of others ferruginous laterite deposits (black triangles).

5.3 REMOTE SENSING

In the analysis and processing of images, remote sensing was adopted through Landsat images, with a view to mineral exploration, which has been successfully used by several researchers, OLIVEIRA (2019). In this sense, the aim of this work was to determine the areas with the greatest potential for the occurrence of ferruginous laterites, based on the digital processing of LANDSAT 5 -TM images, using

ENVI 5.0 and Arc Gis 9.3 applications. For that, a technique based on a variant of transformation by principal components CROSTA & MOORE (1989) was used.

Fig. 4 below is an R7G4B3 false color composite commonly used in geology, which is intended to support the interpretation of the principal components. It is possible to observe the following features: i) vegetation in green, especially close to water courses; ii) water bodies in blue or black; iii) exposed soil and urban areas in magenta or reddish tones; and iv) agricultural areas or pastures in yellowish tones. Based on the method used in this work, the most favorable areas for the identification of laterites are those where vegetation cover is absent or incipient. These areas occur preferably the vicinity of São Luis city and, generally, as small discontinuous tracts.

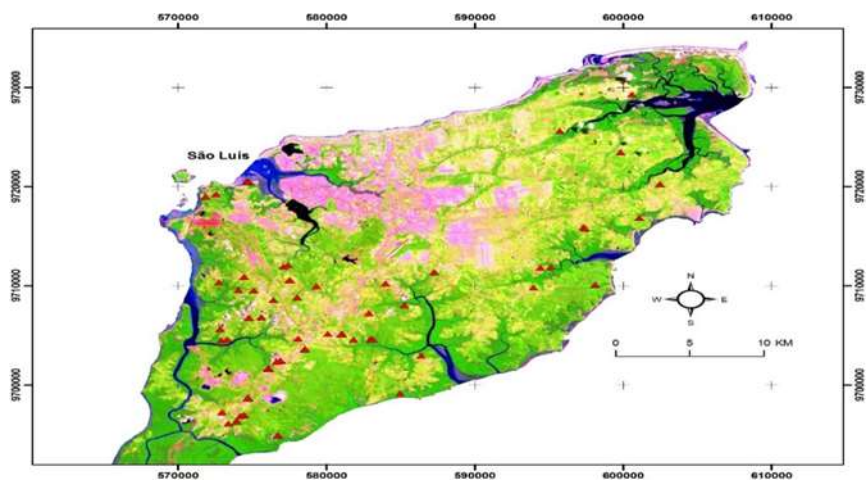


Figure 4 - Colored composition 7R4G3B highlighted, indicating the points/ deposits/mines where ferruginous laterites occur (red triangles).

5.4 PETROGRAPHY

The results presented below refer to petrography with polarized and reflected light, developed according to the current methodology. It was also used to designate the scientific names of the lateritic rock types on the island of São Luís do Maranhão. Therefore, the following rock types and their respective popular names were identified in the following terms:

5.4.1 - MEDIUM GRAINED FERRUGINOUS SANDSTONE (LOCAL NAME: GRAN FINA PRETA – BLACK THIN GRAN): SAMPLE 1- (ABNT-NBR-7389 – MICROSCOPIC ANALYSIS OF PETROGRAPHIC POLARIZED LIGHT TEST METHOD)

This petrographics types consists of common quartz grains, undulating extinction, and a polycrystalline texture with a particle size ranging from coarse to very fine, with medium sand as the modal value and

no gravel. Sorting ranges from moderate to good, and subangular rounding is common, but well-rounded, high-sphericity grains are dominant. The cement has a hematite and limonite composition with a grayish black color. Fig. 5 shows a photomicrograph obtained via a polarized light microscope illustrating the interaction between the rocky matrix and the rock cement.

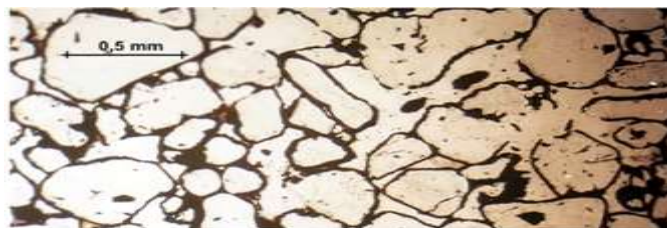


Figure 5 - Photomicrograph of the medium-grained ferruginous sandstone and matrix/cement mixture, which has a medium sand size as the modal value, moderate to good sorting and high-sphericity grains with ferruginous cement containing goethite, hematite and limonite.

5.4.2 FINE-GRAINED FERRUGINOUS SANDSTONE (LOCAL NAME: GRAN FINA MARRON): SAMPLE 2 - (ABNT-NBR-7389 – MICROSCOPIC ANALYSIS OF PETROGRAPHIC POLARIZED LIGHT TEST METHOD)

This petrographic type consists of common and undulating grains of quartz, and the presence of gneiss fragments is very rare. The particle size ranges from medium to very fine sand, and the sample has very fine sand as the modal value with no gravel. The grains are moderately to well-rounded but also contain dominant angular grains with high sphericity, and the cement has a hematite and limonite composition. Fig. 6 shows a photomicrograph obtained from a polarized light microscope illustrating the interaction between the rock matrix and the rock cement. The ferruginous cement of this rock is much lighter and indicates a greater hydration of the cement binder of the quartz grains.

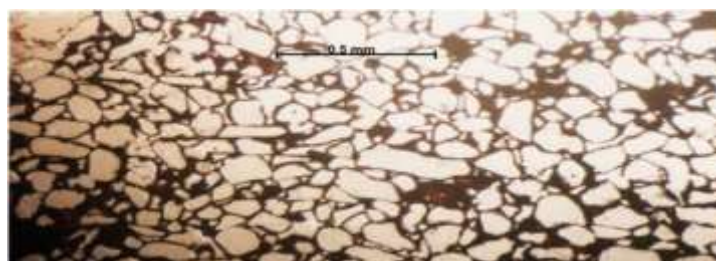


Figure 6 - Photomicrograph of the fine-grained ferruginous sandstone and matrix/cement ratio. The sample presents a fine sand size as the modal value with subangular, high-sphericity grains and includes ferruginous hematite, goethite, and limonite cement.

5.4.3 FERRUGINOUS CONGLOMERATE (LOCAL NAME: PEDRA CAROÇO – CORES/LUMP STONE): SAMPLE 3 - (ABNT-NBR-7389 - MICROSCOPIC ANALYSIS OF PETROGRAPHIC POLARIZED LIGHT TEST METHOD)

This type consists of granule grains as the modal value and grain size extremes ranging from very large to very small pebbles containing gravel and sand totaling less than 5%. This sample has a polycrystalline quartz matrix that is common and undulating with the rare presence of potassium feldspar. Rounding is subangular to subrounded with high sphericity. The cement has a hematite and limonite composition and varied color from grayish black to dark brown to light brown due to the oxidation and hydration of the laterized horizon. Fig. 7,9,10,11 and 12 shows a photomicrograph of the ferruginous conglomerate illustrating the matrix/cement ratio. The rock presents granule grains as the modal value, high sphericity, and a ferruginous cement of hematite, goethite, and limonite. The thick cementation exerts an influence on the rock's resistance.

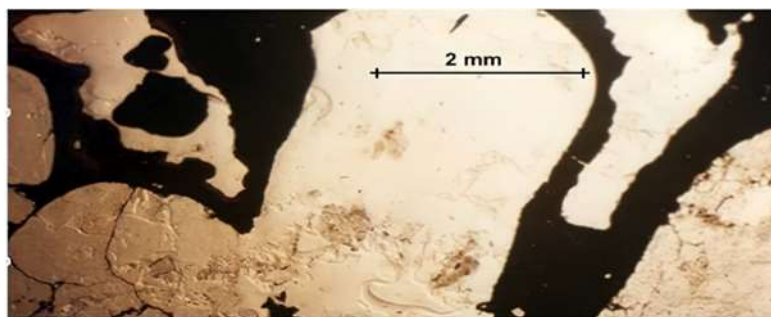


Figure 7 - Photomicrograph of the ferruginous conglomerate illustrating the matrix/cement ratio. The rock presents granule grains as the modal value, high sphericity, and a ferruginous cement of hematite, goethite, and limonite. The thick cementation exerts an influence on the rock's resistance.

5.4.4 - CLAY-SANDY SINTERED SILTSTONE (LOCAL NAME: PEDRA JACARÉ – ALLIGATOR STONE): SAMPLE 4 - (ABNT-NBR-7389 - MICROSCOPIC ANALYSIS OF PETROGRAPHIC POLARIZED TEST METHOD)

The texture of this petrographic type consists of very fine sand as the modal value and extremely fine sand and coarse silt. This sample is dominated by common quartz, and the rounding is subangular with low sphericity. The cement composition is hematite and limonite and has a grayish black color. Fig. 8 shows a photomicrograph obtained via a polarized light microscope illustrating the interaction between the rocky matrix and the rock cement.

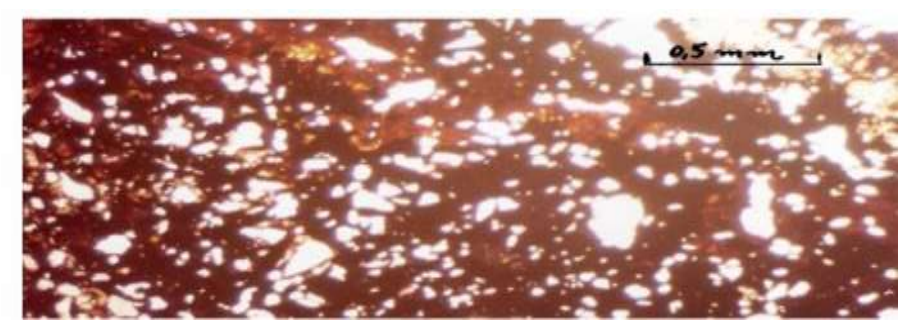


Figure 8 - Photomicrograph of the clay–sandy siltstone concretion with fine sand as the modal value, subangular and agglutination / cementation by the ferruginous minerals hematite, goethite and limonite, as well as kaolinite.

5.4.5 – DETAIL OF THE STRUCTURE OF THE LATERITIC FERRUGINOUS CONGLOMERATE

The rock shown in Fig. 9 has a white scale and thus giving an idea of the proportionality between the quartz matrix, the framework and the ferruginous cement. Sedimentary rock of the lateritic ferruginous conglomerate type, whose framework is constituted by a main clastic fraction of crystalline and milky quartz grains, being angular, with variable diameters from 0.6mm to 0.07mm, in whose photo the arrangement of the spatial distribution can be seen of grains with point contacts. The rock matrix is perfectly visible in the later figures and it is translated into a material made up of fine quartz particles agglutinated by a ferruginous cement, which together support the structural framework of the rock. Rock cement is made up of mineral oxides (hematite, goethite) being responsible for the physical mechanical strength of the rock, which makes it usable in the production of aggregate for use in Portland cement concrete conglomeratic rock, as well as cement, are subjected to a degradation of resistance in the face of differential weathering.

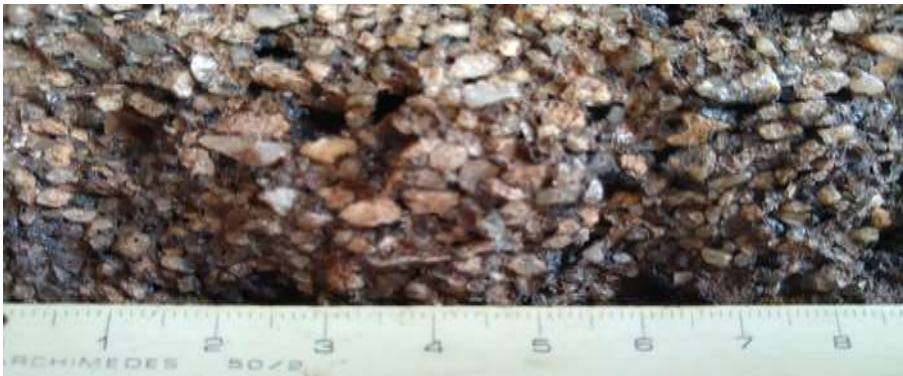


Figure 9 - Detail of the structure of the lateritic ferruginous conglomerate

5.4.6 - PHOTOMICROGRAPH USING A POLARIZED LIGHT MICROSCOPE

Displayed with crossed polarizers in which it highlights the structure of the quartz grains of the lateritic ferruginous conglomerate shown in the Fig.10 consisting of polycrystalline quartz grains and undulating extinction quartz with granule fractions as modal value, very thick ends and small pebbles and containing a lot of gravel, while sand represents less than 5%. The rock matrix is subangular and subrounded, high sphericity with light brown to dark brown cement, like hematite and limonite, and the presence of potassium feldspar and granite fragments is rare. Cement occurs in some points, as botryoidal goethite evolving in some points for crystallization of hematite. Note, also, that the larger quartz grains are microfractured, which reveals the susceptibility of the grain to be reduced to a smaller granulometry, when subjected to the crusher jaw forces and, consequently, revealing the ease of granulometry reduction.

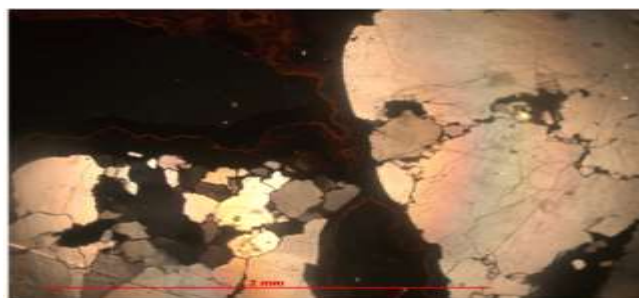


Figure 10 - Photomicrograph using a polarized light microscope.



Figure 11 - Photomicrograph referring to the lateritic ferruginous conglomerate with microscopic aspects obtained in light with parallel polarizers evidencing the interaction between the cementitious ferruginous oxides with the quartz matrix. Note that ferruginous cement encompasses very fine particles of quartz fractions. Detail of the red star in Fig.12.

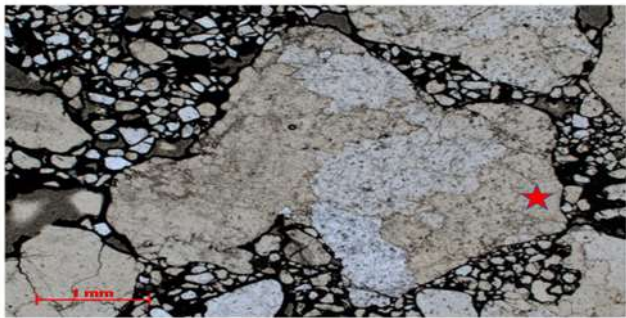


Figure 12 - Photomicrograph with polarized light showing detail of the lateritic ferruginous conglomerate previously shown. Here it is evident that the cement encompasses very fine particles of quartz fractions and thus establishing a greater area of contact between different materials, in this case, cement and matrix grains.

5.5 GRANULOMETRIC DISTRIBUTION

The result granulometric distribution is especially important with respect to the “Fuller” curve theory, Fig. 13. In this figure it is possible to observe differences between the granulometric curves related to the different types of rock. Adding or removing materials allows increases the resistance of concrete utilizing fixed parts corrected in the theoretical curve of "Fuller".

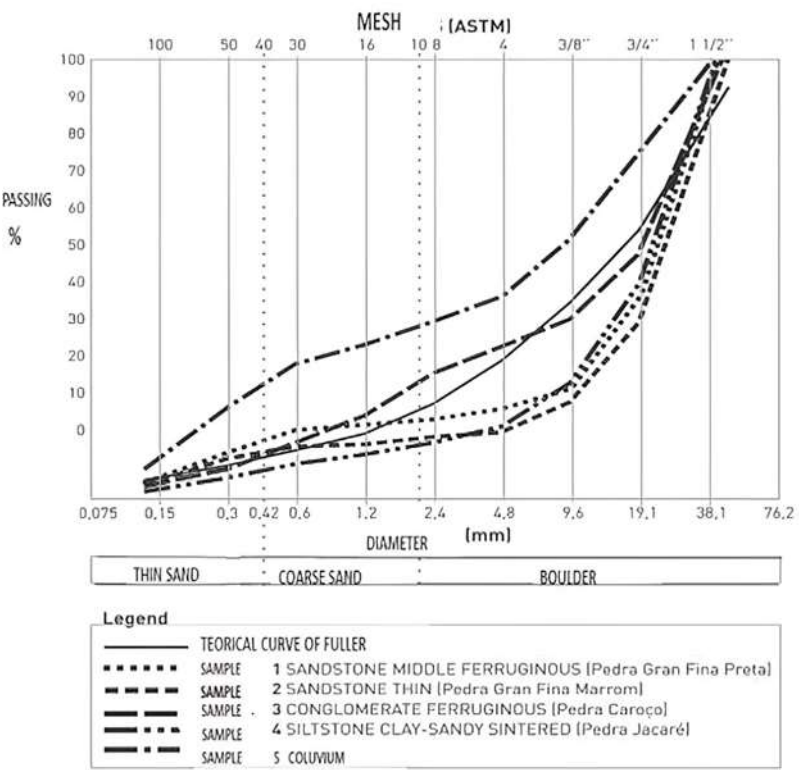


Figure 13 - Granulometric curves of the petrographic types and Fuller curve theory (ABNT-MB 7-specification).

5.6 QUANTITATIVE CHEMICAL AND ANALYSES OF THE ROCK TYPES (DNER-ME-30-74 – TEST METHOD)

According to (DNER-ME- 30 -74), the results of the quantitative chemical analysis are shown in Fig.14. Special emphasis may be given to the iron oxide content found in all sample.

ELEMENTS TYPES OXIDES PERCENTAGES	SANDSTONES THIN FERRUGINOUS (GRAN FINA MARROM) SAMPLE 2	SANDSTONE MIDDLE FERRUGINOUS (GRAN FINA PRETA) SAMPLE 1	SILTSTONE CLAY-SANDY SINTERED (PEDRA JACARÉ) SAMPLE 4	CONGLOMERATE FERRUGINOUS (PEDRA CAROÇO) SAMPLE 3
%Al ₂ O ₃	3.2	4.7	16.1	2.6
%MnO ₂	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
%Fe ₂ O ₃	73.0	45.6	46.7	75.6
%FeO	0.17	0.18	0.09	0.08
%SiO ₂	16.0	43.1	23.9	8.8
%CaO	0.06	0.07	<0.05	<0.05
%MgO	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

Figure 14 - Oxide percentages of seven chemical elements (DNER-ME-30-74 - Specification).

5.7 CEMENT USED IN THE MOLDING OF TEST PIECES (ABNT-NBR-00 572 – CHEMICAL ANALYSIS OF PORTLAND CEMENT

To prepare the concrete specimens, we used cement CP-II-E-32 MPa - NBR 11578, manufactured in the city of Codó, Maranhão, Brazil which was new and free from the effects of hydration. Its chemical properties are available on the factory website www.nassau.com.br.

5.8 SUMMARY OF TECHNOLOGICAL TESTS FOR THE AGGREGATES (IPT - M - 47, 49, 50, 52, 53, - TEST METHOD) - (ABNT - MB - 170 - TEST METHOD) - (DNER - DPT -M 89 - 44 - TEST METHOD)

The determination of the specific mass dry apparent, specific mass saturated apparent, apparent porosity water absorption, tenacity, crushing test, absorption test, simple axial compression rupture and sanity are in Fig. 15.

Lithology of Petrografic Type	SANDSTONE MIDDLE FERRUGINOUS (GRAN FINA PRETA) SAMPLE 1	SANDSTONES THIN FERRUGINOUS (GRAN FINA MARROM) SAMPLE 2	CONGLOMERATE FERRUGINOUS (PEDRA CAROÇO) SAMPLE 3	SILTSTONE CLAY-SANDY SINTERED (PEDRA JACARÉ) SAMPLE 4	Methodology Use
TYPES OF TESTING	MEAN VALUES OF THE RESULTS				
Specific Mass Dry Apparent (g/cm³)	2.37	2.54	2.57	2.60	IPT-M-47
Specific Mass Dry Saturated Apparent (g/cm³)	2.55	2.61	2.67	2.70	IPT-M-47
Apparent Porosity (%)	18.2	6.8	9.4	10.7	IPT-M-47
Water Absorption (%)	7.7	2.7	3.6	4.1	IPT-M-47
Toughness – Tenacity (Tretón impact) (%)	66	52	64	28	IPT-M-52
Crushing Test (%)	*	41	49	29	IPT-M-53
Abrasion Test Los Angeles (%)	83	90	80	40	ABNT-MB-170
Simple Axial Compression rupture Tension - MPa	16	15	40	11	IPT-M-50
Shape of Fragments	Cubic	Cubic	Cubic	Cubic	IPT-M-49
Sanity: Sieve Mosh (1". 3/4" e 1/2". 3/8") (%)	*	2.45 e 2.23	2.53. e7.4	34.35 e 36.86	DNER-DPT-M-89-64

* (tests not performed)

Figure 15 - Summary of technological tests for the aggregates (IPT-M-47, 49, 50, 52, 53 Specifications) - (ABNT–MB–170 - Specification) - (DNER-DPT-M-89-64).

5.9 RESISTANCE TO SIMPLE COMPRESSION OF THE MOLDED PROOF FOR BODIES WITH DIFFERENT TRACES, 1:6 AND FACTOR A/C = 0.45 L/KG AND 0.50 L/KG OF CEMENT, TRACE 1:4 AND FACTOR A/C = 0.45 L/KG AND 0.50 L/KG OF CEMENT AND THE SLUMP TEST (ABNT–MB- 3 -37 – TEST METHOD) – (ABNT-MB-256 – TEST METHOD)

The Fig. 16 presents values of resistance to simple compression of the molded test for bodies with different traces

Lithological Type	TRACE	Factor A/C	RESIST. COMP. SIMPLES			SLUMP TEST (cm)	CONSUMPTION kg/m³
			AGE (DAYS)				
			COMPRESSIONS STRENGTH MPa				
Ferruginous Thin Sandstone	1:4	0.45	6.22	8.21	12.31	8.5	465.12
		0.50	4.81	9.90	12.06	9.0	454.55
(Sample 2)	1:6	0.45	5.94	11.32	17.41	8.0	467.28
		0.50	4.53	6.79	8.49	8.5	347.22
Sandstone Middle Sandstone	1:4	0.45	12.88	14.86	24.91	2.5	471.57
		0.50	12.40	13.30	15.43	4.5	460.71
(Sample 1)	1:6	0.45	7.64	12.17	15.08	0.5	355.87
		0.50	7.36	11.18	14.90	2.0	349.65
Siltstone Clay-Sandy sintered	1:4	0.45	14.15	16.98	18.12	1.5	476.19
		0.50	8.63	13.07	17.97	2.0	353.35
(Sample 4)	1:6	0.45	7.64	9.62	14.72	7.0	358.71
		0.50	6.79	8.21	11.32	7.0	353.35

Conglomerate Ferruginous (Sample 3)	1:4	0.45	20.38	22.65	33.97	5.0	478.46
		0.50	18.68	22.65	31.14	5.5	467.28
	1:6	0.45	18.26	29.16	34.25	1.0	362.31
		0.50	14.15	19.25	21.80	3.5	355.87

Figure 16 - Resistance to simple compression of the molded test for bodies with different traces, 1:6 and factor A/C =0.45 l/kg and 0.50 l/kg of cement, trace 1:4 and factor A/C = 0.45 l/kg and 0.50 l/kg of cement and the slump test (ABNT–MB- 3 -37 – Test Method) – (ABNT-MB-256 – Test Method).

The most important results come from simple compression resistance tests related to concrete shaped with the four rocky types defined in this study. Molded and broken with different rocky types reached the following maximum values of simple MPa compression resistance at 28 days of healing:

- Ferruginous Thin Sandstone - 17.41 MPa
- Ferruginous Middle Sandstone - 24.91 MPa
- Siltstone Clay Sandy Sintered - 18.12 MPa
- Ferruginous Conglomerate - 34.25 MPa

The results are presented here to be able to comment and discuss in a summary and ordered manner. Thus, we claim that concrete shaped with the aggregate or rocky type (aggregate) lateritic rust conglomerate has greater compression resistance when compared to other rocky types due to its rust cement being thicker between the grains. This results in greater individual aggregate cohesion as a particle. The aggregate of this rocky type also has greater resistance to simple axial compression - rupture voltage in (MPa), when individually tested with variable values of 35.7 to 40,0 MPa. Another factor that justifies the greatest resistance of the concrete using the rust conglomerate can be identified in Fig.13, where the granulometric curves obtained after the crushing of rocky types are drawn. It can be verified in Fig.13 that the granulometric curve referring to the rusty conglomerate is the most agreement with the Fuller theoretical curve. Therefore, it allows a concrete specimen having particles (aggregates) with a denser arrangement promoting greater resistance to the specimens when rehearsed and broken the simple axial compression. The other rocky types, according to their granulometric curves, have greater disagreement when compared to the “Fuller” theoretical curve, resulting in less resistance of the Portland cement concrete - shaped specimens.

Analyzing the results for the clay - sandy concretion siltstone shows that the disruptions are conditioned to the weaknesses of the planes that are not clumped together via laterization. This result explains the lower concrete strength for samples molded with this type of aggregate. It also appears that the medium-grained ferruginous sandstone has a higher resistance to breakage than the fine-grained ferruginous sandstone due to the cement being less hydrated and the grain contact surfaces being larger, providing greater internal friction. In addition, it is possible to conclude that, due to the

granulometric curve of the medium-grained sandstone being more concordant with the “Fuller” curve theory shown in Fig. 13 and having a higher “Los Angeles” porosity/absorption/abrasion than the fine-grained ferruginous sandstone, this type provides a granulometry closer to the “Fuller” curve theory and therefore offers a more compact concrete body with greater internal cohesion, i.e., a greater concrete resistance with a very dense matrix.

If the granulometric curves do not agree with the “Fuller” theoretical curve, the granulometric corrections may be made, removing and or adding granulometries in such a way as to coincide with the “Fuller” granulometric curve. In this way, the results of compression resistance will be higher.

6 CONCLUSION

The ferruginous conglomerate presented a value of 34,25 MPa as the maximum resistance to simple compression when molded in Portland cement concrete, with a 1:6 trace and at a water/cement ratio of 0.45, Fig. 16. This petrographic type ferruginous conglomerate Figs. 7,9,10,11 and 12, as an aggregate, presents better behavior for use in civil construction than the other petrographic types identified in this study, Figs 5,6 and 8.

The reason for this better behavior is that when the material is crushed, it provides a granulometric curve similar to that of the “Fuller” curve theory. In addition, the ferruginous conglomerate presents a thicker ferruginous cement with a greater contact surface between the grains and, therefore, a greater proportional resistance to the cohesive surface between the grains and the cement.

Of significant importance is the fact that the granulometric deficiencies presented by the other petrographic types, medium-grained ferruginous sandstone, fine-grained ferruginous and sandstone, clay – sandy sintered siltstone, can be perfectly corrected with granulometric additions from other petrographic types to have a granulometry close to the “Fuller” curve theory, Fig.13, resulting in a greater compressive strength for the molded concrete after such a correction.

The petrographic identification and technological characterization are both fundamentally necessary to using the stone material (lateritic aggregate) in a function concordant with its potential due to the variation in the results among each of the petrographic types.

The values of the simple compressive strength found in the tests carried out on samples from the surroundings of all petrographic types are in agreement with the values of the breaking resistance of the concrete specimens, except for the clay–sandy sintered siltstone, whose rupture is controlled by the fractions/portions not agglutinated via laterization.

The understanding of the stone material in São Luís, Maranhão, is very generic, and all the existing stone materials are identified as "black stone", which leads to an underutilization of these petrographic types according to the potential presented here for each individual type of lateritic aggregate.

The viability in the use of lateritic rock is notorious. First, because the lateritic rock of the site perfectly meets the technological requirements of material in construction to meet the population. Second, because the extraction of lateritic rock is easy to perform with manual tools, not requiring the use of explosives. Third, because the lateritic rock when exploited provides both the thick and thin fraction and thus avoiding the exploration of sand of the rivers. Fourth, because the use of crystalline rock in the local is obtained from a locality called Rosario, with exploration performed at 70 km by substantially the cost of the "crushed crystalline stone". Other factors exist, but on a minor scale that would require a specific financial economic study.

If the lateritic aggregates in this region are not rationally exploited based on a mining practice that considers the identification demonstrated in this study, then these aggregates will be exploited predatorily these construction materials will be exhausted.

Finally, it was concluded that the São Luís aggregate has good technological characteristics based on the results obtained by the laboratory tests, especially considering that the use of laterite has been an alternative in regions devoid of crystalline stone material (e.g., granite).

New world social paradigms have made governments give priority to stone materials in their infrastructure policies and, consequently, have made it necessary to discover new materials supported by technical and scientific knowledge that can participate in the production chain. In this aspect, the present study is of fundamental importance to Brazil and other countries worldwide.

7 REFERENCES

- ABNT MB 256. Associação brasileira de normas técnicas - Método Brasileiro - Procedimento para concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, 2007.
- ABNT MB 7. Associação brasileira de normas técnicas - Método Brasileiro – Procedimento para determinação da granulometria, 1972.
- ABNT NBR 00572. Associação brasileira de normas técnicas – Normas Brasileiras Reunidas – Procedimento para análise química do Cimento Portland, 1972.
- ABNT NBR 15577. Associação brasileira de normas técnicas – Normas Brasileiras Reunidas - Procedimento para determinação de “slump test”, 1988.
- ABNT NBR 5738. Associação brasileira de normas técnicas – Normas Brasileiras Reunidas - Procedimento para moldagem e rompimento dos corpos de prova, 2015.
- ABNT NBR 5739. Associação brasileira de normas técnicas - Normas Brasileiras Reunidas – Procedimento para análise de reação potencial aos álcalis do cimento, 2008.
- ABNT-NBR-7389. Associação brasileira de normas Técnicas – Normas Brasileiras Reunidas – Procedimento para análise de lâminas petrográficas luz polarizada e refletida, 2009.
- CHAGAS FILHO, M.B. 2005, ‘Estudos de agregados laterítico para utilização em concretos estruturais’ Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande.
- CPRM. Campanha de Pesquisa e Recursos Minerais do Brasil. ‘Mapa geológico: 80cm x 120cm na escala 1:250.000’, 2004.
- CRÓSTA & MOORE, J.M. 1989, Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: a prospecting case history in Greenstone belt terrain. In: Proceedings of the Seventh thematic conference on Remote Sensing for Exploration Geology. Proceedings, ERIM, Calgary, p. 1173-1187.
- DNER DPT M 89 64. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Procedimento para determinação de ensaio de ciclagem sanidade, 1972.
- DNER ME 30 - 73. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - Procedimento para determinação da relação sílica – sesquióxido, 1971.
- DNER-ME-30 -74. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - Procedimento para determinação quantitativa de sete elementos químicos, 1971.
- DOBEREINER, L. 1987, Geotecnia de arenitos brandos. Síntese de tese 08 da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, São Paulo, 32 p.
- Fábrica de cimento Nassau 2019, História, visto em 18 de março de 2019, <<https://www.nassau.com.br/>>.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas/SP (1967). Certificados 296.285, 4.564 e

276.931 referente a ensaios sobre material Pétreo da Barragem de Curuá-Una no Estado do Pará.

IPT-M-47. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo SP. Procedimento para determinação do ensaio de absorção d'água em %, 2005.

IPT-M-47. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo SP. Procedimento para determinação da massa específica aparente saturada em g/cm³, 2005.

IPT-M-47. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo SP. Procedimento para determinação da massa específica aparente seca em g/cm³, 2005.

IPT-M-47. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo SP. Procedimento para determinação da porosidade aparente, 2005.

IPT-M-49. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo SP. Procedimento para determinação do ensaio de índice de forma, 2005.

IPT-M-50 Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo SP. Procedimento para determinação da resistência à compressão simples axial em testemunho de sondagens, 2005.

IPT-M-52. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo SP. Procedimento para determinação do ensaio de tenacidade (impacto treton), 2005.

IPT-M-53. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo SP. Procedimento para determinação do ensaio de resistência ao esmagamento, 2005.

LIBÓRIO, J. B & FUTIDA, J. E. 2005, 'Utilização de agregado graúdo laterítico em concretos de elevado desempenho'. PIBIC/USO/CNPQ, Escola de Engenharia de São Carlos da USP, São Carlos, SP, Brasil.

MELFI, A.J. 1977, Lateritas e processos de laterização. Publicação 93/94. Escola de

Engenharia de São Carlos, Universidade de S. Paulo – USP, São Carlos, São Paulo.

NEVILLE, A.M. 2016, Propriedades do Concreto, Bookman Editora Ltda, Porto Alegre, Brasil, 887 p. 5a Edição.

OLIVEIRA, J.E. 2008, 'Comportamento geotecnológico de Lateritas de S. Luís (MA) e suas resistências no concreto de cimento Portland', Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

OLIVEIRA, J.E. 2019, 'Potencialidade do conglomerado ferruginoso laterítico da Ilha de São Luís do Maranhão utilizado no concreto de cimento Portland' Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

POMPEU NETO, B.B. 2006 'Um estudo sobre as propriedades de resistência mecânica de concreto laterítico'. Dissertação de Mestrado, UFP, Campina Grande, 91 p.

SOUZA, A.C. & FERRAZ, A.C. 1975, Algumas considerações sobre a possibilidade de utilização da laterita no Maranhão como agregado para Concretos. Trabalho de Pós Graduação referente a cadeira: Materiais de construção, EEUSP, São Carlos, 28 p.

KHAIRUNISA, M.; WAHIDA, N.K and KAMARUZAMAN, W. 2012, Assessment of Malaysian laterite aggregate in concrete -International Journal of Civil Engineering.

Capítulo 3



10.37423/230808114

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DAS ÁGUAS DE POÇOS DA CIDADE DE ARARUNA-PB, UTILIZADAS COMO ÁGUA DE AMASSAMENTO NA PRODUÇÃO LOCAL DE CONCRETO E ARGAMASSA.

Daniel Baracuy da Cunha Campos

Universidade Estadual da Paraíba

Jonatã Gomes de Souza

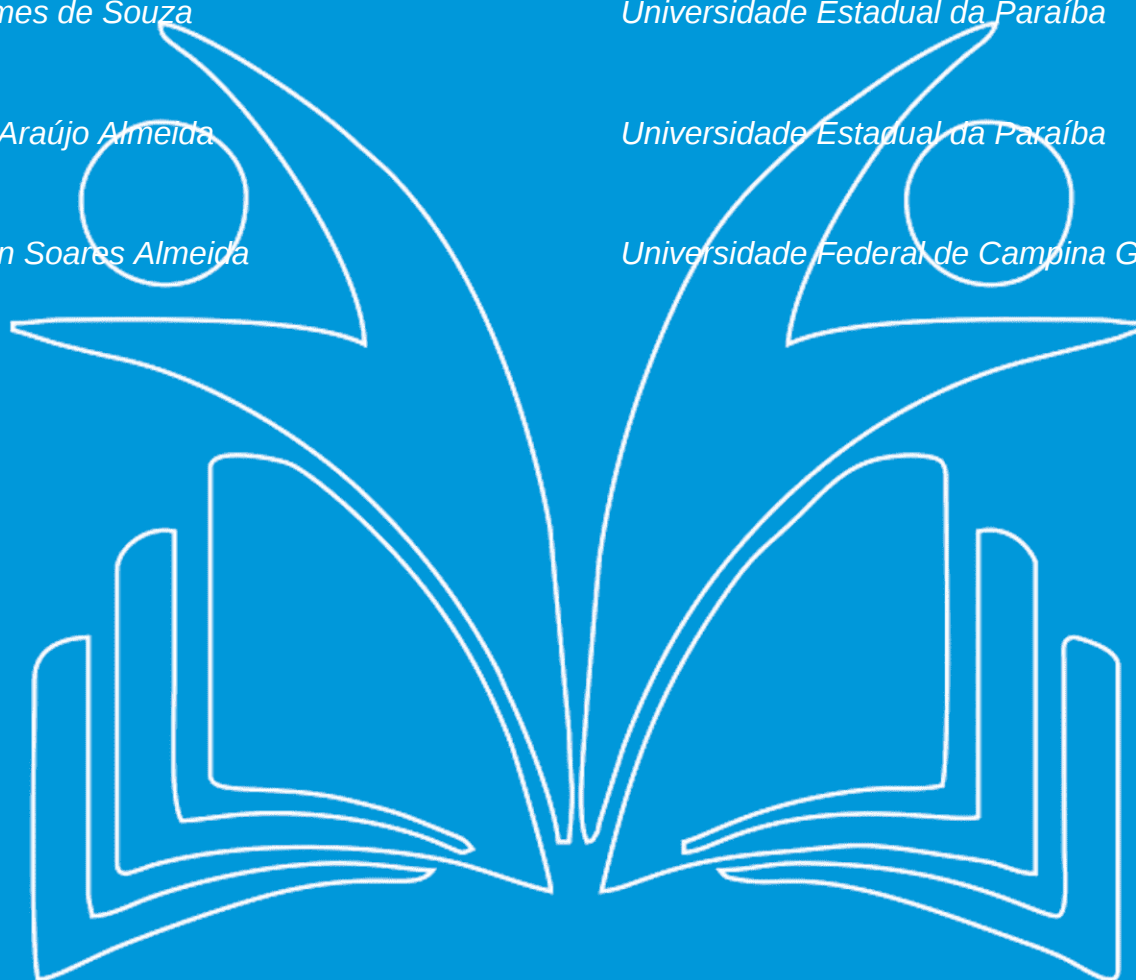
Universidade Estadual da Paraíba

Ana Paula Araújo Almeida

Universidade Estadual da Paraíba

Gabio Stalin Soares Almeida

Universidade Federal de Campina Grande



Resumo: A qualidade de concretos e argamassas está diretamente ligada à qualidade de seus materiais componentes, dentre eles, a água de amassamento. A água destinada à produção desses materiais não deve conter substâncias que possam vir a prejudicar as reações de hidratação do cimento, já que isto possibilita o surgimento de patologias que afetam diretamente na serventia, durabilidade e segurança das estruturas. Por este motivo, o trabalho teve como objetivo realizar a análise das condições das águas de poços da cidade de Araruna-PB, a fim de identificá-las, de acordo com as especificações da ABNT NBR 15900/2009, como adequadas ou não à produção local de concretos e argamassas. O estudo utilizou dos procedimentos de campo, laboratoriais e bibliográficos, através da coleta, análise e interpretação de dados sobre amostras de água de amassamento de três poços da cidade de Araruna-PB, para atingir seu objetivo. Foi realizada a análise físico-química das águas dos três poços freáticos, seguindo os procedimentos normativos prescritos na ABNT NBR 15900/2009, responsável por especificar os parâmetros necessários para a água ser considerada adequada ao preparo de concreto e argamassa. Além disso, foram produzidos corpos de prova de argamassa com traço 1:3 (cimento:areia) e relação a/c 0,48, de acordo com a ABNT NBR 7215/1996. Com o propósito de comparar os resultados para o ensaio de resistência à compressão, os corpos de prova foram produzidos utilizando-se água padrão (destilada) e água suspeita de três poços freáticos da cidade. Os ensaios físico-químicos das águas dos três poços freáticos analisados mostraram que todos os parâmetros examinados estavam com valores dentro dos limites exigidos por norma, com exceção do pH dos poços 1 e 2, que apresentaram valores de 4,0 e 4,6, respectivamente, quando o valor aceitável pela norma é de $\text{pH} \geq 5$. Para o ensaio de resistência à compressão, os corpos de prova produzidos com água destilada apresentaram resistência média à compressão aos 7 e 28 dias de cura de $13,49 \pm 1,29 \text{ MPa}$ e $20,04 \pm 2,98 \text{ MPa}$, respectivamente. Já os corpos de prova produzidos com água de poço apresentaram resistência média à compressão de $13,52 \pm 1,27 \text{ MPa}$ e $21,30 \pm 3,46 \text{ MPa}$, aos 7 e 28 dias. O texto normativo traz que a resistência média à compressão aos 7 e 28 dias dos corpos de prova preparados com a água suspeita deve alcançar pelo menos 90% da resistência média à compressão dos corpos de prova preparados com água destilada, isso quando algum dos parâmetros físico-químicos analisados não forem atendidos. Portanto, os resultados obtidos permitiram a verificação completa da viabilidade de utilização das águas de poços freáticos da cidade de Araruna-PB na produção local de concreto e argamassa, uma vez que os corpos de prova de argamassa produzidos com água de poço atenderam ao especificado pela ABNT NBR 15900/2009.

Palavras-Chaves: Concreto. Argamassa. Poços freáticos. Água de amassamento.

1 INTRODUÇÃO

Na construção civil a água é considerada como um dos insumos mais utilizados para os diversos serviços que englobam esse setor seja como componente constituinte de argamassas e concretos ou como ferramenta de limpeza, resfriamento e compactação de terrenos. A água de amassamento apresenta-se como um material fundamental nos diversos elementos construtivos presentes em uma obra, e influencia diretamente na qualidade e segurança da mesma.

Diante de sua importância, a água utilizada na produção de concretos e argamassas, que ganha o nome de água de amassamento, deve obedecer às prescrições das normas técnicas vigentes passando por avaliações de qualidade, de modo que seja utilizada na quantidade apropriada e esteja isenta de substâncias prejudiciais ao desempenho desses materiais. Para isso, é feito uso da norma ABNT NBR 15900-1/2009, que especifica os teores máximos de constituintes prejudiciais na água e orienta quais métodos se utiliza para a análise preliminar e química da mesma (LIMA, 2014).

Embora concretos e argamassas sejam os materiais construtivos mais consumidos do mundo, o conhecimento e a divulgação de práticas construtivas adequadas não acompanharam o crescimento de sua utilização no mercado da construção civil, consequentemente, as manifestações patológicas responsáveis pela degradação das estruturas construídas a partir destes, são frequentes e causam danos econômicos, ambientais e sociais, até mesmo irreversíveis. A deterioração do concreto e da argamassa resulta quase sempre da combinação de fatores externos e internos de processos químicos, físicos, mecânicos e biológicos, que alteram a capacidade dos materiais desempenharem suas funções preestabelecidas, afetando de modo direto na estética, conforto, segurança e durabilidade da obra. Manifestações patológicas como eflorescência, ataques por sulfatos, sais e ácidos, além das reações álcalis-agregado, são extremamente nocivas a esses materiais e estão diretamente relacionadas à qualidade da água de amassamento utilizada nos seus processos produtivos (LAPA, 2008).

Neste cenário, as águas de fontes subterrâneas que para utilização na produção de concretos e argamassas devem ser ensaiadas, acabam sendo utilizadas sem o conhecimento de quais prejudiciais substâncias estão influenciando na qualidade final desses produtos. A cidade de Araruna-PB utiliza água de poços como principal fonte de abastecimento e faz seu emprego em diversas atividades, dentre elas, a produção de concretos e argamassas. Assim, o presente trabalho objetiva analisar as condições das águas de poços da cidade de Araruna-PB de acordo com as especificações da NBR 15900/2009, a fim de identificá-las como adequadas ou não à produção local de concretos e argamassas, mostra-se imprescindível e de grande valia a construção civil, a comunidade científica e

principalmente a população ararunense, já que o tema possui pouco desenvolvimento científico atualmente e custa um valor quase sempre inacessível à população.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONCRETO E ARGAMASSA

O concreto é classificado como um compósito, ou seja, um material formado pela união de outros materiais, nos quais são eles: o aglomerante (cimento na presença de água), o agregado (areia, pedregulho, rocha britada, etc.) e aditivos (PEDROSO, 2009). Sua aplicação em larga escala se deve ao fato de possuir boa trabalhabilidade, durabilidade, economia e alta resistência mecânica. Já as argamassas são materiais de construção resultantes da mistura de um ou mais ligantes com agregado miúdo e água, podendo também conter aditivos. As argamassas possuem propriedades de aderência e endurecimento e é amplamente empregada em diversos sistemas construtivos, dentre eles, no assentamento de blocos, tijolos, azulejos, cerâmicas etc., no revestimento de paredes, pisos e tetos, e na impermeabilização e regularização de superfícies (MARGALHA, 2011). Almeida (2002) afirma que as propriedades de cada um dos materiais componentes do concreto e suas proporções exatas devem ser estudadas e analisadas, o que vale também para as argamassas, visto que esse material possui em sua composição os mesmos materiais do concreto, exceto o agregado graúdo.

Segundo Lapa (2008), embora o concreto apresente excelentes resultados de qualidade e desempenho, é importante serem adotados cuidados na elaboração deste material objetivando aumentar seu desempenho e sua vida útil, visto que a maioria dos materiais e componentes tem sua forma e qualidade de aplicação normatizada. “Entretanto, o sistema de controle tem-se mostrado bastante falho, e o método para a fiscalização e aceitação dos materiais normalmente não é aplicado, demonstrando a fragilidade e a má organização da indústria da construção” (SANTOS, 2014, p.16). Lima (2014) relata que em todo o mundo muitos dizem serem “conhecedores” de concreto, mas com as diversas condições e características que uma obra exige poucos não colocam em dúvida a qualidade final do material.

2.2 ÁGUA DE AMASSAMENTO

A água é considerada um bem essencial à vida humana e indispensável em quase todas as tarefas que o homem desempenha, seja na agricultura, na produção de energia, na navegação etc. Não existe construção civil sem água, sua utilização está em diversos processos e serviços construtivos, como na

produção de argamassas, concretos, tintas, tijolos, processo de cura e em diversos outros tipos de materiais e serviços.

Na produção de concreto e argamassa, a água representa uma parcela do volume da mistura e é responsável pelas reações de hidratação do cimento, permitindo a ligação entre os componentes do concreto e das argamassas e conferindo boa trabalhabilidade à mistura. Portanto, se a quantidade de água de amassamento empregada na mistura não for adequada, ou se a mesma contiver substâncias prejudiciais acima dos teores normatizados, as argamassas e os concretos terão seus comportamentos e propriedades alteradas (CIMENTO.ORG, 2010).

O teor de água no concreto e na argamassa é dado pelo fator água/cimento, ou seja, pela relação entre o peso da água e do cimento contidos nas misturas dos materiais, onde esta relação varia entre 0,45 e 0,65 dependendo do tipo e da aplicação desses produtos (ABNT, 2006). Caso haja um acréscimo de água na mistura, está apresentará melhor trabalhabilidade, contudo, haverá um aumento na porosidade e permeabilidade que contribuem para o aumento de retração e diminuição da resistência à compressão, fazendo com que a vida útil do elemento a ser construído com esses materiais diminua (COSTA, 2015). A relação água/cimento é tida como fator determinante na suscetibilidade do concreto ao ingresso de agentes externos, pois interferem na porosidade, permeabilidade e capacidade de absorção (HELENE, 1999).

No que concerne à composição física, química e microbiológica da água, as normas da ABNT estabelecem que a água de amassamento deve ser analisada caso não venha da rede pública de abastecimento (água potável). Tal fato é necessário visto que, quando superior aos limites impostos, substâncias prejudiciais dissolvidas e suspensas na água de amassamento podem afetar significativamente as reações de hidratação do cimento, comprometendo assim a qualidade final de concretos e argamassas. Contaminações na água de amassamento de concretos e argamassas tais como: cloretos, sulfatos, fosfatos, nitratos, álcalis, açúcares, chumbo e zinco, podem alterar significativamente o tempo de pega e a resistência à compressão desses materiais (ABNT NBR 15900-1, 2009). Além disso, Santos (2014) afirma que essas contaminações são causadoras de manifestações patológicas como corrosão das armaduras e eflorescência.

Dada à devida importância da influência das substâncias presentes na água, a ABNT 15900:2009 composta por 11 partes classifica os diversos tipos de água encontrados e especificam os requisitos, procedimentos de amostragem e os métodos de avaliação, necessários para caracterizar um determinado tipo de água como adequada na produção do concreto.

2.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

As patologias em concretos e argamassas comumente se manifestam após determinado tempo de concluída a obra, porém, as causas de tais problemas se encontram antes mesmo do início do processo de construção, seja com o desconhecimento da qualidade dos materiais, o uso de mão de obra desqualificada, a inexistência de controle de qualidade, entre outros (SANTOS, 2014). Diante disso, a água de amassamento está diretamente ligada à ocorrência de algumas manifestações patológicas do concreto, seja devido à utilização errônea da relação água/cimento, seja por causa da presença de substâncias lesivas ao seu desempenho.

2.3.1 RETRAÇÃO PLÁSTICA E HIDRÁULICA

A retração plástica, como o próprio nome diz, ocorre na fase plástica de concretos e argamassas sendo responsável pelo aumento da porosidade e o surgimento de trincas. Esse fenômeno é devido ao processo de exsudação, cujo material de maior densidade (agregado) tende a descer dentro da mistura, já a água em excesso, que não está sendo utilizada na reação de hidratação do cimento, decanta e posteriormente evapora fazendo com o concreto e/ou a argamassa retraia. A ocorrência desse problema patológico tem maior intensidade quanto maior for a relação água/cimento na mistura (FIGUEIREDO, 2016). A retração hidráulica, diferentemente da plástica, ocorre na fase endurecida desses materiais e é caracterizada pela diminuição do volume do material devido à remoção do excesso da água de amassamento. A água em excesso evapora quando o concreto e/ou a argamassa seca pelo contato com o ar, fazendo com que surjam fissuras e empenamento em suas estruturas (LAPA, 2008).

2.3.2 CORROSÃO DAS ARMADURAS DO CONCRETO ARMADO

O concreto é hoje o material construtivo mais utilizado do mundo, graças a sua capacidade de incorporação do ferro, entretanto, essa vantagem trás consigo um problema bastante comum, a corrosão. A armadura sofre o processo de corrosão quando o pH do concreto que envolve a ferragem possui caráter ácido devido a ação de íons cloretos além dos limites normatizados. Os cloretos podem estar presentes no concreto através da água de amassamento contaminada, trazendo problemas como a diminuição da aderência entre o aço e o concreto, ocorrência de fissurações por expansão da armadura e degradação da camada de concreto que envolve a armadura (SOUZA; RIPPER, 1998).

2.3.3 EFLORESCÊNCIA

As eflorescências são manchas de coloração geralmente branca que se desenvolvem na superfície de concretos e argamassas devido à migração e posterior evaporação de uma solução aquosa salinizada, fazendo com que sais se depositem nas superfícies desses materiais. Os sais que proporcionam esse fenômeno comumente são encontrados na própria água de amassamento e em águas contaminadas que ascendem do subsolo até o elemento de concreto e/ou argamassa, por capilaridade, causando perda de resistência e danos estéticos aos concretos e argamassas (MELO, 2011).

2.3.4 ATAQUE POR SULFATOS

Os sulfatos são substâncias que reagem com a pasta de cimento hidratada e podem apresentar manifestações patológicas na forma de expansão do concreto, promovendo tensões internas que culminam na fissuração do material. Tais substâncias que podem ser encontradas no cimento, nos agregados, e na própria água de amassamento dão origem ao fenômeno de ataque por sulfatos, que se apresenta altamente prejudicial ao concreto uma vez que promove a perda progressiva de resistência e massa do material, devido à deterioração dos produtos de hidratação do cimento (SANTOS, 2014).

2.3.5 REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO

A reação química que ocorre no interior da estrutura de concreto, envolvendo os hidróxidos alcalinos oriundos do cimento ou da água de amassamento com minerais reativos dos agregados, é denominada reação álcali-agregado. O resultado dessa reação é a formação de produtos que na presença de umidade se expandem, comprometendo a estrutura do concreto com fissuras e deslocamentos (FIGUEIREDO, 2016).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo do trabalho foi verificar a qualidade da água de amassamento oriunda de poços da cidade de Araruna-PB, a fim de caracterizar como viável ou não, aplicando-se os preceitos da ABNT NBR 15900/2009, o seu uso na produção local de concreto e argamassa.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Executar a análise físico-química da água de amassamento de três poços freáticos da cidade de Araruna-PB;
- Realizar ensaios de resistência a compressão simples de corpos de provas de argamassa produzidos com água destilada e com água proveniente de três poços freáticos da cidade de Araruna-PB, a fim de comparação dos resultados.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

De modo a obter os resultados esperados, a pesquisa fez uso de procedimentos de campo, laboratoriais e bibliográficos, através da coleta, análise e interpretação de dados sobre amostras de água de amassamento de poços da cidade de Araruna-PB, de acordo com os itens a seguir.

4.1 COLETA DE AMOSTRAS DE ENSAIO

Foram coletadas amostras de água suspeita de três poços freáticos, de acordo com a ABNT NBR 15900-2/2009, a fim de realizar a análise físico-química da água e os ensaios de resistência à compressão simples de argamassas. Os recipientes utilizados para a coleta foram garrafas plásticas, mas especificamente garrafas de Polietileno Tereftalato (PET) de 2 litros de capacidade, com tampa e perfeitamente limpas e enxaguadas com a mesma água que cada uma iria armazenar, como é apresentado na Figura 1.

Figura 1- Amostras de água suspeita



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

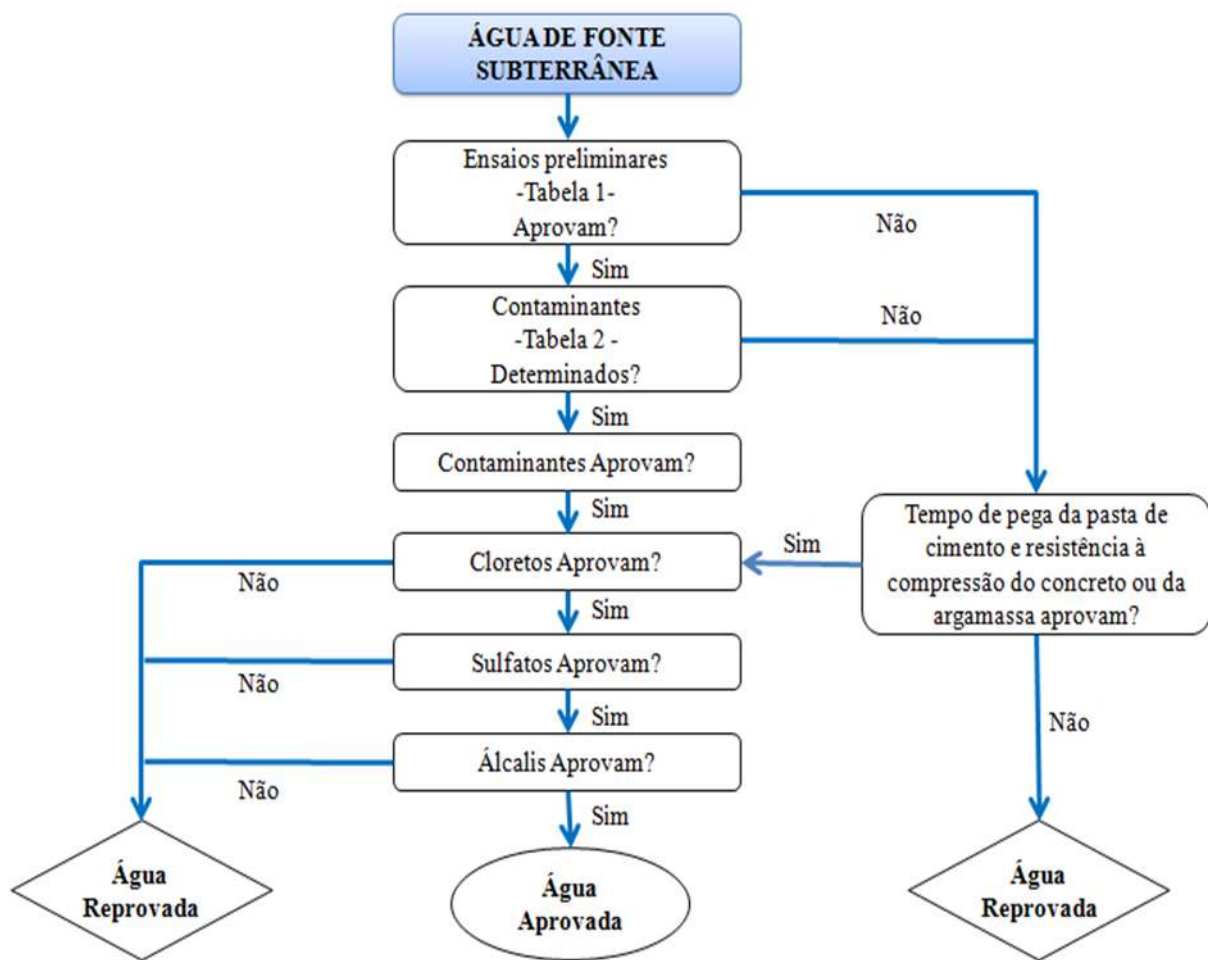
Em se tratando de águas subterrâneas, as amostras foram coletadas com o auxílio de bomba e somente após o fluxo de água que permitia a lavagem completa dos dutos.

A amostra de água destilada foi obtida realizando-se o processo de destilação da água fornecida pelo sistema de abastecimento de água da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), no laboratório de química do Campus VIII da Universidade Estadual da Paraíba.

4.2 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA DE AMASSAMENTO

As análises físico-químicas das amostras de água de suspeita, coletadas de acordo com 4.1, foram realizadas no Laboratório de Bioquímica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. O fluxograma da Figura 2 apresenta a sequência de ensaios que fornecem os subsídios necessários para a aceitação ou recusa de uma amostra de água para produção de concreto e argamassa.

Figura 2 - Fluxograma da sequência de ensaios necessários para aceitação ou recusa de uma amostra de água para produção de concreto ou argamassa



Fonte: Adaptado de NBR 15900 (ABNT, 2009).

A análise físico-química da água se inicia com os ensaios preliminares que analisam os parâmetros constantes na Tabela 1. Caso todos esses parâmetros obedçam aos valores normativos de referência, a próxima etapa é a análise de contaminantes (Tabela 2). Por outro lado, a água que não estiver de acordo com uma ou mais das exigências da Tabela 1 pode ser usada na produção de concreto e argamassa, apenas se os ensaios de tempo de pega da pasta de cimento e de resistência à compressão do concreto ou da argamassa obtiverem os valores exigidos por norma.

Tabela 1: Parâmetros e limites de referência para os ensaios preliminares

Parâmetro	Referência
Óleo e gorduras	Não mais que traços visíveis
Detergentes	Ausentes
Cor	Amarelo claro a incolor
Odor	Inodora
Matéria orgânica	Cor mais clara ou igual à solução padrão, após adição de NaOH
Material sólido	Máximo de 50 000 mg/L
Ácidos (pH)	≥ 5

Fonte: Adaptado de NBR 15900 (ABNT, 2009).

Tabela 2 - Contaminantes e seus teores máximos permitidos por norma em amostras de água suspeita

Parâmetro	Referência
Açúcares	≤ 100 mg/L
Fosfatos	≤ 100 mg/L
Nitratos	≤ 100 mg/L
Chumbo	≤ 100 mg/L
Zinco	≤ 100 mg/L

Fonte: Adaptado de NBR 15900 (ABNT, 2009).

Contaminações na água de amassamento do concreto por substâncias como açúcares, fosfatos, nitratos, chumbo e zinco podem alterar os tempos de pega e resistências à compressão do concreto e

da argamassa. Devido o fato da dificuldade de encontrar laboratórios capacitados para realizar a análise dos contaminantes prescritos na Tabela 2, preferiu-se por não realizá-los. Na ausência desses ensaios devem ser realizados os ensaios de tempo de pega da pasta de cimento e resistência à compressão do concreto ou da argamassa em amostras de referência (com água destilada) e paralelamente com a água em ensaio (água de poço freático).

Por fim, foi realizada a análise dos teores de cloretos, sulfatos e álcalis presentes nas amostras de água suspeita, cujos valores normativos de referência são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Limites de referência para cloretos, sulfatos e álcalis em amostras de água suspeita

Parâmetros	Referências
	≤ 500 mg/L para concreto protendido ou graute
Cloretos	$\leq 1\ 000$ mg/L para concreto armado
	$\leq 4\ 500$ mg/L para concreto simples (sem armadura)
Sulfatos	$\leq 2\ 000$ mg/L
Álcalis	$\leq 1\ 500$ mg/L

Fonte: Adaptado de NBR 15900 (ABNT, 2009).

4.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DE ARGAMASSAS

O texto normativo da ABNT NBR 15900/2009 afirma que o ensaio de resistência à compressão, para a análise da qualidade da água de amassamento, pode ser realizado tanto em corpos de prova de concreto quanto em corpos de prova de argamassa. A pesquisa realizou o ensaio de resistência à compressão de argamassas, uma vez que a aparelhagem necessária para o rompimento dos corpos de prova de concreto não estavam disponíveis no Laboratório de Materiais e Geotecnia da Universidade Estadual da Paraíba (Campus VIII), local onde foi realizado todo o ensaio seguindo os procedimentos experimentais dispostos abaixo.

De acordo com a ABNT NBR 15900/2009, a resistência média à compressão aos 7 dias e 28 dias de corpos-de-prova de concreto ou de argamassa, preparados com a água em ensaio (água de poço freático), deve alcançar pelo menos 90 % da resistência à compressão média de corpos-de-prova preparados com água destilada ou deionizada.

4.3.1 PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO - AREIA

A norma ABNT NBR 7215 que especifica os métodos de determinação da resistência à compressão de cimento Portland, prevê que a areia utilizada na preparação das argamassas deve atender às prescrições da ABNT NBR 7214. De acordo com essa referência normativa, o agregado miúdo deve ser a areia normal brasileira produzida pelo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), que possui características padronizadas quanto a sua quantidade de material pulverulento, umidade, conglomerados argilosos, feldspato, mica e matéria orgânica. A utilização de uma areia que não possui tais características pode alterar significativamente os resultados finais da resistência à compressão da argamassa.

O agregado miúdo que de fato foi utilizado no ensaio não foi a areia normal IPT, já que esta não era comercializada no mercado local da construção civil e também era inviável realizar sua compra devido o longo tempo de espera para o recebimento e o seu alto custo, já que a areia teria que ser comprada em quatro frações diferentes (grossa, média grossa, média fina e fina). Portanto, foi realizada a compra de outro tipo de areia disponível no mercado local.

A areia adquirida possuía cor escuro-avermelhada evidenciando que não se tratava de uma areia de rio, podendo ter sido obtida de cava ou barranco e assim possuir impurezas, como por exemplo, excesso de partículas finas (argila e silte) que podem causar danos à qualidade da argamassa. Por consequência, foi adotado o procedimento de lavagem da areia, onde se fez uso de uma peneira de abertura de 0,075 mm e água corrente para remoção de boa parte das impurezas, conforme apresenta a Figura 3.

Figura 3 - Lavagem da areia



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Após a lavagem o agregado miúdo foi seco em estufa a 105 °C até constância de massa. Através da Figura 4 pode-se comparar a areia antes e depois do procedimento de lavagem.

Figura 4 - Comparação da cor entre a areia lavada e a areia natural



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Com a preparação da areia concluída, foi realizada a sua caracterização tomando como base a ABNT NBR NM 248, que especifica os procedimentos necessários para se definir as características da areia utilizada. Dessa forma foi realizado o ensaio de caracterização granulométrica da areia da seguinte maneira: Primeiramente foram pesados aproximadamente 1000,00g da amostra, para que assim fosse transferida para a série normal de peneiras (4,8; 2,4; 1,6; 0,6; 0,3; 0,15; 0,075 mm), previamente limpas, onde se formou um único conjunto de peneiras, com abertura da malha em ordem crescente

da base para o topo. Posteriormente o conjunto foi agitado mecanicamente durante 20 minutos no agitador mecânico a 150 RPM, conforme apresenta a Figura 5.

Figura 5 - Peneiramento da areia para caracterização



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Terminado esse procedimento foram captadas as porcentagens de areia que ficaram retidas em cada peneira, dando possibilidade assim na determinação da granulometria média da areia, bem como determinar o seu módulo de finura e diâmetro máximo.

O módulo de finura corresponde a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras série normal, divida por 100, como está representado na Equação 1.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ acumulada}}{100} \tag{1}$$

E a partir do valor de (1), classificamos o agregado miúdo em fino, médio, grosso ou muito grosso conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação do agregado miúdo através do módulo de finura (MF)

Módulo de finura	Classificação
MF de 2,90 a 3,50	Zona utilizável superior
MF de 2,20 a 2,90	Zona ótima
MF de 1,55 a 2,20	Zona utilizável inferior

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2009).

A dimensão máxima do agregado corresponde à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

4.3.2 PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Depois de realizadas as etapas de coleta das amostras de água, preparação e caracterização da areia, foram produzidos corpos de prova de argamassa com quatro tipos de água de amassamento diferentes, ou seja, com água proveniente de três poços freáticos e água destilada. A preparação dos corpos de prova seguiu os preceitos da ABNT NBR 7215/1996, com argamassas compostas de uma parte de cimento CP-II-Z-32, três de areia (frações fina, média fina, média grossa e grossa) e com relação água/cimento de 0,48. O quantitativo de materiais utilizados na produção dos corpos de prova é apresentado na Tabela 5.

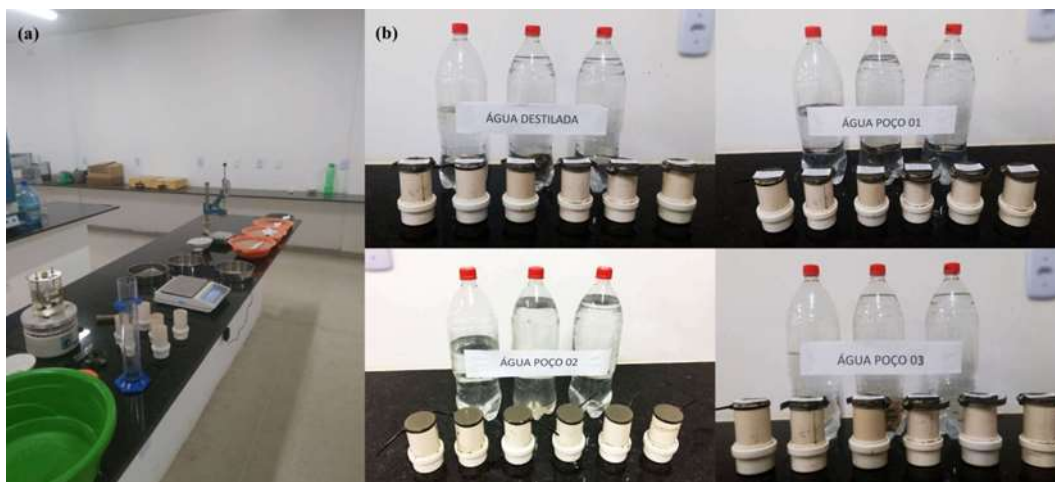
Tabela 5 - Quantitativos dos materiais para produção dos corpos de prova

Material	Massa para mistura (g)
Cimento Portland CP-II-Z-32	624 ± 0,4
Água	300 ± 0,2
Areia Normal	-
Fração Grossa	468 ± 0,3
Fração Média Grossa	468 ± 0,3
Fração Média Fina	468 ± 0,3
Fração Fina	468 ± 0,3

Fonte: NBR 7215 (ABNT, 1996).

Foram moldados 6 corpos de prova para cada tipo de água de amassamento em moldes de dimensões 50mmx100mm, como mostra a Figura 6. Após 24 horas nos moldes, os corpos de prova foram desmoldados e colocados em cura submersa em um depósito com água saturada de cal para a cura final até as datas de rupturas com 7 e 28 dias.

Figura 6 - (a) Produção dos corpos de prova de argamassa; (b) Corpos de prova de argamassa produzidos com diferentes águas de amassamento



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

4.3.3 ROMPIMENTO DOS CORPOS DE PROVA

As análises da resistência à compressão das argamassas foram realizadas em triplicata no 7º e 28º dia de cura dos corpos de prova. O rompimento se deu em uma prensa CBR ISC manual com anel dinamométrico, conforme apresenta a Figura 7.

Figura 7 - Rompimento dos corpos de prova



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

5 RESULTADOS

5.1 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA DE AMASSAMENTO

As amostras de água dos três poços freáticos foram ensaiadas de acordo com os procedimentos descritos no item 4.2. As Tabelas 6 e 7 apresentam os resultados obtidos na análise físico-química, com os parâmetros analisados e seus respectivos valores limites de referência.

Tabela 6- Resultados obtidos para os parâmetros dos ensaios preliminares e seus respectivos limites de referência

Parâmetro	Resultado			Referências
	Poço 1	Poço 2	Poço 3	
Óleo e gorduras	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Não mais que traços visíveis
Detergentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Cor	Incolor	Incolor	Incolor	Amarelo claro a incolor
Odor	Inodora	Inodora	Inodora	Inodora
Matéria orgânica	Incolor	Incolor	Incolor	Cor mais clara ou igual à solução padrão, após adição de NaOH
Material sólido	40,10 mg/L	48,50 mg/L	52,70 mg/L	Máximo de 50 000 mg/L
Ácidos (pH)	4,00	4,60	5,70	≥ 5

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Tabela 7 - Limites de referência para cloretos, sulfatos e álcalis em amostras de água suspeita

Parâmetro	Resultados			Referências
	Poço 1	Poço 2	Poço 3	
				≤ 500 mg/L para concreto protendido ou graute
Cloretos	53,20	69,80	21,30	≤ 1 000 mg/L para concreto armado
				≤ 4 500 mg/L para concreto simples
Sulfatos	23,40	99,50	75,20	≤ 2 000 mg/L

Álcalis	201,70	345,00	284,10	$\leq 1\ 500\ \text{mg/L}$
----------------	--------	--------	--------	----------------------------

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Através da observação dos resultados obtidos nas Tabelas 6 e 7 é possível verificar que para todos os parâmetros físico-químicos analisados apenas o pH dos Poços 1 e 2 apresentou um valor diferente do limite de referência que é $\text{pH} > 5$. O resultado de pH igual a 4,0 e 4,6 revela que a água dos Poços Freáticos 1 e 2, respectivamente, possuem caráter ácido. Para Neville e Brooks (2013), uma água de amassamento ácida pode influenciar negativamente no tempo de pega de concreto e argamassas, já Romano (2004) afirma que o caráter ácido da água de amassamento além de retardar a pega pode diminuir a resistência a compressão desses produtos.

De acordo com as diretrizes propostas na ABNT NBR 15900-1/2009, caso algum desses parâmetros apresentarem resultados diferentes dos estabelecidos na norma, a água suspeita somente é considerada adequada para uso na produção de concreto e argamassa caso obedeça aos limites normativos de cloretos, sulfatos e álcalis, e, além disso, os ensaios de resistência à compressão das argamassas ou concreto e tempo de pega das pastas de cimento não destoem mais que 25% e 10%, respectivamente, dos resultados obtidos para esses ensaios feitos utilizando-se água destilada.

Neste caso, o ensaio de tempo de pega exigido por norma, não foi realizado pela falta de equipamentos no Laboratório de materiais e Geotecnia do Campus VIII da Universidade Estadual da Paraíba. Por outro lado, o ensaio de resistência à compressão foi realizado para argamassas e os resultados expostos no item 5.3 mostram que os corpos de provas produzidos utilizando-se água de poços alcançaram e até superaram satisfatoriamente a referência de 90% da resistência à compressão média dos corpos de prova preparados com água destilada.

5.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DE ARGAMASSAS

5.2.1 CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO - AREIA

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos através do procedimento de análise granulométrica da areia.

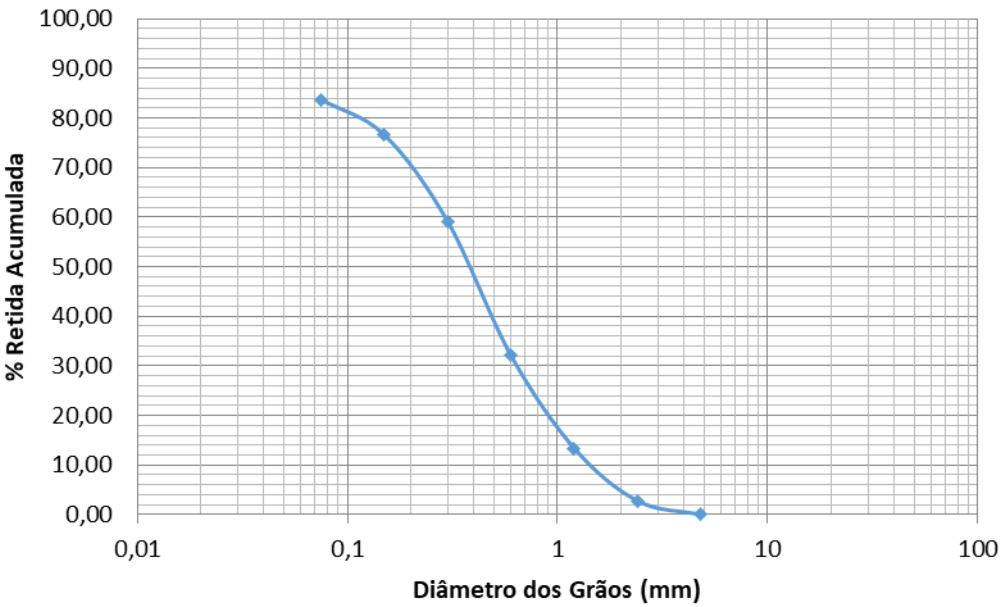
Tabela 8 - Análise granulométrica da areia

Peneiras [mm]	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada	% Passante
4,8	0,00	0,00	0,00	100,00
2,4	27,64	2,77	2,77	97,23
1,2	105,79	10,61	13,38	86,62
0,6	186,61	18,71	32,09	67,91
0,3	269,57	27,03	59,12	40,88
0,15	174,02	17,45	76,57	23,43
0,075	71,20	7,14	83,71	16,29
Fundo	162,50	16,29	100,00	-

Fonte: Adaptado de NBR NM 248 (ABNT, 2003).

O módulo de finura para a areia ensaiada foi de 2,6764, enquadrando-a na zona ótima de utilização de acordo com a Tabela 4. Já o diâmetro máximo da areia é de 2,4 mm. O Gráfico 1 apresenta a distribuição granulométrica da areia em estudo.

Gráfico 1 - Curva granulométrica da areia



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

5.2.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

As Tabelas 9 e 10 apresentam os resultados para o ensaio de resistência à compressão simples para os corpos de prova de argamassa produzidos com água destilada (padrão) e com a água de poço (suspeita), em função do tempo de cura.

Tabela 9 - Resistência à compressão ao 7º dia de cura

Corpo de prova	Resistência à compressão simples (MPa) – 7 dias			
	Água destilada	Poço 01	Poço 02	Poço 03
I	14,98	13,97	13,60	15,38
II	12,65	10,43	13,97	14,03
III	12,84	14,13	13,33	12,84
Resistência média à compressão (MPa)	13,49 ± 1,29	12,85 ± 2,09	13,63 ± 0,32	14,08 ± 1,27

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Tabela 10 - Resistência à compressão ao 28º dia de cura

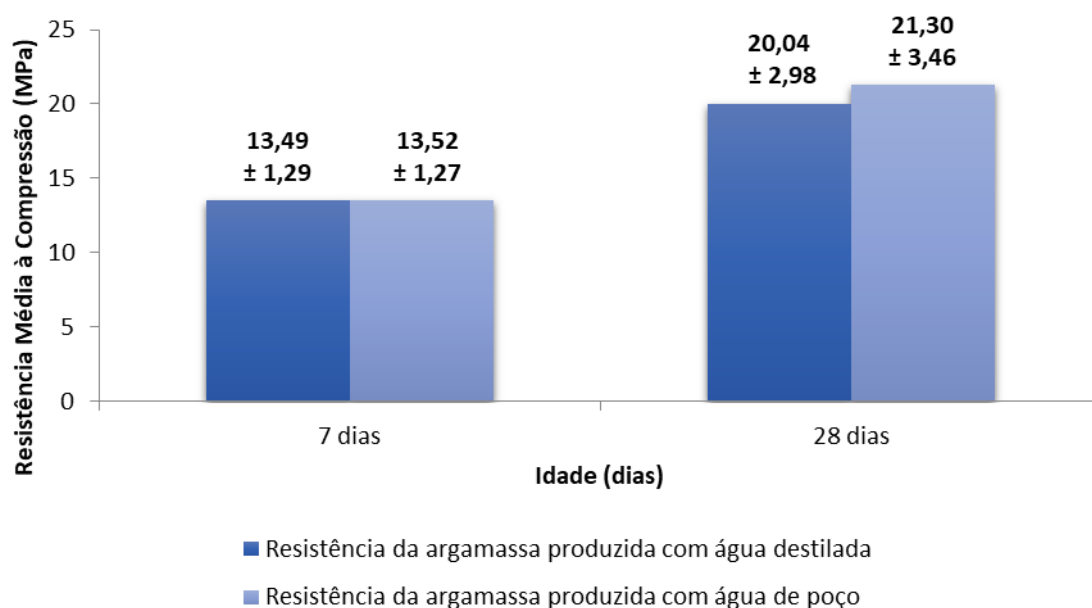
Corpo de prova	Resistência à compressão simples (MPa) – 28 dias			
	Água destilada	Poço 01	Poço 02	Poço 03
I	16,67	16,72	16,80	25,90
II	21,12	21,63	24,17	24,49
III	22,34	17,64	22,44	21,96
Resistência média à compressão (MPa)	20,04 ± 2,98	18,67 ± 2,61	21,14 ± 3,85	24,12 ± 2,00

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

As Tabelas 9 e 10 mostram que a maior parte dos corpos de prova que utilizaram como água de amassamento a água de poço, ultrapassaram favoravelmente a resistência à compressão dos corpos de prova produzidos com água destilada, tanto aos 7 dias de cura quanto aos 28 dias. A resistência à compressão média para os corpos de prova produzidos com a água dos três diferentes poços superou o limite normativo de 90 % da resistência média à compressão dos corpos de prova com água destilada, chegando ainda a apresentar o maior valor de resistência para o Corpo de Prova I do poço 03 com o resultado de 25,90 MPa aos 28 dias.

O Gráfico 2 apresenta uma análise comparativa entre os valores de resistência à compressão média para os corpos de provas produzidos com água destilada e água de poço.

Gráfico 2 - Resistência à compressão simples da argamassa (MPa)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

De acordo com o Gráfico 2, a argamassa produzida com água proveniente de poço freático da cidade de Araruna-PB, obteve um ganho de resistência à compressão de 0,22 % para a idade de 7 dias e de 6,29 % para idade de 28 dias, quando comparado com a argamassa produzida com água destilada. Borja (2017), que realizou o ensaio de resistência à compressão de corpos de prova de concreto produzidos com água de poço freático da cidade de Araruna-PB, obteve resultados ainda mais satisfatórios no que diz respeito ao ganho de resistência do concreto preparado com água de poço em relação ao preparado com água destilada. Neste caso, os ganhos de resistência foram de 35% para o 7º dia de cura e de 43,5% para o 28º dia.

Segundo Romano (2004), uma possível justificativa para esse ganho de resistência à compressão do concreto e da argamassa ao se utilizar a água de poço em seus processos produtivos, está na presença de substâncias em suspensão como silte e argila presentes em pequenas quantidades nas águas subterrâneas, que podem contribuir diretamente no aumento da compacidade da argamassa, contribuindo assim para o aumento de sua resistência à compressão.

6 CONCLUSÕES

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou a análise da viabilidade de utilização das águas de poços freáticos da cidade de ARARUNA-PB na produção de concreto e argamassa, através da obtenção de dados mais consistentes sobre os parâmetros exigidos nas referências normativas para a utilização

desse tipo de água como água de amassamento. De um modo geral, o ensaio físico-químico das águas de poços freáticos analisadas verificou que com exceção do pH dos Poços 1 e 2 com valores de 4,0 e 4,6, respectivamente, todos os parâmetros em análise obedeciam os limites normativos da ABNT NBR 15900/2008, por consequência do parâmetro não atendido, se fez necessário o resultado do ensaio de resistência à compressão simples para confirmar a viabilidade do uso desse tipo de água.

Para o ensaio de resistência à compressão, a argamassa produzida com água de poço apresentou resistência média à compressão de $13,52 \pm 1,27$ MPa e $21,30 \pm 3,46$ MPa aos 7 e 28 dias de cura, respectivamente, e a argamassa produzida com água destilada apresentou resistência média à compressão de $13,49 \pm 1,29$ MPa e $20,04 \pm 2,98$ MPa aos 7 e 28 dias de cura. Com base nesses resultados, as argamassas que utilizaram a água de poço como água de amassamento não só alcançaram 90% da resistência média à compressão da argamassa produzida com água destilada, exigido por norma, como tiveram um ganho de resistência de 0,22 % para a idade de 7 dias e de 6,29 % para idade de 28 dias.

Frente os resultados obtidos, o objetivo proposto nesta pesquisa foi atendido com êxito, no momento em que se utilizando dos procedimentos descritos na ABNT NBR 15900/2009, concluiu-se que a água subterrânea proveniente de poços freáticos da cidade de ARARUNA-PB, é adequada ao uso como água de amassamento na produção local de concreto e argamassa.

Por fim, de modo a garantir um maior controle da qualidade das águas subterrâneas, deve ser feito um monitoramento mensal da água do poço durante seu uso. Além disso, espera-se que os resultados obtidos estimulem a continuidade desta linha de pesquisa, sendo possível obter dados para um maior número de poços da cidade e/ou analisarem a viabilidade de utilização de água de amassamento proveniente de outros tipos de fontes, tais como: Água natural de superfície, água de captação pluvial, água residual industrial, água de esgoto tratado, água de reuso proveniente de estação de tratamento d esgoto e água recuperada de processos de preparação do concreto.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. C. Concreto. Notas de aula – Departamento de estruturas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, ago./2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15900: Água para amassamento do concreto. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 15900: Concreto - Água para amassamento do concreto parte 1: requisitos . Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 15900: Concreto - Água para amassamento do concreto parte 2: Coleta de amostras de ensaios. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento - procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7214: Areia normal para ensaio de cimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BORJA, R. T. F. Análise da viabilidade de produção de concreto com água de poço em região de escassez hídrica no curimataú oriental paraibano. 2017. 22 f. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual da Paraíba, 2017.

CIMENTO.ORG. Efeito da qualidade da água no concreto. 2010. Disponível em: <<http://cimento.org/efeito-da-qualidade-da-agua-no-concreto/>>. Acesso em: 25 de abril de 2017.

COSTA, H.N. Caracterização de areias de britagem de pedreiras da região metropolitana de Fortaleza e avaliação da sua aplicação no concreto. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil. Fortaleza, 2015.

FIGUEIREDO, A., et al. Considerações sobre a água como agente causador das manifestações patológicas em estruturas de concreto. In: Seminário de Patologia e Recuperação Estrutural, v. 1, n. 1, Recife. Resumos... Recife: Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, 2016. p. 13.

HELENE, Roberto do Lago. Vida útil das estruturas de concreto. In: International Conference on High-Performance Concrete and Performance AND Quality of Concrete Structures, Gramado, 1999.

LAPA, S. J. Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto. 2008. 56 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

LIMA, A. B. Análise das condições da água de amassamento utilizada no concreto produzido em obras da UFERSA, de acordo com as especificações da ABNT NBR 15900:2009. 2014. 64 f. Trabalho de

conclusão do curso de Engenharia Civil – Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2014.

MARGALHA, M. G. Argamassas. 2011. 32 f. Documento de apoio às aulas de conservação e recuperação do patrimônio - Universidade de Évora, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10174/4969>>.

MELO, A. C. A. Estudo das manifestações patológicas nas marquises de concreto armado do Recife. 2011. 215f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Pernambuco. Recife-PE, 2011.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J.. Tecnologia do Concreto. 2. ed. Porto Alegre, 2013.

PEDROSO, F. L. Concreto: as origens e evolução do material construtivo mais usado pelo homem. Revista IBRACON, São Paulo; n. 53, p. 14-19, jan./ fev./ mar. 2009.

ROMANO, C.. Apostila de tecnologia do concreto. Paraná, 2004.102 p.

SANTOS, C. F. Patologias de estruturas de concreto armado. 2014. 91 f. Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Civil – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

SOUZA, Vicente; RIPPER, Thomaz. Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto. 1. Ed. São Paulo: Pini, 1998. 257p.