



**Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2008 - RCC Symposium**
Setembro / 2008
ISBN
@ 2008 - IBRACON



Is RCC Sufficient?

Or should we use Soil-Cement as a Structural Element in Dam Constructions?

O CCR é Suficiente?

Ou Vamos Utilizar o Solo-Cimento como Elemento Estrutural na Construção de Barragens?

Francisco Rodrigues Andriolo

Engenheiro Civil- Andriolo Ito Engenharia Ltda

*Av. Dr. Paulo Pinheiro Werneck 850- Parque Santa Mônica
13561-235- São Carlos- SP- Brasil*

Tel: ++55 16 3307 6078 Fax: ++55 16 3307 5835

www.andriolo.com.br fandrio@attglobal.net

Abstract

The construction of Alpe Gera- *in Italy*- in the early 1960s and the citations by **Professor Jerome Raphael** in the early 1970s, during the Conferences in Asilomar, California-USA, were relevant in establishing the methodology for RCC. However the suggestions by **Professor Raphael** still deserve to be reflected on, providing additional benefits on the use of available materials, with a significant positive impact on cost reductions.

These complements are relevant to developing countries and/or large territorial countries where the transport of materials makes such components important with relation to costs.

Soil-Cement that is properly studied, known and controlled becomes a technical availability for the Engineering of dam constructions, which merits attention and its use is attractive. Initial studies conducted in Brazil in the early 1990s and currently developed in Japan, are important references for mastering and employing this material.

Throughout the text technical information is cited in addition to recommendations for its safe use with appreciable economic benefits.

Keywords: Soil-Cement, Clayey, Sandy, RCC, CVC, Upstream, Downstream Face; Properties, Watertightness, Durability

Resumo

A construção de Alpe Gera- *na Itália*- no início dos anos 60 e as citações do **Prof. Jerome Raphael** ao início dos anos 70, durante as *Conferências de Asilomar- Califórnia- USA*, foram relevantes no estabelecimento da Metodologia do CCR. Entretanto as sugestões do **Prof. Raphael** ainda merecem ser refletidas e proporcionar grandes, outros, benefícios quanto ao uso de materiais disponíveis, com significativo impacto favorável à redução de custos.

Essas complementações são relevantes para Países em desenvolvimento e/ou de dimensões territoriais onde o transporte de materiais torna componente impactante nos Custos.

O Solo-Cimento devidamente estudado, conhecido e controlado, torna-se uma disponibilidade técnica à Engenharia de construção de Barragens que merece atenção e que é atrativa para uso.

Estudos iniciais realizados no Brasil no início dos anos 90, e atualmente desenvolvidos no Japão, são referências importantes para o domínio e uso desse material.

No transcorrer do texto são citadas informações técnicas bem como recomendações para o uso seguro com vantagens econômicas apreciáveis

Palavra-Chave: Solo-Cimento, Argiloso, Arenoso, CCR, CVC, Montante, Jusante, Face, Propriedades, Estanqueidade, Durabilidade

1 Introduction

- **What is what?** Figures 01, to follow, shows 5 materials comprised of cement. Can they be easily identified?



Material A



Material B



Material C



Material D



Material E

Figure 01- Materials comprising a mixture of Cement with Different Maximum size Aggregates.

Since the reading of [01] [02] and [03], associated with the first RCC applications in Brazil [04] [05] and [06] this Author always sought to encourage the understanding and research the use of Soil-Cement as a structural element for the body of Dams.



In the early 1980 the interest by CESP (Governmental Agency for the Electric Industry) in the search for solutions to protect the embankments in dams in the **Pontal do Paranapanema**, due to lack of appropriate rock for that purpose, visited Projects in the United States, where Soil-Cement was used for the protection of embankments [07], which showed this material's potential as a structural alternative. At the time the RCC, in Brazil, underwent the setbacks cited in [04] and it had not yet been established as a practice for building Dams.

The applications made in the Construction Works of CESP-[08] and soon after in **Dique do Moju- Tucuruí** hydroelectric, by ELETRONORTE (Governmental Agency for the Electric Industry)[09 to 11] showed resistant properties, but, unfortunately, at the time, were characterized only to less than to 28 days of age.

In the early 1990s, already in the period in which the RCC dams in Brazil were emerging, the present Author suggested **CESP** to establish a preliminary research program viewing the Soil-Cement as a potential structural material for the construction of dams, whose Initial stage results showed to be spectacularly promising for the purpose^[12], the assessing ages from 28 days to 1 year. More recent studies attest to the quality of the material for such structural alternative.

The Japanese, recently adopted the "**C-S-G: Cemented Soil and Gravel**", which has been applied since 1991 in water tight caissons, such as in the Nagashima dam (about 30m tall) with a section of 0,6:1,0 (ascending) and 0,7:1,0 (downstream)^[13], with a cement content of 60kg/m³.

After the setback stage and the establishment of most of the RCC dams in Brazil, which has become consolidated itself as a co-leader in this type of construction, it has been suggested to Government Entities, and to Brazil's representative of Cement Manufacturers^[14] that alternatives be established with structural features for using such material for Dams.

Brazil's territorial vastness, its diversity and adversity, which are also observed in other countries, are potential opportunities for adopting this.

This Text seeks to create conditions for discussions on the matter and tries to guide and recommend suggestions as a basis for contemporary knowledge about the material, and the analogies that can safely be undertaken.

2 Issues Concerning the Needs

Premises /

There is no **single solution** for all Dams! Each site, each type of material available means adaptation! It means to have **Engineering!**



- There is no "single" type of Dam for one place!;
- There is a kind of arrangement that fits the location of a connection-advantage, which "best" fits the conditions of:
 - Moment (costs charged at the time);
 - Chronology;
 - Topographic and Geological conditions;
 - Availability of Materials;
 - Safety;
 - Knowledge (of the various parties involved)
- Then there is a kind of connection that is convenient to that construction work at that time.

The important point is that the involved professionals, Technical and Representative Communities and Project and Construction Companies, provide economic solutions that are safe-fast-beneficial to the interests of the Country and the Society!

At any rate, possible solutions should not be eliminated on account of limited and restricted individual matters, and especially due to infatuation or vanity!.

Premises II-

In Brazil the average height of all the dams built (hydroelectric, Supply Construction Works, Counter floods, etc. ...) is less than 50 (lets say 70 to be higher than the averaged high of the all RCC Dams being belt up to now in the World, that is around 60).

Considering the average height of 70m and a Gravity Dam, it can have Effective Stress (f_d) in the Dam body that are less than 2.0MPa (see table below). This leads to a Minimum Required Stress (f_{ck}) of a maximum 6.0MPa (for Usual Coefficients of 3), which in turn leads to the need for Average Strength in the Control to be obtained in the order of 7,0MPa. About 8.0MPa, for a more general context. For Concrete Dams (RCC or CVC Mass) there is a need for a Cementitious content of about 60 kg/m³.

Dam Height (m)	Upstream Face Slope	Downstream Face Slope	Effective Stress - CCN ^(a) (MPa)	Effective Stress CCE ^(b) (MPa)	Safety Factort	Minimum Required-Characteristic Strength(f_{ck})- (MPa)	Average Strength to be obtained (f_{cj}) ^(c) (MPa)	At the age (days)	Cementitious Contet (kg/m ³) ^(d)
70	Vertical	0,65	2,1	2,5	3,0	6,3	7,6	180	61
		0,70	1,8	2,2		5,4	6,5		52
		0,75	1,6	1,8		4,8	5,8		46
	0,10	0,65	2,4			7,2	8,7		70
		0,70	2,0			6,0	7,3		59
		0,75	1,8			5,4	6,5		52

Notes: **(a)** – Normal Loading Condition -Weight + Thrust

(b) –Exceptional Loading Condition -CCN + Seism (0.05 g)

(c) –Considering a Variation Coefficient of 20% and Quantile of 1 in 5 values below the f_{ck}

(d)– “Mix Efficiency” (MPa/cm²)/ (kg/m³) from 0,125 to the age of 180 days



**Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2008 - RCC Symposium**
Setembro / 2008
ISBN
@ 2008 - IBRACON



Considering Seismic effects (besides from $g_1=0.05g$ that is adopted in the Brazilian Codes) in other countries that Required Stress may vary a bit more, or the geometry of the Cross Section can be properly adjusted.

Premise III

It may be considered as a set of:

- Constructibility;
- Speed;
- Simplicity;
- Safety;
- Quality - Durability;
- Costs

Premise IV

Environmental Mitigation

3 Availability

The traditional availability of materials for the construction of Dams conceptualized by the Romans and Arabs led to Rocks and Soils.

The advent of cement as manufactured material without adhering to ancient aspects of constructions Cal - Pozzolan, prefaced Concrete. The methodologies and Engineering led to the most diverse associations for the construction of Dams. The Soil-Cement, properly studied, known and mastered, may be a new alternative in the scenario.

4 Knowledge

The vast availability of information about Soil-Cement, and the current facilities of the Media, enables the acquisition of knowledge on the subject, much more than was experienced in the 1970s and 80s!

4.1 References

The **ABCP** Entity (in Brazil), **Bureau of Reclamation, Corps of Engineers and Portland Cement Association** in the United States and in **Japan The Commission on Large Dams**, have vast literature on the subject that, although very useful, will not be mentioned in the text, for the sake of brevity.

However, this vast literature in its quasi totality, is limited to resistance data for the ages of 7 and 28 days. There is little information regarding elastic properties, and on virtually none



on thermal properties, the same for the meager results about permeability. In addition there are data on the erosion and conditions of "placed in service"

4.2 Laboratory Knowledge

Concerning the Laboratory researches, the studies conducted by the Laboratory of CESP at **Ilha Solteira** will be considered, due to the fact that assessments were made until the age of 365 days^[12] and whose results and citations are transcribed in this text:

"...3- CONCEPT

Constructive processes using cementitious soils are simple and economical. The equipment used for mixing, placement and compacting are well known. Construction technique follows procedures resulting in the application of pulverized soil mixes with the correct proportion of water and cementitious mix to allow maximum compacting. After mixing is prepared, the material is spread, compacted and cured. Fly Ash has been used with relative success in cementitious material-soil mixes, improving soil working conditions and characteristics. Almost all natural soils are acceptable for composition with cementitious material. Sandy types are preferred to clayey types for soil with cement mixes as these are more easily pulverized and require a lower cement content to attain the required strength and durability. For lime addition the best results are observed in clayey or medium clayish soils. For sandy or low plasticity soils, the addition of pozzolanic materials will help binder action.

Brazil's vast dimensions enhances great possibilities for development and application of this technology, not only because of the existing soils and diversity of materials available in its territory, but also because of the geographic location of cement and lime plants.

4- RESEARCH PROGRAM

The research program being developed at CESP's Civil Engineering Laboratory in Ilha Solteira-São Paulo-Brazil, tries to evaluate properties and behavior of soil and cement, soil and lime and soil, lime and pozzolanic material mixes so that these mixes can be used as alternative materials for dam construction replacing conventional concrete, rockfill and soil dams.

4.1- Materials

4.1.1- Soils

Three very different basic soil types were selected, namely:

- A = Sandy Soil, type A-2-4;
- B = Medium Soil, Silty, type A-4;
- C = Clayey, type A-7-6, with characteristics as shown in Figure 1.

SOIL		A	B	C	
CLASSIFICATION NBR		A - 2 - 4	A - 4	A - 7 - 6	
CLASSIFICATION IG		0	4	15	
pH		4,99	4,96	5,86	
LL - %		23	26	48	
LP - %		13	16	27	
IP - %		10	10	21	
ABSOLUTE SPECIFIC GRAVITY - g/cm ³		2,73	2,74	2,85	
% RETAINED ON SEPARATE SIZES	2,0 to 0,42 mm	MEDIUM SAND	10	2	4
	0,42 to 0,05 mm	FINE SAND	60	55	36
	0,05 to 0,005 mm	SILT	4	12	8
	< 0,005 mm	CLAY	26	31	52
OPTIMUM MOISTURE - %		10,5	12,8	20,5	
MAXIMUM DRY DENSITY - g/cm ³		2,008	1,914	1,697	

FIGURE 1- CHARACTERIZATION OF SOILS USED TO CARRY THESE STUDIES.

4.1.2- Agglomerates

The following materials characterized as shown in Figure 2 ,have been used:

- Portland cement
- Hydrated lime
- Pozzolanic material - (Fly Ash)

4.1.3- Mixes

Using appropriate routine techniques, mixes were prepared and a series of cylindrical test specimens (50mm)x(100mm), were molded for simple axial compression strength, splitting tests (diametric compression) and modulus of elasticity tests at ages of 3, 7, 28, 90, 180 and 360 days. Figure 3 shows the mixes studied and respective binder contents added to the soil mix.

Maximum densities and optimum humidity values were established for each mix through compacting tests with result values as shown in Figure 4.

The "pH" values for each mix were established at mechanical test ages.

MATERIAL		CEMENT	FLY ASH	LIME
% RETAINED ON SIEVE # 325		14	57,5	
FINENESS SPECIFIC SURFACE - BLAINE - cm ² /g		3154	2466	
AVERAGED DIAMETER - micron			11,6	
APPARENT SPECIFIC GRAVITY - g/cm ³		1,12		
ABSOLUT SPECIFIC GRAVITY - g/cm ³		3,15		
REACTIVITY WITH ALKALIES	REDUCTION OF EXPANSION - %		63,3	
	MORTAR EXPANSION - %		0,053	
POZZOLANIC ACTIVITY INDEX	WATER REQUIREMENT-%		106,3	
	WITH CEMENT - %		69,6	
	WITH LIME - MPa		3,5	3,5
WATER FOR FLOW	CONSISTENCY grams %	130 25,9		
DRYING SHRINKAGE - %			-0,016	
TIME OF SETTING h:m		02:19		
AUTOCLAVE EXPANSION - %		0,054		
COMPRESSIVE STRENGTH CYLINDERS 50x100mm	3 DAYS MPa	22		
	7 DAYS MPa	28,8		
	28 DAYS MPa	34,5		
	90 DAYS MPa	35,6		
HEAT HYDRATION	7 DAYS cal/g	89		
	28 DAYS	93		
MOISTURE - %			0,03	
CHEMICAL ANALYSIS %	LOSS ON IGNITION	3,54	0,071	28,61
	INSOLUBLE RESIDUE	0,33		1,7
	SiO ₂	19,85	56,36	
	Fe ₂ O ₃	3,57	6,08	
	Al ₂ O ₃	5,07	30,54	
	CaO	63,68	1,58	57,29
	Mg	1,42	0,26	11,61
	SO ₃	1,81	0,34	0,08
	Na ₂ O	0,1		
	K ₂ O	0,92		
	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃		36,62	0,62
	Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ +SiO ₂		92,98	
	ALKALIES Eq.	0,71	0,55	
	FREE LIME AS CaO	1,12		
	C ₃ S	56,23		
	C ₂ S	15,12		
	C ₃ A	9,21		
C ₄ AF	8,96			

FIGURE 2- PHYSICAL-CHEMICAL ANALYSIS FOR BINDERS USED

PROPORTIONING MIX	BINDER									
	CONTENT %					CONTENT - Kg/m ³				
SOIL+ CEMENT	2	4	6	8	10	32,3	64,2	94,7	125,8	155,8
SOIL + LIME	2	4	6	8	10	31,1	51,1	88,7	116	140,4
SOIL + LIME + FA	2 + 10	4 + 10	6 + 10	8 + 10	10 + 10	29 + 147	56 + 145	84 + 140	109 + 137	133 + 133
SOIL + LIME + FA	2 + 15	4 + 15	6 + 15	8 + 15	10 + 15	28 + 213	56 + 210	82 + 205	107 + 202	131 + 196
SOIL + LIME + FA	2 + 20	4 + 20	6 + 20	8 + 20	10 + 20	28 + 280	55 + 277	80 + 266	104 + 260	127 + 254

FIGURE 3- MIXES STUDIED AND CONTENTS OF BINDERS USED

	%	MAXIMUM DRY DENSITY-g/cm ³	OPTIMUM MOISTURE - %	MAXIMUM DRY DENSITY-g/cm ³	OPTIMUM MOISTURE - %	MAXIMUM DRY DENSITY-g/cm ³	OPTIMUM MOISTURE - %
CEMENT	2	1,986	10,7	1,852	13,1	1,68	20,6
	4	1,993	10,4	1,861	13	1,693	20,6
	6	1,99	10,6	1,864	12,9	1,698	19,7
	8	1,996	10,2	1,865	13,2	1,705	20,3
	10	2,008	10,2	1,868	12,5	1,717	19,7
LIME	2	1,94	11,5	1,824	12,7	1,68	20,7
	4	1,918	11,6	1,81	13,5	1,66	20,9
	6	1,914	11,7	1,811	13,9	1,65	21,1
	8	1,916	11,8	1,809	13,8	1,647	21
	10	1,886	12	1,789	14	1,644	21,5
LIME+10% FLY ASH	2	1,867	11,9	1,772	13,7	1,65	20,5
	4	1,865	11,9	1,768	13,7	1,655	20,8
	6	1,843	12,1	1,763	14,4	1,62	21,4
	8	1,84	12,6	1,747	14,4	1,634	20,8
	10	1,816	12,4	1,747	14,6	1,624	21,2
LIME+15% FLY ASH	2	1,822	12,4	1,744	14	1,634	20,3
	4	1,837	12,6	1,732	14,9	1,628	20,4
	6	1,821	12,7	1,73	14,7	1,621	20,7
	8	1,815	12,5	1,733	14,9	1,614	20,9
	10	1,798	12,6	1,718	15,2	1,613	21
LIME+20% FLY ASH	2	1,818	12,7	1,723	14,5	1,622	20,4
	4	1,804	12	1,714	14,4	1,611	20,8
	6	1,793	13,1	1,693	14,9	1,608	20,8
	8	1,787	13,3	1,697	15,5	1,604	21
	10	1,764	13	1,694	14,4	1,589	21,6

FIGURE 4- COMPACTION TESTS WITH NORMAL ENERGY ON MIXES STUDIED

4.3- Results of Mechanical Tests

Results for mechanical axial compression resistance tests are shown in charts of Figures 5, 6, and 7.

On this text it will be pay attention Just on the Sandy-Soil (type A-2-4)

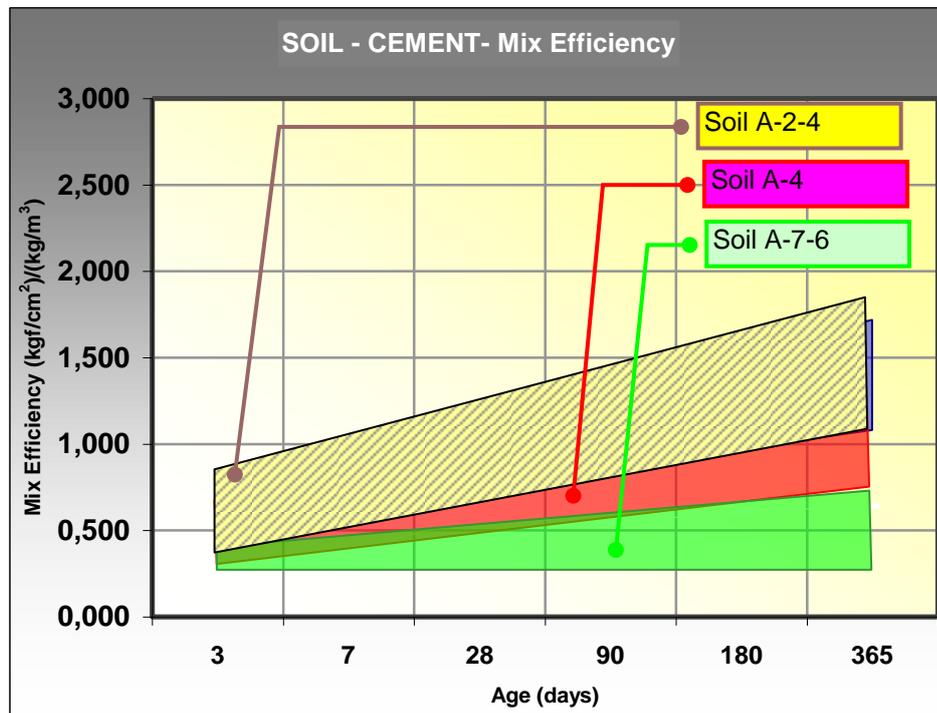


FIGURE 5- COMPRESSION RESISTANCE OF SANDY SOIL

5- COMMENTS

Soil samples are representative of three different types of materials. Test specimens were molded using Normal Compaction Energy showing densities within normal parameters for the types of soils under study.

Generally speaking, resistances have increased with age with soil and cement mixes displaying small dispersion for more or for less, between 180 and 360 days, due to differential development.

- Relatively large of 7 for 90/180 days and small for 180 to 360 days, this development being absorbed by tests dispersion itself.
- This behavior was observed also, in randomly manner, for silty soils with lime and sandy with lime, being less evident for Fly Ash and Lime mixes.
- This small development of resistances in soils with cement from 180 to 360 days of age, may be attributed to the high content of C_3S in the cement used, which enables quicker resistance development.

Soils "A" and "B", with greater sandy portions in their composition have resulted promising for mixing with binders. Soil "A" with 10% cement (155,8 Kg/m³) achieved a 18 MPa. strength at the age of 180 days. Soil "C", of clayey characteristics, showed results inferior to those of other two types of soils, and was not promising at all for mixes with Lime and Lime + Fly Ash.

The use of pozzolanic material resulted in greater resistances at old ages which increased when contents were incremented from 10% to 15%, becoming stable between 15% and 20%.

Mixes with soil "C" (clayey type) showed the lowest indexes for mechanical properties, while mixtures with soil "B" (silty type), reached intermediary ranges as expected. Therefore, it is ascertained that sandy and silty type soils are the most promising for this application. Mixes with cement resulted in greater resistances up to the age of 180 days and lime and pozzolanic material mixes had an expressive evolution from 28 to 360 days.

Mixes with 15% and 20% of Fly Ash and Lime, show resistance values nearer those for mixes with cement for soils type "A" and "B".

Although tensile strength values obtained through diametral compression and modulus of elasticity, are not indicated in this text, the following remarks apply to these properties:

- The relation between the tensile strength through diametral compression and simple axial compression has been about 10% with a variation coefficient of 15% in the global universe of test values, with no particular bias for any of the mixes under study;
- Modulus of elasticity remained between 60.000 Kgf/cm² and 100.000Kgf/cm² for soil and cement and soil and lime mixes, this property decreasing as the soil becomes more plastic (greater water content). This induces greater delayed elasticity which can be evidenced in the research supplementary phases and must be considered when dealing with very high structures.

6- DISCUSSIONS

The results of this first phase show very promising mechanical property values for certain mixes of great economical significance which depending on the place and project and foundation characteristics may serve as alternatives for conventional dams (RCC, Conventional Mixed Concrete, Compacted Soil, Rockfill)..."

4.3 Applications in Brazil

The occurrence of Sandy Soils and Alluviums with Sand and Gravel as well as Platform Gravel is relevant in Brazilian territory, as well as in regions of other countries.



Figures 02- Aspects of Sandy Material for potential use for Soil-Cement 1982

Such availability of material allows the development for dosing Soils (preferably Sandy, and far more of Alluviums) - Cement for the structuring of the bodies of dams. The availability of Sandy Soils in the Northeast and around the basins of Parana, Tocantins and San Francisco, is relevant [15].

4.4 Known Applications Abroad

Reference [16] cites various types of applications that have expanded since 1975:

4.4.1 Protection of Embankments

Based on laboratory studies that have shown a good resistance to erosion, the **U.S. Bureau of Reclamation** built, in 1951, a prototype for large-scale assessments in the Bonny Reservoir, west of Colorado. After 10 years of observation, with more than 100 cycles of snow-thaw per year, the **USBR** became convinced of the applicability of the material and from 1961 it specified the Soil-Cement as an alternative to rock blocks for the protection of embankments. And, since 1961, over 300 major embankment protections were performed in the United States and Canada.



Figure 03 – Aspects of the Embankments of the Martin Thermal Plant- Florida, during the visit with Professionals from CESP in 1981.

4.4.2 Canal Lining

The Soil-Cement has also been widely used as canal linings, due to its low permeability. Coefficients of permeability at around 10^{-9} m/sec., have been measured in Soil-Cements rationed with Fly Ash and Cal.

4.4.3 Stabilization of Foundations

The Soil-Cement has been used in massive sections to increase strength and to standardise the resistant capacity of foundations for large structures, such as bases for **Nuclear Reactor Plants (Koeberg - South Africa)**, and on **Dams (Cochiti - New Mexico; Richland Creek-Texas)**.

- Here is a question by Author:
 - ***If it is used to support reactors and dams, what reason could there be for not using it in the dam itself?***
 - *Only by the justification of unawareness!*

4.4.4- Diverse Applications

The Soil-Cement, has also been used as back-filling, as monolithic conections for reservoirs of cooling water of thermo-electric plants, deposits-tanks, diverse contentions.



5 Technical Availability

The technical expertise available is based (with the exception of the studies cited in [12 and 13]) basically, on studies of properties for Pavements and for the Protection of Embankments, aiming for results basically up to the age of 28 days.

At this point it is important to remember the quote by Levis H. Tuthill, during the Congress of Economical Construction Dam ^[17].

*“ ... It is noted that the full economy of such methods will not be fully realized in the first attempts to use them until all details, new conditions, and training problems are worked out on the first few such jobs. ’
Moreover, it is cautioned that the benefits of procedure such as described will not be obtained or reflected in future practice unless means can be found to present these possibilities to designers and agencies responsible for such dams in a manner that will be fully convincing and that will give them complete confidence that their design and performance objectives will be obtained...
...it should be noted that the economic benefit of any innovative procedure that may be regarded as less refined than usual in some aspects of methods and results are obtained only if engineers and agencies responsible for such results are convinced and assured of the essential sufficiency of a structure so built. In a way, we have been saying “Is this good enough?”, “Will that serve the purpose?”, when perhaps we should get further with less waste emotion if we asked and were answered, “What is good enough?”, “What is sufficient to serve the purpose?”. ..”*

5.3 Materials

5.3.1 Soils - Aggregates

Soil containing from 5% to 35% of fine aggregates lower than 0.075mm, low plasticity, produce more economical mixtures of Soil Cement. "Gravel-like" soils are even more economical. Finer soils require a higher cement content. The granulometric grades may be less restrictive than those usually used for concrete.

5.3.2 Cement

The use of Soil-Cement has thus been characterized, for using in almost its entirety, the Common-type Cements (ASTM Type I) or Moderate Hydrating Heat (ASTM Type II), because the uses have been to meet the requirements to ages of 7 or 28 days.

5.3.3 Pozzolanic Materials

Due to that cited in 5.3.2, the Pozzolanic Materials are little used in Soil-Cement, the studies by CESP ^[12], in the long term, show advantages in the development of properties with the use of pozzolanic material.

5.3.4 Admixtures

The chemical admixtures, in traditional applications that are part of the State of the Art of Soil-Cement, were practically not used.



5.3.5 Water

Water is necessary for the mixing of Soil-Cement, and the Sandy soils require from 7% to 10% of the soil mass o (145kg/m^3 a 220kg/m^3), and those with more clay can reach from 10% to 13 % (180kg/m^3 a 260kg/m^3).

6 Mix Proportion

6.1 General

The general requirements for soil-cement, in the usual applications, lead to a mixture that matches the resistance and durability (this measure through freezing-thawing cycles), and in cases of applications in permeability hydraulic construction works.

For the applications hereby suggested, the dosage should consider more than resistance (compression, tensile and shear) and permeability, the mitigation of the heat generation, volumetric stability, the elastic properties (Moduli and Creep) and thermal properties.

6.2 Routine for Mix Proportion

Numerous criteria have been used for the mix proportion of Soil-Cement, with the same concept adopted for RCC is applicable to Soil-Cement, given that there is much similarity.

6.3 Special Considerations

Some of the soil containing levels of organic matter, can alter the pH of the mixture and cause harmful effects, which needs special attention or control.

In the same way as for conventional concrete, and other mixtures composed of cement, the volumetric stability and health may be affected by the action of sulfates. More clay soils, which require higher levels of cement than the sandy ones can be more quickly affected by this action. The use of pozzolanic material in concrete is seen as a mitigating action.

The more sandy soils and/or "gravel-like", depending on the mineralogical constitution, may establish reactions with the Cement Alkalis, with subsequent expansions. These aspects call the need to understand the materials to be used.

7 Characteristics – Properties

7.1 Generalities

The properties of soil-cements are influenced and affected by different aspects, such as:

- Types and quantities of materials (Soil, Cement, Pozzolanic Material, Water and Admixtures if used);
- Uniformity of the mixture;
- Handling and Compaction;
- Protection and Cure;
- Development over age

A better understanding of the behavior of the Soil-Cement, as well as RCC, can be achieved with proper understanding of the implications, summarized in Figure 04 below.

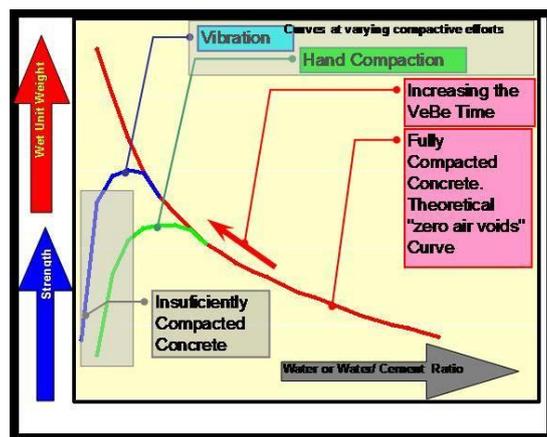
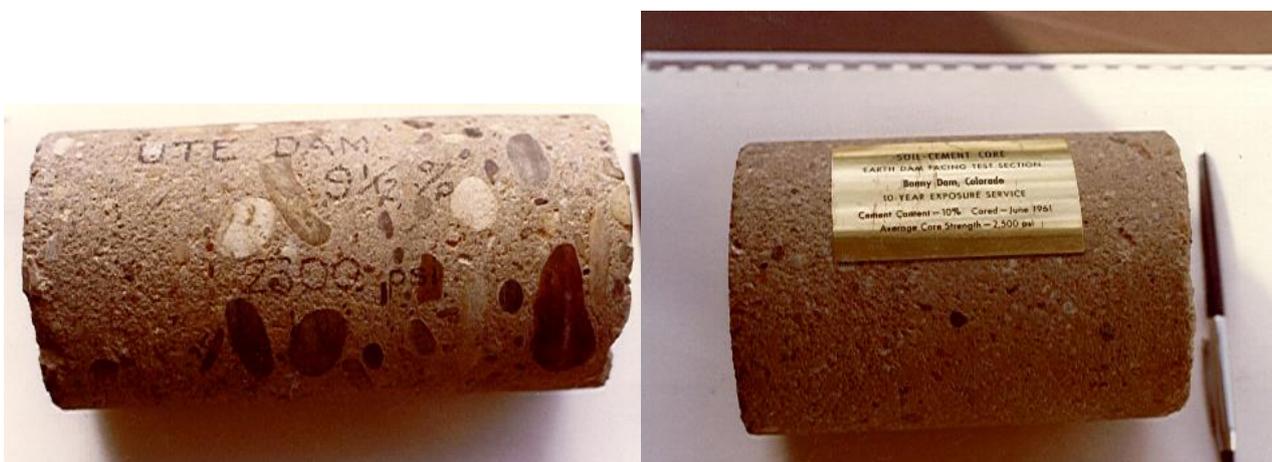


Figure 04- Aspects of Resistance Properties, dosages and compaction of mixed RCC and Soil Cement.

7.2 Parameters and Care

The following table summarizes, conceptually, the various properties of Soil-Cements of interest for use on Dams.



Figures 05- Cores extracted in 1961, of the Soil Cement (consumption of 10% of Common Cement) used in the Bonny-Colorado Dam, indicating a resistance of 17.6 MPa, 50 years after construction.



Properties	Comparative Performance of RCC and CVC Mass	Care and Eventual Actions
Specific Mass ^(a)	Values between 1.85 and 2.35 t/m ³ . These values are shown, at about 10 to 20% of the CVC and RCC concrete. It is affected by the level of water in the mixture. The specific weight stems from the type of Soil used. Sandy Soils lead to higher values (closer to 2.2), and the Clay ones to lower values. The higher the density the greater the resistance. It does not vary with age.	The Stability Analysis should include those figures for the establishment of Base (B) of the Dam and the downstream and upstream slopes. This may mean the need to increase the total volume of the Dam, almost at the same proportions of the reduced specific density. The longer the time between mixing and compaction, the lower the density and resistance. It does not vary with age
Workability and Consistency ^(a)	Similar to the RCC. Increased water content, lower VeBe.	Not very Relevant
Setting Time ^(b)	Commanded by the Cementitious content it will conduct similar to that of the concretes.	Relevant to the activities of material handling, before compaction.
Absorption ^(b)	Values between 4 and 8%. Affected by compaction	Not very Relevant.
Compressive Strength ^(a)	As the sand content increases, the Yield ^(c) increases, bringing the values of CRC and CCV closer. Similar behavior regarding the progression of the property over time. As the Agglomerated content increases, there is increasing Resistance. The water content increase, means reducing the resistance. The resistance increases with age. There is information that (Common)Soil (Clay)-Cement showed 20% of development over 30 years ^[18] .	In other words, the use of sandier materials, the presence of gravel, and use of pozzolanic materials, allows minimizing the level of the agglomerate.
Tensile Strength ^(a)	Similar behavior to that of concretes.	Same as compression. Similar to the RCC Methodology, the concerns about the Treatment of Construction Joints require measures to ensure the values required.
Shear Strength ^(b)	Cohesion is directly proportional to the level of agglomerate and the Coefficient of Friction is related to the influence of the Grains.	Same as Traction.
Modulus of Elasticity ^(a)	Similar to the Compression Resistance the Modulus of Elasticity is shown with values closer to the RCC, as the Soil is Sandy and with gravels. Soils on the clay side have lower values of Moduli. The Modulus of Elasticity increases with age, in an asymptotic manner.	The deformation of the Soil-Cement massive must be verified, which can lead to Contraction Joints of smaller spacing than those of Massive RCC.
Creep ^(b)	In view of the behavior of the module leads to induce that the Fluency is greater. The Creep decreases with age.	Same as the Moduli. There should be caution to minimize the occurrence of Cracks due to settlement.
Strain Capacity ^(b)	The higher level of smaller grains than the coarse aggregates induces the elongation capacity to be higher than that of the Concretes.	Relevant for evaluation and understanding of the thermal behavior
Autogenous Volume Changes ^(b)	They depend on the Cementitious content and the Water content. Due to higher water level in Soil-Cements than that of concrete, there is greater Drying Shrinkage	The Curing and Protection procedures must be required more substantially.

Coefficient of Thermal Expansion ^(b)	They depend on the mineralogical characteristics of the inert (soils) and the binding agent content. Furthermore, as the maximum size of mixture grains increases, there is a decline in pulp and therefore in the Coefficient of Thermal Expansion.	Relevant for evaluation and understanding of the thermal behavior.
Specific Heat ^(b)	Little influence from the components.	Not very Relevant.
Conductivity ^(b)	The same as the behavior of the Coefficient of Thermal Expansion.	Relevant for the evaluation and understanding of the thermal behavior of the structure.
Diffusivity ^(b)	The same as the Conductivity behavior.	Relevant for the evaluation and understanding of the thermal behavior of the structure.
Adiabatic Elevation of Temperature ^(b)	Directly affected by the amount of agglomerate.	Concerns similar to those of massive concrete.
Permeability ^(a)	The higher the amount of Fines, the lower the Permeability. There is concern because of a greater permeability in the direction of the Construction Joints.	The permeability of the material is low, but the constructive process in layers requires it to be established similar to the RCC constructions.
Soundness related to Sulfates and Alkalis	There is need for specific assessment of each available soil and the corresponding cement used.	It may require the use of inhibitor material, the pozzolanic-type material.

Notes ^(a): Known and Tested Properties;

^(b) Properties not yet tested and inferred from [19], and which deserve to be evaluated for the project;

^(c) Mix Efficiency means the quotient of the Resistance by the consumption of agglomerate (MPa/(kg/m³) or ([kgf/cm²]/[kg/m³])).



Figure 06 - Appearance of Cracks in the Soil Cement used for the embankment protection of the Martin Dam.

It is clear that knowing about the properties in the long term, provides additional benefits that can calibrate, even more, the optimization for the use of the material with favorable economic and technical implications. There is, then, the convenience and necessity for a

commitment in conducting tests that may increase such knowledge and consequently mastering the area for economic achievements.

8 Recommendations, Suggestions And Comments

In the same manner the author suggested in 1985 for Dams in RCC^[20], he takes the liberty to suggest, technically based, what follows for using in the Soil-Cement, which may be simplified to "**SandCrete**"!

8.1 Project Design

From the Characteristics and Care Table previously mentioned, the Author presents the following suggestions-Recommendations, which should be optimized as knowledge is broadened and confidence is established.

Figure 07 schematically shows a typical cross section of a Gravity Dam in RCC, predominantly used and that can be adapted for using Soil-Cement with the necessary considerations and suggestions that follow:

8.1.1 The size of the Base (**B**) and slopes of the Dams (**x** and **y**).

The size of the Base (**B**) is established in the inter-relationship of the Geomechanic Capacity support of the Foundation and the parameters of the Soil-Cement, such as: Density and Resistance. The inclinations "**x**" and "**y**" of the downstream and upstream embankments result from **B** to the Height of the Barrier.

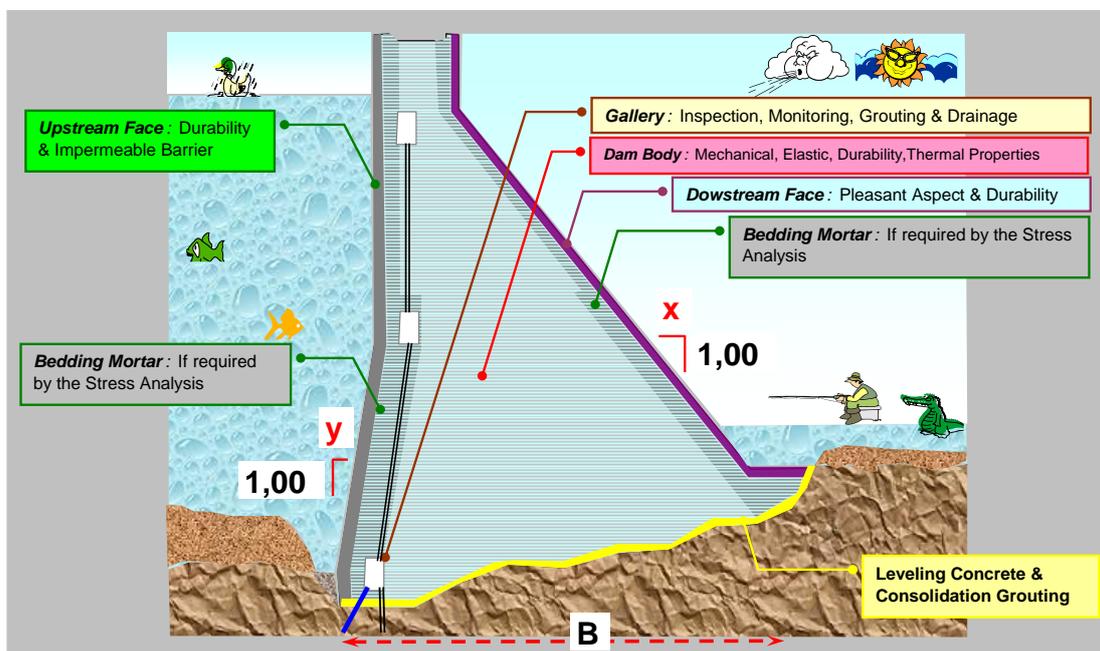


Figure 07- Schematic Diagram suggested for a cross section considering the application of soil-cement in a Dam.



The issue of adopting this type of structure in seismic regions, enable the optimization of inclinations "x" and "y" of the embankments, to "B", in such a manner as to minimize the tensions arising from dynamic actions.

8.1.2 Upstream Face

Conceptually, the Upstream Face, should have the features to be Watertight, with Low Permeability and minimizing cracking, consequently durable, and linked to the upstream area to support the foreseen exertions. In general, based on the usual Face Types, the following options can be summed up:

- a) Conventional Concrete (CVC) placed together with the Soil-Cement cast in layers. The thickness of the CVC should be calculated based on the permeability of CVC, but avoiding the consumption of agglomerate surpasses 200kg/m^3 , in order to minimize the possibility of cracks;
- a) Pre-cast concrete pannels with PVC membrane, incorporated into the very pre-shaped, and in addition, a smaller layer of CVC as suggested in **a)** applied simultaneously, but just before the layers of Soil-Cement;
- a) Layers of Soil-Cement molded directly against the Forms, and adoption of a subsequent Waterproof system. In this option the application of a CVC Slab molded, but later, against the Soil-Cement should be avoided, due to the "**Thermal Restrain**" and, subsequently, the potential for cracks. The application of outer membrane then becomes a supplement

Of the 3 options the alternative **b)** is an important option due to the following advantages:

The Pre-cast serves as Form and the membrane as part of Water-tightness, which renders irrelevant the vulnerability to cracking;

- The Pre-cast acts as thermal insulation during the initial period after concreting, hence minimizing the negative aspect of the of day-night gradient temperature with regards to the appearance of cracks resulting from this gradient; In the case of Construction Works in regions of considerable seismic activity, even if there is cracking in the CVC layer the membrane (due to high elongation) minimizes the establishing of destabilizing pressures;
- Besides being durable it provides a pleasant visual aspect,;
- The costs can be offset by the elimination of the Form and by reducing the CVC thickness, compared to that required in **a)**.

The solution **b)**, when adopted, should have a network of drainage associated with the interface Membrane* CVC Layers.

8.1.3 Downstream Face



The Downstream Face aims to provide a pleasant appearance and to be durable. Therefore, it can be built with the options usually used for the massifs of Roll Compacted Concrete (RCC). In regions where the Soil-Cement can be used for a sloped structure, the usual RCC options can be applied.

8.1.4 Dam Body

This is where it is possible to draw the benefits of Soil-Cement due to its satisfactory Mechanical-Elastic and Thermal capacity. A massive Soil-Cement can be adopted in the same concept of Mass RCC, with the proper adjustments as cited in 8.1.1

8.1.5 Galleries

Galleries in dams over 10m in height is considered advantageous in technical aspects (aspects of stability)^[21], due to drainage, as well as useful aspects of auscultation. Furthermore, it is an option to enable carrying out the services of the grouting curtain. Moreover, the gallery is very important to Dams, for possible remedial actions.

On the other hand, the incorporation of a gallery in the body of the dam is seen constructively as a productivity reduction conditioner. Which most often within appropriate Planning such opposition does not appear.

Therefore, the advantages and disadvantages should be examined, without, however undermining the Safety and any eventual remedial actions.

8.1.6 Requirement for the Behavior of the Construction Joints

As a result of 8.1.1, there may be a need to ensure monolithic aspect between the layers of Soil-Cement. In this situation the adoption of Bedding Mortar, or thick syrup, becomes a conceptual project requirement.

The conceptual fluctuations regarding the advantages of seeking to extraordinarily expand the Time of Setting of RCC, to avoid treating the Joint, which is merely a theoretical digression, is not considered as being convenient in these recommendations.

The extension of the Upstream and Downstream zone to receive the Bedding Mortar, must be focused and determined on the basis of Stress Analyses.

8.1.7 Leveling Concrete and Consolidation Grouting

The adoption of a CVC layer, as a Leveling Layer, is an artifice to facilitate the initial work of applying the RCC, and for works with the contact grouting, if required in the project, which is unusual in Brazil.

8.1.8 Controlling the Placement Temperature



It is clear that in seeking for Simplification there is implicitly the convenience of eliminating the need for refrigeration.

When recollecting the references [1 to 3 and 17], there is a clear line regarding this aspect. Moreover, there are studies that show the possibility of daily applying the RCC in layers at room temperature of up to about 35°C, without the need for cooling [22]. As this aspect is dependent on cementitious content, for the sake of caution, thermal analyses are recommended at each situation and region, and modulate to the Contraction Joints at convenient spacing.

It is emphasized that adopting the Face, as described in option **b)**, 8.1.2, is a simplifying element in these aspects.

8.1.9 Contraction Joints

The spacing between the Contraction Joints results from 8.1.8. However in view of the poor knowledge of Creep it is convenient that the spacing, initially, be at intervals no greater than 15m.

The system of water tightness of the Contraction Joints may be the same as that adopted for the RCC massive structures, with double line of Water Stops Seals and with a drain incorporated.

8.2 Project Details and Interference with Constructive Method

The need to have, in the body of the Soil-Cement Dam, details as Drains, Embedded Wells, should be seen the same way as for RCC Dams.

8-3 Constructive Aspects

In Soil-Cement construction, the goals are similar to that of RCC, namely to obtain a uniform mixture, adequately transported and compacted, and with proper cure to achieve the required properties.

8.3.1 Material Exploitation

The natural deposits, with very few exceptions, are not uniform, which leads to analyzing the need for actions and processing to be uniform, or establishing dosages to cover the dispersion and ensure the required minimum properties.

Still, it is expected that these implications result in lower costs than exploration to obtain aggregates traditionally for concretes.

8.3.2 Processing, Homogenization and Storage



From what was cited in 8.3.1, it may require a kind of processing, withdrawal of over sizes (for "gravel-like" soils), and/or homogenization, and/or drying (for more clayish soils).

These arrangements have the theoretical conceptual connotation intending to minimize the dispersion in such a manner as to have properties with little variation, and thereby minimize the level of cementitious content.

However, from a practical and economic point of view, an analysis should be established to check the convenience of having a processing, or to cover dispersions containing additional coarse fractions (and its resulting technical implications!), in order to comply with the required properties and with proper safety.

8.3.3 Proportions and Mixtures

In case of application of Soil – Cement, the option of using “pug-mill” in situ is discarded, which is used in floors and in some embankment protections. In the case of a more concentrated application, such as dams, it is recommended that the proportion and mixing be carried out on plants by dosing.

- Gravimetric, or;
- Volumetric.

It is fully known that the volumetric dosages cause greater dispersion on the properties, than the gravimetric ones. In this case refer to the commented in item 8.3.2.

The forced single or double twin axis mixers show to be the most appropriate ones, and the dumper mixers, traditionally used in the 1950s to 90s for mass CVCs Dams, are not appropriate because the amount of Fine aggregates that provide more cohesive mixtures, and the resulting possibility of adhering to the blades of these mixers. This leads to the desirability of forced mixers, in addition to which the mixture cycle is lower in these mixers than the dumpers, for the same individual nominal capacity of the mixer.

The construction of RCC provided lessons to those who are more reticent, and one of these guidelines was the adoption of a supply silo immediately after the mixers, so as not to link the cycle of transport vehicles to the mixers. The silo should be proportional to the volume of the mixers and compatible with the transport vehicle.

8.3.4 Transport and Handling

The transport from the production system to the application site must be done as fast as possible (not more than 30 to 40 minutes) so as to minimize the loss of moisture, and in such a manner that the time from the start of transport, placement and compaction, does not exceed the Setting Time (which should be known by those handling material consisting of cement!), and preferably less than 90 minutes.



Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2008 - RCC Symposium
Setembro / 2008
ISBN
@ 2008 - IBRACON



There is no dogmatic restriction on the type of transport to be adopted (trucks, belts, motor-scrappers, etc...) as long as the system is compatible with the magnitude of the project, with the Construction Chronology and satisfying the recommended times and does not bring about segregation (especially when using "gravel-like" soils).

Note: It has been observed in the building of RCC constructions that the builders have a pre-disposition against these limitations, although not taking into consideration, that when complying with these goals, they will be much more Productive!

The dumper trucks, when used, should cover the Soil-Cement with a protective wet canvas.

Similarly as with the exit of the mixers, at the points of transport there should be transference silos. This recommendation is valid for situations where there is a change in the type of transport. In other words, from continuous to intermittent or vice versa.

8.3.5 Spreading and Leveling

In the same manner as RCC, the Soil-Cement should be applied in layers, spread out, which could be by front blade tractors and/or motor-graders. The height of the layers should be compatible with the Rollers to be adopted by the contractor, so that it guarantees, for the Soil-Cement used, a compaction greater than 97%. (Preferably over 98% for that it is recommended to know the graph of Figure 04).

8.3.6 Compaction

Compaction should be completed as soon as possible, and preferably, to the maximum time recommended in 8.3.4.

For more clayish soils, the rollers type "Tamping" or "Ship Foot" have normally have been used, and for sandy and for "gravel-like" soils the smooth vibrating roller. From these options, it is highly recommendable that the contractors realize test-fill for the adequacy of their equipment, layer height, number of passes, training of work team, in order to meet the properties that may be required.

8.3.7 Surface Treatment of the Construction Joint

Treatment of the surface of the construction joints should be understood as all the procedures necessary to restore the monolithic structure, previously altered by the placement in layers, which surpass the Setting Time of the Soil-Cement. That is, over the time that the hydration reactions allows an autogenous joint between the "new" and "old" layers. This is a critical activity in both conventional and RCC concrete used in hydraulic structures, for which the Design Technical Specifications can not overlook the Quality and



Safety, and that with the possible use of Soil-Cement for the purposes here placed, should also have correct impositions.

In other words, due to the Stress Analysis, the body of the dam will have areas with the need to ensure the Tensile and Shear Stresses, and there will be areas where only the Friction is necessary. It follows that the type of surface treatment of the Construction Joint may be different at each area.

The type of treatment should be similar to that used on the surfaces of the construction joints of the RCC, namely:

- ☞ In areas where **there are Stress requirements** jets with humid air jet cleaning, under pressure of 7 bars, removing all the loose and damaged material, or dirt and application of bedding mortar;
- ☞ In regions where **not required** Stresses, with only the cleaning jet of moist air, under pressure of 7 bars for the withdrawal of all the material loose and damaged, or dirt

In the event of using CVC for the upstream and downstream faces, the surface of the construction joint of this concrete should meet the treatment concept for conventional concretes (which the author hopes that all who work with concrete, know!). However, to standardize the operations the application of bedding mortar can be applied over the CVC, after clearing its surface.

These operations must be carried out immediately before applying the new layer.

8.3.8 Contraction Joints

The Contraction Joints, established on the basis of 8.1.8 and 8.1.9, may be implemented in the same way as currently used for the RCC dams.

In the upstream face, if the use of CVC is adopted, the water tightness and drainage system, consisting of double line of PVC Water Stop and Drain, must be covered by the properly vibrated CVC.

These operations must be carried out immediately before the application of the new layer.

8.3.9 Protection and Cure

Protection

- During the spreading and compacting operations the micro-climate of the region where such operations are concentrated, should be kept moist by nebulizers;
- In the event of rain, one can proceed as it is normally used in RCC constructions;
- In constructions in cold weather areas, the operations must be performed to ensure the beginning of the material hardening.



However, a heavy rainfall that occurs after most of the water has been added can be detrimental. If rain falls during cement- spreading operations, spreading should be stopped and the cement already spread should be quickly mixed into the soil mass. Compaction should begin immediately and continue until the soil cement is completely compacted. After the mixture has been compacted, rain usually will not harm it.

Transit over the Compacted Surface

It should be understood that any activity that damages the surface, then the damaged material should be removed in the treatment of the Construction Joint.

Given this concept, the handling of vehicles and equipment must be done in such a way that it does not damage the surface, therefore not requiring removing materials unnecessarily.

It is estimated, based on the use of cement and the very from the RCC, that the traffic of light vehicles can be tolerated from 4 to 5 hours after compaction, and heavy trucks after 10-12 hours. The tractors with deep pads should be avoided.

Cure

The cure is necessary to develop the hardening reactions of the cement composites, besides, the cure enforced from the moment after the compaction enables to extract heat (due to hydration) before reaching the Thermal Peak due to hydration.

At least for these reasons the cure must be done with water, by nebulizers, during the first 3-4 days and by water spraying (***which does not mean Jet spraying!***) for a time of no less than 10 days or until a new layer has been applied over the one done.

8.4 Quality Control System

8.4.1 General

The author believes that Quality Assurance is not only recording information and preparing beautiful graphics and highly visual reports, but the correct handling of information to take actions in a timely fashion and compatible with the dynamics of the construction to minimize errors, correct faults and maximize the uniformity, in such a manner that quality is established autogenously.

Given this, the Quality System should include:

- ❖ Training and Qualification of Participants in the processes and activities;
- ❖ Simulation of key activities and possibly not known (lessons, lectures, experimental test-fill);



- ❖ Establishing routines and methods that lead to a rapid absorption of the information with systematic analyses and warnings of vulnerabilities;
- ❖ Prior knowledge of the behavior (statistical) of materials purchased from third parties for the construction project;
- ❖ Knowledge and mastery of the production process of materials (system of processing the material production of mixtures, transport, density placing) for operations in critical spots;
- ❖ Establishing routines and actions to ensure compliance with the required properties with the least possible dispersion;
- ❖ Speed and reliability in the actions, honesty in the records, the reliable information;
- ❖ Auscultation and efficient monitoring;
- ❖ Clear Registry, impersonal and self-explanatory.

9- References

[01]- RAPHAEL, J.M.- **“The Optimum Gravity Dam”**- Proceedings of the Rapid Construction Concrete Dams"- ASCE- Asilomar- California-USA- March-1970

[02]- RAPHAEL, J.M.- **“Construction Method for the Soil- Cement Dam”**- Proceedings of the Rapid Economical Construction of Concrete Dams- Asilomar- California- USA- May-1972;

[03]- CANNON, R.W.- **“Concrete Dam Construction Using Earth Compaction Methods”**- Anais do Economical Construction of Concrete Dams- Asilomar- California- USA- May-1972;

[04]- ANDRIOLO, F. R.- **“RCC- Concreto Rolado- Rollcrete: Mais de 30 anos no Brasil – Erros, Acertos, Contrariedades, Conquistas e a Necessidade de Manter Qualidade”**- Proceedings of the Rapid 50º. Congresso Brasileiro do Concreto – CCR 2008- RCC Symposium -Salvador Bahia- Brazil- 2008

[05]- ANDRIOLO, F.R.- **“The Use of Roller Compacted Concrete”**- Oficina de Textos- Rua Augusta 1371- Lj. 107- -1305- 100- São Paulo- Brazil- 1998

[06]- ANDRIOLO, F.R.- **RCC Brazilian Practices”**- Oficina de Textos- Rua Augusta 1371- Lj. 107- -1305- 100- São Paulo- Brazil- 2002

[07]- CESP Report- **“Viagem aos Estados Unidos da América”**- 25 de Setembro a 18 de October 1981- Ilha Solteira-SP-Brazil;

[08]- SGARBOZA, B. C.; ALMEIDA, S. J.; EUSTAQUIO, J.O.F.; HELLVIG, A.J.; MELLIO. A.- **“Proteção de Taludes com Solo-Cimento- Estudos e Aplicações nas Obras de Porto Primavera e Rosana”**- . Proceedings of the Rapid XV Seminário Nacional de Grandes Barragens- Rio de Janeiro- Brazil -November/1983;

[09]- ONO, S.; COSTA, A.F.- **“U.H.E .Tucuruí- Estudos de Utilização de Solo- Cimento para a Proteção de Taludes da Barragem”**- . Proceedings of the Rapid XV Seminário Nacional de Grandes Barragens- Rio de Janeiro- Brazil -November/1983;



**Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2008 - RCC Symposium**
Setembro / 2008
ISBN
@ 2008 - IBRACON



- [10]- CAMPITELLI, L.- **“Aproveitamento Hidrelétrico de Tucuruí- Aterro de Cascalho não Coesivo; Proteção de Talude com Cascalho; Proteção de Talude com Solo-Cimento”**- Proceedings of the Rapid XV Seminário Nacional de Grandes Barragens- Rio de Janeiro- Brazil November/1983;
- [11]- Eletronorte- UHE Tucuruí- **“Projeto de Engenharia das Obras Civas- Consolidação da Experiência”**- Engevix /Themag- August-1987- Brasília- Brazil;
- [12]- ANDRIOLO, F.R.; OLIVEIRA, P.J.; SALLES, F.M.-**“Soils & Cementitious Materials- A Technical Option fr Use as a Structural Element for Dams”**- . Proceedings of the Rapid International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- Santander- Spain – October- 1995
- [13] **“Currents Activities on Dam in Japan”**- Japan Comission on Large Dams- 2002
- [14] ANDRIOLO, F.R – **“Barragens em CCR- Concreto Compactado com Rolo- Estado da Arte- Materiais, Projeto e Construção”**- Instituto de Engenharia – Curitiba Paraná- Brazil - Dezembro/ 2001;
- [15] IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- **Atlas Nacional do Brasil**- 3ª. Edição- Rio de Janeiro- Brazil 2000
- [16]- ACI ACI 230.1R-90- **“State-of-the-Art Report on Soil Cement”**- Detroit
- [17]- TUTHILL H.L. – **“Economical Construction of a Concrete Gravity Dam”**- Proceedings of the Rapid Economical Construction of Concrete Dams- Asilomar- California- USA- May-1972;
- [18]- Report LEC-010/05 - AEROPORTO DE ÁGUA VERMELHA- **“ Avaliação da Resistência da Camada de Base de Solo-Cimento do Pavimento”**- Ilha Solteira- SP-Brazil /2005
- [19]- ANDRIOLO, F.R; SCANDIUZZI, L.- **“Concreto e seus Materiais: Ensaio e Propriedades”** - Editora Pini- Rua Ahaia 196- Bom Retiro- São Paulo- Brazil- 1986
- [20]- ANDRIOLO, F.R - **“Concreto Adensado com Rolo Vibratório- Sugestões para Projeto e Construção”**- . Proceedings of the Rapid XVI Seminário Nacional de Grandes Barragens- Belo Horizonte-MG – Brazil – November/1985;
- [21]- ANDRIOLO, F.R; GOLIK, M.A.- **“Inspection Gallery and Drainage: Problem or Solution?”**- Proceedings of the Rapid International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- Santander- Espanha – October/1995
- [22]- ANDRIOLO, F.R; GAMBALE, E.A.; BOTASSI, S.S.; ANDRADE, M.A.S.; BITTENCOURT, R.M.; PACELLI, W.A.- - **“Thermal Analysis of Roller Compacted Concrete”**- Proceedings of the Rapid IV International Symposium on RCC Dam- Madrid – Spain- November

Answers to the Question from the Figure 01



CVC



RCC with the same materials type of the
 previous CVC



RCC



Soil Cement from the Bonny
 Dam- Colorado-USA



Sandcrete- Soil-Cement

Figure01 **Answers-** Materials mixes with Cementitious Content and aggregates of different Maximum Sizes



Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2008 - RCC Symposium
Setembro / 2008

ISBN
@ 2008 - IBRACON



O CCR é Suficiente?

Ou Vamos Utilizar o Solo-Cimento como Elemento Estrutural na Construção de Barragens?

Is RCC Sufficient?

Or should we use Soil-Cement as a Structural Element in Dam Constructions?

EI HCR es Suficiente ?

O Vamos Usar el Suelo-Cemento Como Elemento Estructural en la Construcción de Presas ?

Francisco Rodrigues Andriolo

Engenheiro Civil- Andriolo Ito Engenharia Ltda

*Av. Dr. Paulo Pinheiro Werneck 850- Parque Santa Mônica
13561-235- São Carlos- SP- Brasil*

Tel: ++55 16 3307 6078 Fax: ++55 16 3307 5835

www.andriolo.com.br fandrio@attglobal.net

Resumo

A construção de Alpe Gera- *na Itália*- no início dos anos 60 e as citações do **Prof. Jerome Raphael** ao início dos anos 70, durante as *Conferências de Asilomar-Califórnia-USA*, foram relevantes no estabelecimento da Metodologia do CCR. Entretanto as sugestões do **Prof. Raphael** ainda merecem ser refletidas e proporcionar grandes, outros, benefícios quanto ao uso de materiais disponíveis, com significativo impacto favorável à redução de custos.

Essas complementações são relevantes para Países em desenvolvimento e/ou de dimensões territoriais onde o transporte de materiais torna componente impactante nos Custos.

O Solo-Cimento devidamente estudado, conhecido e controlado, torna-se uma disponibilidade técnica à Engenharia de construção de Barragens que merece atenção e que é atrativa para uso.

Estudos iniciais realizados no Brasil no início dos anos 90 e atualmente desenvolvidos no Japão, são referências importantes para o domínio e uso desse material.

No transcorrer do texto são citadas informações técnicas bem como recomendações para o uso seguro com vantagens econômicas apreciáveis

Palavra-Chave: Solo-Cimento, Argiloso, Arenoso, CCR, CVC, Montante, Jusante, Face, Propriedades, Estanqueidade, Durabilidade

Abstract



Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2008 - RCC Symposium
Setembro / 2008
ISBN
@ 2008 - IBRACON



The construction of Alpe Gera- *in Italy*- in the early 1960s and the citations by **Professor Jerome Raphael** in the early 1970s, during the Conferences in Asilomar, California-USA, were relevant in establishing the methodology for RCC. However the suggestions by **Professor Raphael** still deserve to be reflected on, providing additional benefits on the use of available materials, with a significant positive impact on cost reductions.

These complements are relevant to developing countries and/or large territorial countries where the transport of materials makes such components important with relation to costs.

Soil-Cement that is properly studied, known and controlled becomes a technical availability for the Engineering of dam constructions, which merits attention and its use is attractive. Initial studies conducted in Brazil in the early 1990s and currently developed in Japan, are important references for mastering and employing this material.

Throughout the text technical information is cited in addition to recommendations for its safe use with appreciable economic benefits.

Keywords: Soil-Cement, Clayey, Sandy, RCC, CVC, Upstream, Downstream Face; Properties, Watertightness, Durability

Resumen

La construcción de Alpe Gera – *en Italia* – en el comienzo de los años 60 y los relatos del **Profesor Jerome Rapfael** durante los primeros años de la década del 70, durante las Conferencias de *Asilomar – California – USA*, fueron fundamentales para el desenvolvimiento de la Metodología del HCR. Todavía las sugerencias del **Profesor Raphael** merecen reflexión y proporcionar otros, grandes beneficios cuanto al uso de materiales disponibles, con impacto significativo, favorable a la reducción de costos.

Esos complementos son destacados para Países en desenvolvimiento y/o con dimensiones territoriales donde el transporte de materiales se torna un componente impactante en los Costos.

El suelo-cemento convenientemente estudiado, conocido y controlado, se torna una disponibilidad técnica al servicio de la Ingeniería de la Construcción de Presas, que merece atención y que puede ser atractiva para su utilización.

Estudios iniciales realizados en el Brasil durante los primeros años de la década del 90 y actualmente desarrolladas en el Japón, son referencias importantes para el dominio y uso de ese material.

Durante el transcurrir del texto, son citadas informaciones técnicas, como así también recomendaciones para la utilización segura, con ventajas apreciables.

1 Introducción

- **¿Cual es Qué?** En las Figuras 01, se muestran 5 materiales compuestos por cementos. **Se pide a los interesados la gentileza de identificarlos!**

Desde la lectura de [01] [02] y [03], asociada a las primeras colocaciones de HCR en el Brasil [04] [05] y [06] este Autor siempre buscó incentivar el entendimiento y pesquisar el uso del Suelo-Cemento como un elemento estructural para el cuerpo de las Presas.



Material A

Material B



Material C

Material D

Material E

Figura 01- Materiais contendo mistura de Cimento com Agregados de Distintos Tamanhos Máximos

Al comienzo de los años 80 el interés de la CESP (Agencia del Gobierno del Sector Eléctrico) buscando soluciones para la protección de taludes en Presas en el Pontal de Paranapanema, debido a la ausencia de rocas adecuadas a esa finalidad consideró oportuna la realización de visitas a Proyectos en los Estados Unidos, donde se utilizaba Suelo-Cemento para la protección de taludes [07], lo que dejó en evidencia, el potencial de ese material como una alternativa estructural. En esa época, Brasil pasa por las contrariedades citadas en [04] y todavía no se había establecido el HCR como práctica, la construcción de Presas.

Las aplicaciones realizadas en las Obras de la CESP [08] y después en el Dique de Moju en la Hidroeléctrica de **Tucuruí**, por la **ELETRONORTE** (Agencia del Gobierno del Sector Eléctrico [09 a 11] dejaron en evidencia las propiedades resistentes, pero que lamentablemente en aquella época, fueron determinadas solamente a las edades de 28 días.

En el comienzo de los años 90, ya en el período, en que las Presas de HCR en el Brasil surgían, este Autor recomendó a la CESP establecer un programa preliminar de pesquisas sobre suelo-cemento, como material con potencial estructural para la construcción de Presas, y cuya fase inicial, reveló resultados espectacularmente promisorios para la finalidad [12], a las edades de evaluaciones desde 28 días hasta 1



año. Estudios recientes confirman la calidad de ese material para esa alternativa estructural.

Los Japoneses, recientemente adoptaron el “**C-S-G: Cemented Soil Gravel**”, y que ha sido utilizado desde 1991 en ataguías, como la de la Presa de Nagashima (de aproximadamente 30 metros de altura) con una sección de 0,6:1,0 (aguas arriba) y 0,7:1,0 (aguas abajo) [13], con un contenido de cemento de 60 kg/m³.

Pasada la fase de contrariedades y el establecimiento de una mayoría de presas de HCR en el Brasil, que se consolidó como un co-lider en este tipo de construcción, se ha sugerido a Entidades del Gobierno y hasta, la Entidad que Reúne a los Fabricantes de Cemento del Brasil [14] el establecimiento de alternativas para el empleo de ese material con características estructurales para Presas. La grande extensión del Brasil con sus diversidades y adversidades, que también se observan en otros Países, son oportunidades potenciales para esa adopción.

Este Trabajo busca crear condiciones para debates sobre el asunto y tenta direccionar y recomendar sugerencias con base en el conocimiento que se tiene sobre el material y analogías que puedan ser realizadas con seguridad.

2 Aspectos Referentes a la Necesidad

Premisa I

No hay una **ÚNICA SOLUCIÓN** para todas las Presas. Cada local, cada tipo de material disponible implica en ajustes. **De ingeniosidad!**

- No existe “un único” tipo de Presa para un local ¡!;
- Hay un tipo e lay-out que se adapta al local de un eje-aprovechamiento, que se encuadra mejor a las condiciones de:
 - Momento (Costos practicados en la época);
 - Cronología;
 - Condiciones Topográficas-Geológicas;
 - Disponibilidad de Materiales;
 - Seguridad;
 - Conocimiento (de las diferentes áreas participantes)
- Entonces, hay, un tipo de presa que es apropiada para esa obra y para esa época.

Lo importante es que los Profesionales participantes, las Comunidades Técnicas y Representativas, y Empresas de Proyectos y Construcción puedan ofrecer soluciones económicas, seguras, rápidas y ventajosas para los intereses del País y de la Sociedad.

No se debe, anticipadamente eliminar una eventual solución por cuestiones individuales, o de ambito restringido, confinado y mucho menos por pasión o vanidad!.

Premisa II

En el Brasil la altura media de las Presas (hidro-eléctricas, obras para abastecimiento de agua, contra inundaciones, etc...) es inferior a 50 metros. Para las Presas de HCR esa media podemos considerar aproximadamente 60 metros.

Altura da Barragem (m)	Talude Montante	Talude Jusante	Tensão efetiva-CCN ^(a) (MPa)	Tensão efetiva CCE ^(b) (MPa)	Coefficiente de Segurança	Resistência Característica (f_{ck})- (MPa)	Reistência Média a ser obtida (f_{cj}) ^(c) - (MPa)	Idade de obtenção (dias) dos valores mínimos	Consumo estimado de aglomerante (kg/m^3) ^(d)
70	0,10	0,65	2,1	2,5	3,0	6,3	7,6	180	61
		0,70	1,8	2,2		5,4	6,5		52
		0,75	1,6	1,8		4,8	5,8		46
	Vertical	0,65	2,4			7,2	8,7		70
		0,70	2,0			6,0	7,3		59
		0,75	1,8			5,4	6,5		52

Notas:

- (a) – *Condição de Carregamento Normal- Peso Próprio + Empuxos*
- (b) – *Condição de Carregamento Excepcional- CCN+ Sismo (0,05g)*
- (c) – *Considerando um Coeficiente de Variação de 20% e Quantil de 1 em 5 valores podendo se situar abaixo do f_{ck}*
- (d) – *Rendimento (MPa/cm^2)/ (kg/m^3) de 0,125 à idade de 180 dias*

Reverendo veja esse último paragrafo,, confere???????????

Tradução do quadro:

- Altura de la Presa (m)
- Talud Aguas Abajo
- Talud Aguas Arriba
- Tensión Efectiva CCN
- Tensión Efectica CCE
- Coeficiente de Seguridad
- Resistencia Característica
- Resistencia Media a ser Obtenida
- Edad de Control de los Valores Mínimos
- Cosumo Estimado de Aglomerantes

Notas (Num Espanhol mais requintados pode ser "Nota Bene") , pode ser Abreviado "N.B").



**Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2008 - RCC Symposium**
Setembro / 2008
ISBN
@ 2008 - IBRACON



- (a) **Condición de Carga Normal : Peso Propio + Empujes**
- (b) **Condición de Carga Excepcional : CCN + Sismo (0,05g)**
- (c) **Considerando un Coeficiente de Variación de 20 % y Cuantil de 1 en 5 valores que pueden ser inferiores al f_{ck}**
- (d) **Rendimiento ($Mpa/cm^2/kg/m^3$) de 0,125 a la edad de 180 dias**

Considerando una Altura Media de 70 m y visualizando una Presa del Tipo Gravedad, se tendrán las Tensiones Efectivas (f_d) en el Cuerpo de la Presa, inferiores a 2 MPa, (ver el Cuadro anterior). Esto nos lleva a Tensiones Requeridas (f_{ck}) del orden máximo de 6,0 Mpa (para Coeficientes de Seguridad, normalmente utilizados de 3), que consecuentemente nos llevan a obtener Resistencias Medias de 7 Mpa, para un ámbito mas general podemos adoptar 8,0 MPa.

Para las Presas de Hormigones (HCR u Hormigones Masivos) hay una necesidad de un Contenido de Aglomerantes de aproximadamente 60 kg/m^3 .

Si se consideran Efectos Sísmicos (mayores que **0,05 g** que es adoptado en los Códigos Brasileños) en otros Países esa Tensión Requerida puede aumentar un poco u la Geometria de la Sección Transversal que deberá ser adaptada.

Premisas III

Consideraremos como siendo el conjunto de :

- Constructibilidad
- Rapidez
- Simplicidad
- Seguridad
- Calidad – Durabilidad
- Costos

Premisa IV

Minimizar las Interferencias con el Medio Ambiente

3 Disponibilidades

La tradicional disponibilidad de materiales, para la construcción de Presas visualizada por los Romanos y Arabes los llevó a las Rocas y Suelos.

La llegada del cemento como material elaborado, (sin considerar los aspectos de las construcciones con Cal-Puzolanas antiguas) introdujo el Hormigón.

Las Metodologías e Ingeniosidades crearon diversas asociaciones para la construcción de Presas. El Suelo-Cemento, estudiado convenientemente, conocido y dominado, puede ser una nueva alternativa de empleo, en la construcción de Presas.



4 Conocimiento

Hay una expresiva disponibilidad de informaciones sobre Suelo-Cemento, y las facilidades actuales de la Mídia tornan fáciles las adquisiciones del conocimiento sobre ese tema, mucho mas de lo que se vivió en las décadas del 70 y 80!.

4.1 Referencias

Las entidades **ABCP** (en el Brasil), **Bureau of Recamation, Corps of Engineers e Portland Cement Association**, en los Estados Unidos y **Japon Comission on Large Dams**, poseen una literatura amplia sobre el tema, que a pesar de ser útiles no serán mencionadas en este texto, por una cuestión de espacio.

Esa amplia literatura, en gran parte está limitada a la determinación de resistencias a las edades de 7 y 28 días. Hay poca información de las propiedades elásticas y prácticamente ninguna térmica. Lo mismo sucede con los pocos resultados de permeabilidad. En compensación hay datos de erodibilidad en condiciones de trabajo. Chico “vc quiz dizer condições de trabalho” ao expressar “posto em serviço”???????????

4.2 Conocimientos de Laboratorios

De los estudios realizados en Laboratorios tomaremos como base las pesquisas del **Laboratorio de la CESP**, en Isla Solteira, por el hecho de que fueron realizadas evaluaciones con edades de hasta 365 días [12] y, cuyos, resultados y comentarios son transcritos para este texto:

“...3- *CONCEPT*

Constructive processes using cementitious soils are simple and economical. The equipment used for mixing, placement and compacting are well known. Construction technique follows procedures resulting in the application of pulverized soil mixes with the correct proportion of water and cementitious mix to allow maximum compacting. After mixing is prepared, the material is spread, compacted and cured. Fly Ash has been used with relative success in cementitious material-soil mixes, improving soil working conditions and characteristics. Almost all natural soils are acceptable for composition with cementitious material. Sandy types are preferred to clayey types for soil with cement mixes as these are more easily pulverized and require a lower cement content to attain the required strength and durability. For lime addition the best results are observed in clayey or medium clayish soils. For sandy or low plasticity soils, the addition of pozzolanic materials will help binder action.

Brazil's vast dimensions enhances great possibilities for development and application of this technology, not only because of the existing soils and diversity of materials available in its territory, but also because of the geographic location of cement and lime plants.

4- RESEARCH PROGRAM

The research program being developed at CESP's Civil Engineering Laboratory in Ilha Solteira-São Paulo-Brazil, tries to evaluate properties and behavior of soil and cement , soil and lime and soil, lime and pozzolanic material mixes so that these mixes can be used as alternative materials for dam construction replacing conventional concrete, rockfill and soil dams.

4.1- Materials

4.1.1- Soils

Three very different basic soil types were selected, namely:

- A = Sandy Soil , type A-2-4;
- B = Medium Soil, Silty, type A-4;
- C= Clayey, type A-7-6, with characteristics as shown in Figure 1.

SOIL			A	B	C
CLASSIFICATION NBR			A - 2 - 4	A - 4	A - 7 - 6
CLASSIFICATION IG			0	4	15
pH			4,99	4,96	5,86
LL - %			23	26	48
LP - %			13	16	27
IP - %			10	10	21
ABSOLUTE SPECIFIC GRAVITY - g/cm ³			2,73	2,74	2,85
% RETAINED ON SEPARATE SIZES	2,0 to 0,42 mm	MEDIUM SAND	10	2	4
	0,42 to 0,05 mm	FINE SAND	60	55	36
	0,05 to 0,005 mm	SILT	4	12	8
	< 0,005 mm	CLAY	26	31	52
OPTIMUM MOISTURE - %			10,5	12,8	20,5
MAXIMUM DRY DENSITY - g/cm ³			2,008	1,914	1,697

FIGURE 1- CHARACTERIZATION OF SOILS USED TO CARRY THESE STUDIES.

4.1.2- Agglomerants

The following materials characterized as shown in Figure 2 ,have been used:

- Portland cement
- Hydrated lime
- Pozzolanic material - (Fly Ash)

4.1.3- Mixes

Using appropriate routine techniques, mixes were prepared and a series of cylindrical test specimens (50mm)x(100mm), were molded for simple axial compression strength, splitting tests (diametral compression) and modulus of elasticity tests at ages of 3, 7, 28, 90, 180 and 360 days. Figure 3 shows the mixes studied and respective binder contents added to the soil mix.

Maximum densities and optimum humidity values were established for each mix through compacting tests with result values as shown in Figure 4.

The "pH" values for each mix were established at mechanical test ages.

MATERIAL			CEMENT	FLY ASH	LIME
% RETAINED ON SIEVE # 325			14	57,5	
FINENESS SPECIFIC SURFACE - BLAINE - cm ² /g			3154	2466	
AVERAGED DIAMETER - micron				11,6	
APPARENT SPECIFIC GRAVITY - g/cm ³			1,12		
ABSOLUT SPECIFIC GRAVITY - g/cm ³			3,15		
REACTIVITY WITH ALKALIES	REDUCTION OF EXPANSION - %			63,3	
	MORTAR EXPANSION - %			0,053	
POZZOLANIC ACTIVITY INDEX	WATER	REQUIREMENT - %		106,3	
	WITH	CEMENT - %		69,6	
	WITH	LIME - MPa		3,5	3,5
WATER FOR FLOW	CONSISTENCY	grams	130		
		%	25,9		
DRYING SHRINKAGE - %				-0,016	
TIME OF SETTING h:m			02:19		
AUTOCLAVE EXPANSION - %			0,054		
COMPRESSIVE STRENGTH CYLINDERS 50x100mm	3 DAYS	MPa	22		
	7 DAYS	MPa	28,8		
	28 DAYS	MPa	34,5		
	90 DAYS	MPa	35,6		
HEAT	HYDRATION	7 DAYS	89		
		cal/g	28 DAYS	93	
MOISTURE - %				0,03	
CHEMICAL ANALYSIS %	LOSS ON	IGNITION	3,54	0,071	28,61
	INSOLUBLE	RESIDUE	0,33		1,7
	SiO ₂		19,85	56,36	
	Fe ₂ O ₃		3,57	6,08	
	Al ₂ O ₃		5,07	30,54	
	CaO		63,68	1,58	57,29
	Mg		1,42	0,26	11,61
	SO ₃		1,81	0,34	0,08
	Na ₂ O		0,1		
	K ₂ O		0,92		
	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃			36,62	0,62
	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ + SiO ₂			92,98	
	ALKALIES Eq.		0,71	0,55	
	FREE LIME AS CaO		1,12		
	C ₃ S		56,23		
	C ₂ S		15,12		
C ₃ A		9,21			
C ₄ AF		8,96			

FIGURE 2- PHYSICAL-CHEMICAL ANALYSIS FOR BINDERS USED

PROPORTIONING MIX	BINDER									
	CONTENT %					CONTENT - Kg/m ³				
SOIL+ CEMENT	2	4	6	8	10	32,3	64,2	94,7	125,8	155,8
SOIL + LIME	2	4	6	8	10	31,1	51,1	88,7	116	140,4
SOIL + LIME + FA	2 + 10	4 + 10	6 + 10	8 + 10	10 + 10	29 + 147	56 + 145	84 + 140	109 + 137	133 + 133
SOIL + LIME + FA	2 + 15	4 + 15	6 + 15	8 + 15	10 + 15	28 + 213	56 + 210	82 + 205	107 + 202	131 + 196
SOIL + LIME + FA	2 + 20	4 + 20	6 + 20	8 + 20	10 + 20	28 + 280	55 + 277	80 + 266	104 + 260	127 + 254

FIGURE 3- MIXES STUDIED AND CONTENTS OF BINDERS USED

	%	MAXIMUM DRY DENSITY-g/cm ³	OPTIMUM MOISTURE - %	MAXIMUM DRY DENSITY-g/cm ³	OPTIMUM MOISTURE - %	MAXIMUM DRY DENSITY-g/cm ³	OPTIMUM MOISTURE - %
CEMENT	2	1,986	10,7	1,852	13,1	1,68	20,6
	4	1,993	10,4	1,861	13	1,693	20,6
	6	1,99	10,6	1,864	12,9	1,698	19,7
	8	1,996	10,2	1,865	13,2	1,705	20,3
	10	2,008	10,2	1,868	12,5	1,717	19,7
LIME	2	1,94	11,5	1,824	12,7	1,68	20,7
	4	1,918	11,6	1,81	13,5	1,66	20,9
	6	1,914	11,7	1,811	13,9	1,65	21,1
	8	1,916	11,8	1,809	13,8	1,647	21
	10	1,886	12	1,789	14	1,644	21,5
LIME+10% FLY ASH	2	1,867	11,9	1,772	13,7	1,65	20,5
	4	1,865	11,9	1,768	13,7	1,655	20,8
	6	1,843	12,1	1,763	14,4	1,62	21,4
	8	1,84	12,6	1,747	14,4	1,634	20,8
	10	1,816	12,4	1,747	14,6	1,624	21,2
LIME+15% FLY ASH	2	1,822	12,4	1,744	14	1,634	20,3
	4	1,837	12,6	1,732	14,9	1,628	20,4
	6	1,821	12,7	1,73	14,7	1,621	20,7
	8	1,815	12,5	1,733	14,9	1,614	20,9
	10	1,798	12,6	1,718	15,2	1,613	21
LIME+20% FLY ASH	2	1,818	12,7	1,723	14,5	1,622	20,4
	4	1,804	12	1,714	14,4	1,611	20,8
	6	1,793	13,1	1,693	14,9	1,608	20,8
	8	1,787	13,3	1,697	15,5	1,604	21
	10	1,764	13	1,694	14,4	1,589	21,6

FIGURE 4- COMPACTION TESTS WITH NORMAL ENERGY ON MIXES STUDIED

4.3- Results of Mechanical Tests

Results for mechanical axial compression resistance tests are shown in charts of Figures 5, 6, and 7.

Neste texto fixar-se-á a atenção somente sobre o Solo-Arenoso (Tipo A-2-4)

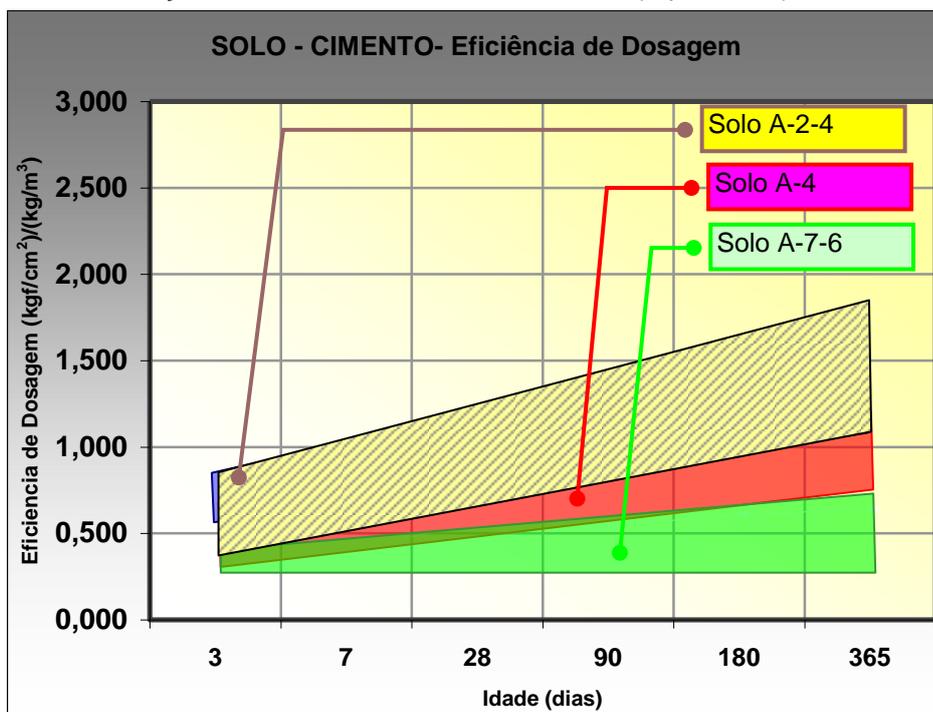


FIGURE 5- COMPRESSION RESISTANCE OF SANDY SOIL

Nota: Os resultados foram transformados em Eficiência de Dosagem, para uma maior comparação



5- COMMENTS

Soil samples are representative of three different types of materials. Test specimens were molded using Normal Compaction Energy showing densities within normal parameters for the types of soils under study.

Generally speaking, resistances have increased with age with soil and cement mixes displaying small dispersion for more or for less, between 180 and 360 days, due to differential development.

- *Relatively large of 7 for 90/180 days and small for 180 to 360 days, this development being absorbed by tests dispersion itself.*
- *This behavior was observed also, in randomly manner, for silty soils with lime and sandy with lime, being less evident for Fly Ash and Lime mixes.*
- *This small development of resistances in soils with cement from 180 to 360 days of age, may be attributed to the high content of C_3S in the cement used, which enables quicker resistance development.*

Soils "A" and "B", with greater sandy portions in their composition have resulted promising for mixing with binders. Soil "A" with 10% cement (155,8 Kg/m³) achieved a 18 MPa. strength at the age of 180 days. Soil "C", of clayey characteristics, showed results inferior to those of other two types of soils, and was not promising at all for mixes with Lime and Lime + Fly Ash.

The use of pozzolanic material resulted in greater resistances at old ages which increased when contents were incremented from 10% to 15%, becoming stable between 15% and 20%.

Mixes with soil "C" (clayey type) showed the lowest indexes for mechanical properties, while mixtures with soil "B" (silty type), reached intermediary ranges as expected. Therefore, it is ascertained that sandy and silty type soils are the most promising for this application. Mixes with cement resulted in greater resistances up to the age of 180 days and lime and pozzolanic material mixes had an expressive evolution from 28 to 360 days.

Mixes with 15% and 20% of Fly Ash and Lime, show resistance values nearer those for mixes with cement for soils type "A" and "B".

Although tensile strength values obtained through diametral compression and modulus of elasticity, are not indicated in this text, the following remarks apply to these properties:

- *The relation between the tensile strength through diametral compression and simple axial compression has been about 10% with a variation coefficient of 15% in the global universe of test values, with no particular bias for any of the mixes under study;*
- *Modulus of elasticity remained between 60.000 Kgf/cm² and 100.000Kgf/cm² for soil and cement and soil and lime mixes, this property decreasing as the soil becomes more plastic (greater water content). This induces greater delayed elasticity which can be evidenced in the research supplementary phases and must be considered when dealing with very high structures.*

6- DISCUSSIONS

The results of this first phase show very promising mechanical property values for certain mixes of great economical significance which depending on the place and project and foundation characteristics may serve as alternatives for conventional dams (RCC, Conventional Mixed Concrete, Compacted Soil, Rockfill)..."



**Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2008 - RCC Symposium**
Setembro / 2008
ISBN
@ 2008 - IBRACON



En este texto solamente trataremos de Suelo-Arenoso (Tipo A-2-4)

Nota : Los resultados fueron transformados en Eficiencia de Dosificación, para poder comparar con mayor claridad.

Reverendo, no texto da Nota em Português, onde vc escreveu “para maior.....” não seria melhor “para uma melhor compreensão.....” ou alguma coisa parecida???

TEXTO EN INGLÉS.....

4.3 Colocaciones en el Brasil

La ocurrencia de Suelos Arenosos y Aluvionares con Arena y Roca Alterada de Superficie, es relevante en el Brasil, como en regiones de otros Países.

Esa disponibilidad de material permite el desarrollo de dosificaciones de Suelos (preferencialmente Arenosos y mucho mas de aluviones)-Cemento para la conformación de cuerpos de presas. La disponibilidad de Suelos Arenosos en el Noreste Brasileño y alrededor de las bacías hidrográficas de los Rios Paraná, Tocantins y San Francisco son relevantes [15].

Figuras 02 – Aspecto del Material Arenoso con Potencial para Utilización en Suelo-Cemento – 1982-.

4.4 Colocaciones en el Exterior

La Referencia [16] cita varios tipos de colocaciones, que se multiplicaron a partir del año 1975, a continuación citaremos algunas:

4.4.1 Protección de Taludes

Con base en estudios realizados en laboratorios se pudo comprobar una buena capacidad de resistencia a la erosión, el **U.S.Bureau of Reclamation** construyó en 1951 un prototipo para evaluaciones en gran escala, en el **Reservorio de Bonny** en el oeste de Colorado. Después de 10 años de observación, con mas de 100 ciclos de hielo-deshielo por año, el **USBR** se convenció de la aplicabilidad del material y a partir de 1961 se especificó el Suelo-Cemento como alternativa a los enrocamientos para la protección de taludes. Y desde 1961, mas de 300 grandes protecciones de taludes fueron ejecutadas en los Estados Unidos y Canadá.

4.4.2 Revestimientos

El Suelo-Cemento ha sido muy usado también, como revestimiento de Canales, debido a su baja permeabilidad. Coeficientes de Permeabilidad alrededor de 10^{-9} m/seg, fueron obtenidos en Suelo-Cementos dosificados con Cenizas Volantes y Cal.



Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2008 - RCC Symposium
Setembro / 2008
ISBN
@ 2008 - IBRACON



Figura 03 – Aspecto de los Taludes de la Presa del Reservorio de la Termo-Eléctrica de Martin en la Flórida, durante la visita realizada con Profesionales de la CESP en 1981 [07].

4.4.3. Estabilización de Fundaciones

El Suelo-Cemento ha sido utilizado en secciones macizas para aumentar la resistencia y uniformizar la capacidad resistente de fundaciones para grandes estructuras, como ser bases de los Reactores de la Usina Nuclear **Kloeberg** – Africa del Sur y en las Presas **Cochiti y Richland** en Nuevo Méjico y Texas.

- Aquí entra una pregunta del Autor :
 - ***Si es utilizado para soportar Reactores y Presas, cual es la razón para no ser empleado en la propia presa?***
- Solamente resta la justificativa del desconocimiento!.

4.4.3 Colocaciones Diversas

El Suelo-Cemento tambien ha sido utilizado como relleno, como cuerpo monolítico en presas de reservorios de agua para refrigeración de termo-eléctricas, de depósitos de agua y de contenciones diversas.

5 Viabilidad Técnica

5.1 Generalidades

El conocimiento técnico disponible tiene por base (con excepción de los Estudios citados en [12 y 13]) fundamental, los estudios de las propiedades para Pavimentos y para Protección de Taludes, con el objetivo de obtener resultados a la edad de hasta 28 dias.

En este punto es importante recordar la mención de **Levis H. Tuthill** – “Economical Construction of Concrete Dams” ASCE, New York, 1972, [17].

5.2 Materiales

5.2.1 Suelos – Agregados

Suelos con un contenido de 5 a 35 % de finos menores que 0,075mm, de poca plasticidad, producen las mezclas de suelo-cemento mas económicas. Suelos “con rocas alteradas” son todavia mas económicos. Suelos mas finos requieren un mayor contenido de cemento. Las graduaciones granulométricas pueden ser menos restrictivas que las normalmente utilizadas para hormigones.

5.2.2 Cemento



El uso de Suelo-Cemento se ha caracterizado hasta el momento, por emplear, principalmente, cemento del Tipo Comun (Tipo I ASTM), o de Moderado Calor de Hidratación (Tipo II ASTM), ya que los usos han sido para atender requerimientos a las edades de 7 y 28 días.

5.2.3 Materiales Puzolánicos

De acuerdo con lo citado en 5.2.2 los Materiales Puzolánicos son pocos utilizados en los Suelos-Cementos. Los estudios de la **CESP** [12], a largo plazo, muestran ventajas en el desarrollo de las propiedades con la incorporación de material puzolánico.

5.2.4 Aditivos

Los aditivos químicos, en las colocaciones tradicionales que hacen parte del Estado del Arte del Suelo-Cemento, prácticamente no fueron empleados.

5.2.5 Agua

El agua es necesaria para la mezcla de los Suelos-Cementos, siendo que los suelos mas arenosos requieren de 7 a 10 % de la masa del suelo (145 a 220 kg/m³) y los mas arcillosos pueden llegar entre 10 a 13 % (180 a 260 kg/m³).

6 Dosificación

6.1 General

Los requisitos básicos para un suelo-cemento en utilizaciones comunes, llevan a una mezcla que atienda a dos propiedades “resistencia” y “durabilidad” (esta es medida por el ensayo de hielo-deshielo), en los casos de utilización en obras hidráulicas se agrega otra propiedad : la “permeabilidad”.

Para las utilizaciones sugeridas en este texto, la dosificación debe considerar además de las resistencias (compresión, tracción y corte) y permeabilidad, la disminución de generación de calor, la estabilidad volumétrica, las propiedades elásticas (módulo y fluencia) y térmicas.

6.2 Secuencia para Dosificación

Varios criterios han sido usados para las dosificaciones de suelos-cementos, ya que el mismo concepto adoptado para el HCR se puede usar para el Suelo-Cemento, pues son semejantes.

6.3 Consideraciones Especiales



Algunos suelos que contienen materia orgánica, pueden alterar el pH de la mezcla y causar efectos negativos, por eso hay que prestar especial atención y controlar.

De la misma forma que para los hormigones convencionales y otras mezclas compuestas por cemento, la estabilidad volumétrica y la sanidad pueden ser afectadas por la acción de los sulfatos. Suelos mas arcillosos, que necesitan de mayor cantidad de cemento que los arenosos, pueden ser mas rápidamente afectados por esa acción (de los sulfatos). El uso de material puzolánico en los hormigones se muestran como medida mitigadora de esa acción.

Los suelos mas arenosos y o “rocosos alterados”, dependiendo de la composición mineralógica, podrán generar Reacciones con los Alcalis del Cemento, con expansiones posteriores.

Eses aspectos, nos hacen ver la necesidad del conocimiento de los materiales que seran usados.

7 Características – Propiedades

7.1 General

Las propiedades de los Suelos-Cementos son influenciados y afectados por diferentes aspectos:

- Tipos y cantidades de materiales (Suelo, Cemento, Material Puzolánico, Agua y Aditivos, en el caso que se usen);
- Uniformidad de la mezcla;
- Manoseo y compactación;
- Protección y cura;
- Evolución a lo largo del tiempo.

Un mejor entendimiento del comportamiento del Suelo-Cemento, como así tambien del HCR, puede ser alcanzado con una clara comprensión de las implicaciones resumidas en la Figura 04, presentada a continuación:

Tradução dos termos internos da figura:

Resistencia

Densidad

Curvas de compactación variando el esfuerzo

Vibración

Compactación Manual

Aumentando el Tiempo VeBe

Curva de Totalmente Compactado. Teóricamente “Sin Vacíos”

Mezclas con Compactación Deficiente



Agua o Suelo mas Arcilloso

7.2 Parámetros y Cuidados

El gráfico que se presenta a seguir resume, conceptualmente, las diferentes propiedades de los Suelos-Cementos para utilizar en la construcción de Presas.

Es evidente que el conocimiento de las propiedades a largo plazo, proporcionan ventajas adicionales, que pueden, mejorar más la optimización del uso de materiales con implicaciones técnicas y económicas favorables al Empreendimento. Hay, entonces, la conveniencia y necesidad de un empeño en la realización de ensayos que puedan aumentar esos conocimientos y consecuentemente el dominio seguro para conquistas económicas.

Figura 05 – Testigos de Suelo-Cemento extraídos en 1961 (consumo de 10 % de Cemento Portland Comun) usado en la **Presa de Bonny** – Colorado, indicando una resistencia de 17,6 MPa despues de 50 años de su construcción [07].

Reverendo, o quadro está traduzido no original, vai ter que colar, e, apagar o texto que está em Português. Não apaguei para que vc possa conferir.

Figura 06 – Aspecto de las Fisuras en los Taludes de Protección (construída en Suelo-Cemento), de la Presa de Martin [07].

8 Recomendaciones, Sugestiones y Comentarios

Del mismo modo que este autor sugirió en 1985 para las Presas de HCR [20] se toma nuevamente la libertad de sugerir, con bases técnicas, lo siguiente: para denominar, de forma simplificada la Tecnologia del Suelo-Cemento como “SandCrete”!.

8.1 – Concepto – Proyecto

Como consecuencia del análisis del cuadro de Características y Cuidados citados anteriormente, el Autor presenta las siguientes Sugestiones-Recomendaciones que, deberán ser optimizadas a medida que el conocimiento se torne mas amplio y la confianza se establezca.

La Figura 07 – muestra esquemáticamente una Sección Transversal de una Presa de Gravedad de HCR, preponderantemente utilizada y que puede ser adaptada para las de Suelo-Cemento, con las debidas consideraciones y sugeriones que se presentan a continuación:

8.1.1 Dimensión de la Base (B) e Inclinaciones de los Taludes (**x e y**)



La dimensión de la Base (B) se determina por la inter-relación de la Capacidad Geomecánica de Soporte de la Fundación y los Parámetros del Suelo-Cemento, tales como : Densidad y Resistencias. Las inclinaciones “x” e “y” de los taludes de aguas arriba y aguas abajo son una consecuencia de la Base (B), para una altura pré-determinada de la Presa.

Los aspectos de la adopción de este tipo de estructura en regiones sísmicas, permiten la optimización de las inclinaciones “x” e “y” de los taludes, para una Base “B”, de tal forma que se pueda minimizar las tensiones oriundas de las acciones dinámicas.

8.1.2 Paramento de Aguas Arriba

Conceptualmente el Paramento de Aguas Arriba, debe tener características para Estancamiento, con Baja Permeabilidad y Minimizando la Cantidad de Fisuras, por lo tanto debe ser Durable y asociada a una zona de aguas arriba que pueda soportar los esfuerzos previstos.

Doutor: na figura não conseguí fazer a tradução, não tentei muito, é verdade, por isso está a seguir.

Paramento de Aguas Arriba: Estanco y Durable

Mezcla de Asiento: Si es necesario, con base en los análisis de tensiones

Galeria : Inspección, Control, Cortinas de Inyección y Drenaje

CUERPO DE LA PRESA: Propiedades Mecánicas, Elásticas y Térmicas

Paramento de Aguas Abajo: Aspecto Visual Agradable y Durable

Mezcla de Asiento: Si es necesaria, dependiendo del Análisis de Tensiones

Hormigón de Regularización e Inyecciones de Contacto (si es necesario)

Figura 07 – Aspecto esquemático sugerido para una sección transversal considerando la colocación de suelo-cemento en el cuerpo de la presa

De una forma genérica y con base en los Tipos de Paramentos usuales podemos describir las siguientes opciones:

- a) Hormigón Convencional (HC)** ejecutado simultaneamente con el Suelo-Cemento y en capas. El ancho de la capa del HC debe ser calculado en función de la Permeabilidad del HC, pero evitando que el consumo de aglomerante sea superior a los 200 kg/m³, de tal forma que se disminuya el riesgo de fisuras de origen térmico;
- b) Placas Pré-Fabricadas de Hormigón con Membrana de PVC**, incorporada a la placa pré-fabricada y adicionalmente una capa de HC de ancho inferior a la sugerida en a), colocada inmediatamente antes de las capas del Suelo-Cemento;
- c) Capas de Suelo-Cemento Modeladas Directamente Contra los Encofrados** y la adopción de un sistema de Impermeabilización posterior. En esa opción, se debe evitar la colocación de una losa de HC modelada posteriormente, contra el



Suelo-Cemento, por que se estaria creando una “Restricción” y como consecuencia se estaria facilitando la generación de fisuras. La colocación de una membrana externa se torna entonces un complemento.

De las tres opciones, la alternativa **b)** se torna la opción mas importante, por las siguientes ventajas:

- Los Pré-Fabricados actuan como encofrados y la membrana como elemento de estancamiento; lo que torna irrelevante el aparecimiento de fisuras;
- Los Pré-Fabricados actuan como un aislante térmico durante el período inicial despues del vertido del hormigón, minimizando el aspecto negativo del gradiente de temperatura dia-noche y consecuentemente la generación de fisuras provenientes de ese gradiente;
- En el caso de realizar obras en regiones sísmicas, si se producen fisuras en el muro de hormigón del paramento de aguas arriba, la membrana (con su elevado poder de alargamiento) minimiza el establecimiento de presiones desestabilizantes;
- Proporciona un aspecto visual agradable y además durable;
- Los costos pueden ser compensados por la eliminación de encofrados y por la reducción del ancho del HC, comparativamente a lo requerido en **a)**

La solución **b)**, cuando adoptada, debe tener una red de drenaje asociada al contacto Membrana*Muro de HC. **Andriolo: antes de mandar para frente gustaria de ter clareza sobre este conceito,**

8.1.3 Paramento de Aguas Abajo

El Paramento de Aguas Abajo tiene la finalidad de presentar un aspecto agradable y ser durable. Por lo tanto puede ser construido con las opciones normalmente adoptadas para los macizos de HCR.

En las regiones donde el Suelo-Cemento pueda ser usado para recibir una estructura vertiente (vertedero), de la misma manera, pueden ser adoptadas las opciones que se presentan para el HCR.

8.1.4 Cuerpo de la Presa

Es de aquí que se pueden extraer los beneficios de utilizar el Suelo-Cemento, por sus satisfactorias capacidades Mecánicas – Elásticas y Térmicas. Se puede adoptar un macizo de Suelo-Cemento con el mismo concepto adoptado para un macizo de HCR, con los ajustes citados en 8.1.1

8.1.5 Galerías

Implantar Galerías en presas con mas de 10 metros de altura son convenientes sobre aspectos técnicos (aspecto de estabilidad) [21], y por permitir ejecutar un sistema de



**Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2008 - RCC Symposium**
Setembro / 2008
ISBN
@ 2008 - IBRACON



drenaje, de impermeabilización (sea de la fundación o del cuerpo de la presa), además de la auscultación.

Las galerías tienen una gran importancia en Presas, por que permiten realizar acciones correctivas si fueren necesarias.

Por otro lado la incorporación de una galería en el cuerpo de una presa es visto – constructivamente- como una condición que reduce la productividad. Lo que muchas veces, dentro de una Planificación adecuada, no genera esa interferencia. Hay si, que analizar las ventajas y desventajas, sin perjudicar la Seguridad y las eventuales acciones correctivas, que puedan ser realizadas en el futuro, durante la operación de la Presa.

8.1.6 Requerimientos Para el Comportamiento de las Juntas de Construcción

Viendo el punto 8.1.1, se puede apreciar que se debe garantizar que las capas de Suelo-Cemento conformen un cuerpo monolítico. En esta situación, la adopción de Mezcla de Asiento (Bedding-mix) o una lechada espesa de cemento, se torna un Requisito Conceptual del Proyecto.

Las fluctuaciones conceptuales, de las ventajas de ampliar extraordinariamente el tiempo de endurecimiento del HCR, para evitar el tratamiento de juntas, lo que es meramente una divagación teórica, no se ve conveniente en estas recomendaciones. La extensión de la zona entre los paramentos que debe recibir la mezcla de asiento (bedding-mix), debe ser orientada y definida con base en los Estudios de Tensiones y **Esfuerzos**.

8.1.7 Hormigón de Regularización e Inyecciones de Consolidación

La adopción de una capa de HC, como regularización es un artificio para facilitar los trabajos iniciales para la colocación del HCR y para realizar los trabajos de inyección de contacto **y o consolidación**, si es pedido por el Proyecto, lo que no es comun en Brasil.

8.1.8 Control de la Temperatura de Colocación

Es evidente que si se busca simplificar, hay, implícitamente la conveniencia de eliminar la refrigeración. Recordando las referencias [1 a 3 y 17] hay una sintonía perfecta sobre ese asunto. Además de eso, hay estudios que muestran la posibilidad de colocación de HCR en capas diarias, a la temperatura del ambiente, de hasta cerca de 35°C, sin el uso de refrigeración [22].

Como ese aspecto depende fundamentalmente del consumo de aglomerantes, por prudencia, se recomienda efectuar un Estudio Térmico para cada situación y región, y, modular las Juntas de Contracción con distancias convenientes.



Se destaca que la adopción de una solución para el Paramento de Aguas Arriba, como fue descrito en la opción **b)** del tópico 8.1.2, es un elemento simplificador en esos aspectos.

8.1.9 Juntas de Contracción

La distancia entre las Juntas de Contracción discurre del ítem 8.1.8. Pero, teniendo en cuenta los pocos conocimientos que se tienen de la Fluencia, es conveniente que las distancias, inicialmente no sean superiores a 15 metros.

El sistema de estancamiento de las Juntas de Contracción puede ser el mismo adoptado para los macizos en HCR, con una línea doble de Juntas de PVC con un dren incorporado.

8.2 Detalles del Proyecto e Interferencias con el Método Constructivo

La necesidad de tener en el cuerpo de la Presa de Suelo-Cemento, detalles como Drenes, Embutidos, Pozos, Galerías, Instrumentos, deben ser abordados del mismo modo que para las Presas de HCR.

8.3 Aspectos Constructivos

En las construcciones con Suelo-Cemento, los objetivos son análogos a los del HCR, o sea, obtener una mezcla uniforme, adecuadamente transportada y compactada, y que sobre una cura correcta pueda satisfacer las propiedades requeridas.

8.3.1 Explotación de Areas de Préstamos

Los depósitos naturales, raramente no son uniformes, lo que nos lleva a la necesidad de un análisis de acciones y procesamiento **este parágrafo está um pouco confuso para meu gosto.....**

De cualquier manera, tenemos que entender, que esas implicaciones resultan en costos menores que la explotación convencional para obtener agregados para los hormigones.

8.3.2 Procesamiento, Homogeneización y Stock *Chico: essa palavra está em Itálico porque é uma paavra de origem estrangeira.*

Como consecuencia de lo citado en 8.3.1, puede ser necesario un procesamiento del tipo, retirar los “sobre-tamaños” o agregados grandes (en el caso de suelos con rocas alteradas), y o homogeneización y o secado (en el caso de suelos arcillosos).

Esas providencias tienen la connotación conceptual teórica, con la intención de minimizar las dispersiones, de tal forma que se puedan obtener las propiedades requeridas con una pequeña variación y con eso minimizar el contenido de cemento.



Pero, del punto de vista práctico y económico, se debe establecer un análisis, de tal forma que se pueda verificar la conveniencia de realizar un procesamiento, o cubrir esas dispersiones con una cantidad adicional de aglomerante (y sus implicaciones técnicas decurrentes!), de tal modo que se cumplan las propiedades requeridas, con la mas absoluta seguridad.

8.3.3 Proporciones y Mezclas

Para el caso, de utilización de Suelo-Cemento, se descarta la opción del uso de Pulverizadores in-situ, empleado en pavimentos y algunas protecciones de taludes.

En el caso de una colocación mas concentrada, como en presas, se recomienda que las proporciones de los materiales y el mezclado sea realizado en centrales dosificadoras, que pueden ser

- Gravimétrica, o
- Volumétrica.

Es totalmente conocido que las dosificadoras volumétricas causan mayores dispersiones en las propiedades del producto final, que las dosificadoras gravimétricas. En ese caso remitirse al comentario del item 8.3.2.

Las mezcladoras forzadas de ejes simple o doble se muestran mas adecuadas, ya que las mezcladoras basculantes, tradicionalmente utilizadas en los años 50 a 90 para los Hormigones Convencionales Masivos de las Presas, no se muestran eficientes, debido a la cantidad de finos presentes en las mezclas del HCR, que generan mezclas mas cohesivas y por consiguiente, existe la posibilidad de aglutinación de la masa en las paletas de esas mezcladoras. Eso nos lleva a preferir utilizar mezcladoras forzadas, que poseen un ciclo menor que las mezcladoras basculantes, para la misma capacidad nominal individual de la mezcladora.

Las construcciones de HCR proporcionaron enseñanzas a los mas reticentes, y una de esas orientaciones fue la adopción de un silo de abastecimiento inmediatamente despues de las mezcladoras, con el objetivo de no vincular el ciclo de los vehículos de transporte con el de las mezcladoras. Ese silo debe tener un volumen proporcional al de las mezcladoras y ser compatible con los vehículos de transporte.

8.3.4 Transporte y Manoseo

El transporte, desde el sistema de producción hasta el lugar de colocación debe ser lo mas rápido posible (menos de 30 a 40 minutos), de tal forma que se minimice la pérdida de humedad. Y que el tiempo desde el comienzo del transporte, esparcimiento y compactación, no pase del Tiempo de Inicio de Fraguado (que debe ser conocido por



quien manosea los materiales compuestos por cemento) y de preferencia que no sea superior a 90 minutos.

No hay restricciones dogmáticas al tipo de transporte a ser adoptado (camiones, correas transportadoras, moto-scrapers, etc...) desde que el sistema sea compatible con la magnitud de la obra, con el Cronograma de Construcción y que cumpla con los tiempos recomendados anteriormente y no produzca segregaciones (principalmente cuando se usan suelos que presenten vestigios de alteraciones rocosas).

Nota: *Se ha observado frecuentemente en las construcciones con HCR que las Empresas Constructoras tienen una predisposición contra esos límites de tiempo, sin considerar, que al cumplir con esos objetivos, estará siendo más productivo!*

Los camiones basculantes, cuando utilizados, deberán cubrir la carga de Suelo-Cemento con una carpa o lona protectora húmeda.

Del mismo modo, vale la recomendación, junto a la salida de las mezcladoras. Esta recomendación es válida para todas las situaciones en que hay cambios del tipo de transporte. O sea, de continuo para intermitente o viceversa.

8.3.5 Esparcimiento y Nivelamiento

De la misma forma que el HCR, el Suelo-Cemento deberá ser colocado en capas y esparcidas por tractores de lámina frontal y o motoniveladoras. La altura de las capas deberá ser compatible con el Rodillo Compactador que se adopte y o que disponga el constructor y que pueda compactar el Suelo-Cemento utilizado con un grado de compactación mayor que 97 % (preferencialmente mayor que 98 %, se recomienda analizar el Gráfico de la Figura 04).

8.3.6 Compactación

La compactación debe ser terminada lo más rápido posible y siempre tratar de atender las recomendaciones del ítem 8.3.4.

Para suelos más arcillosos, normalmente son utilizados Rodillos del tipo "Tamping" o "Pata de Cabra" y para suelos del tipo arenoso y con materiales con alteración de roca rodillos lisos vibratorios.

Decurrente de esas opciones se recomienda que el Constructor realice Terraplenes de Pruebas y o Terraplenes Experimentales para calibrar sus equipamientos, altura de las capas, número de pasadas, entrenamiento del personal para que las propiedades requeridas puedan ser atendidas.

8.3.7 Tratamiento de la Superficie de las Juntas de Construcción



El tratamiento de la superficie de las juntas de construcción, debe ser entendido como todos los procedimientos necesarios, para restablecer las condiciones de monolitismo de la estructura, anteriormente alterado por la colocación en capas y que pasaron del Tiempo de Fraguado del Suelo-Cemento. O sea, un tiempo superior, al necesario para que se realicen las reacciones de hidratación y con eso permitir la adherencia entre las capas “nueva” y “vieja”.

Esa es una actividad crítica, tanto en los hormigones convencionales y HCR utilizados en estructuras hidráulicas, por eso las Especificaciones de Proyecto, no pueden dejar de prestar mucha atención, para la Calidad y Seguridad. En el caso de utilizar Suelo Cemento para las finalidades aquí propuestas, las Especificaciones deben tener imposiciones correctas.

Como consecuencia del Análisis de Tensiones, el cuerpo de la Presa tendrá zonas solicitadas por las Tensiones de Tracción, **Compresión** y Corte, y, otras zonas por el Angulo de Fricción y **Cohesión**. Por lo expuesto anteriormente, el tipo de tratamiento en la superficie de la Junta de Construcción puede ser diferente para cada zona.

O que está em vermelho é minha sugestão.....,pode tirar se achar conveniente...

El tipo de tratamiento debe ser análogo al aplicado en las superficies de las Juntas de Construcción del HCR, o sea:

- En las zonas donde **hay requerimientos** de Tensiones, limpieza con chorros de aire húmedo con presión de 7 bar , retirar todo el material suelto y dañado o suciedad. Posteriormente **colocación de mezcla de asiento (bedding-mix)**;
- En las zonas donde **no hayan requerimientos de tensiones**, limpieza con chorros de aire húmedo con presión de 7 bar, retirar todo el material suelto y dañado o suciedad.

Si eventualmente se utilizan Hormigones Convencionales, en los Paramentos de Aguas Arriba y Aguas Abajo, la superficie de las juntas de construcción de esos hormigones, debe atender el concepto de tratamiento de juntas de hormigones convencionales (lo que el Autor espera que todos los que trabajan con hormigones sepan!).

Además, para uniformizar las operaciones de aplicação de la mezcla de asiento (bedding-mix), la misma puede ser extendida sobre los hormigones, después de la preparación de la superficie de la capa inferior. Esas operaciones deben ser realizadas antes del colado de la nueva capa.

8.3.9 Protección y Curado

Protección



- Durante los servicios de esparcimiento y compactación el micro-clima de la región donde se concentran las operaciones, deberá mantenerse húmeda, por medio de nebulizadores de agua;
- Cuando ocurran lluvias, se puede proceder como se procedería en las construcciones de HCR;
- En las construcciones en clima frío, las operaciones deben ser realizadas de modo que se garanta el comienzo del fraguado del material.

Tránsito Sobre la Superficie Compactada

Si, una actividad hace daños a la superficie, el material dañado deberá ser retirado, cuando se realice el Tratamiento de la Junta de Construcción.

Frente a ese problema, el tráfico de vehículos y equipamientos sobre la superficie debe ser realizado de tal forma que no se generen daños, ya, que, al haber daños, habrá que retirar materiales desnecesariamente.

Se estima, que con el uso de cementos y del propio HCR, el tráfico de vehículos leves pueda ser tolerada después de la compactación (de 4 a 5 horas) y los vehículos pesados a partir de 10 a 12 horas. La acción de las travas de la oruga deben ser evitadas.

Curado

La cura es necesaria para que se desarrollen las reacciones de endurecimiento del compuesto por los cementos, además, la cura después de la compactación permite extraer calor (proveniente de la hidratación) antes que se produzca el Pico Térmico debido a la hidratación.

Por lo menos, por esas razones la cura debe ser realizada con agua, por la acción de nebulizadores, durante los 3 a 4 primeros días y por aspersion (lo que no significa chorros) de agua por un tiempo no inferior a 10 días o hasta que una nueva camada sea construida sobre la que está terminada.

8.4 Sistema Para el Control de Calidad

El Autor es de la opinión, que el Control de Calidad no es apenas un registro de informaciones y la elaboración de gráficos lindos y descriptivos de elevado impacto visual, es muchísimo más que eso, es la correcta manipulación de informaciones para poder tomar decisiones en tiempo hábil y compatible con la dinámica de construcción, para minimizar errores, corregir fallas y maximizar la uniformidad, de tal forma que la calidad se establezca autogenamente.

Frente a eso el Sistema de Calidad debe englobar:

Capacitación y Cualificación de los Participantes en los procesos y actividades;

- # Simulación de actividades fundamentales, y, eventuales no conocidas (enseñanzas, disertaciones, ejecución de terraplenes de pruebas)
- # Establecimiento de rutinas y métodos que conduzcan a una absorción rápida de las informaciones, con análisis sistemáticos y advertencias a vulnerabilidades;
- # Conocimiento previo del comportamiento (estadística) de los materiales adquiridos de terceros para la obra;
- # Conocimiento y dominio del proceso de producción de los materiales (sistema de procesamiento de los materiales, producción de las mezclas, transporte, colocación y compactación) para actuar en los puntos críticos;
- # Establecer rutinas y acciones para garantizar el cumplimiento de las propiedades exigidas con la menor dispersión posible;
- # Rapidez y confiabilidad en las acciones, honestidad en los registros, fidelidad en las informaciones;
- # Auscultación y control eficiente;
- # Registro claro, impersonal y auto-explicativo.

Respuestas a las preguntas de la Figura 01

Homigón vibrado convencionalmente

HCR con los mismos materiales de la foto anterior

HCR-Hormigón Compactado con Rodillo

Suelo-Cemento-Presa de Bonny-Colorado-USA

Sandcrete-Suelo-Cemento Arenoso

Figura 01 **Respuestas**-Materiales conteniendo mezcla de Cemento con Agregados de Distintos Tamaños Máximos

1 Introdução

- **O Qual é o Que?** Nas Figuras 01, a seguir, são mostrados 5 materiais compostos por cimentos. **Pede-se a fineza dos interessados em identificá-los!**



Material A



Material B



Material C

Material D

Material E

Figura 01- Materiais contendo mistura de Cimento com Agregados de Distintos Tamanhos Máximos

Desde a leitura de [01] [02] e [03], associada às primeiras aplicações do CCR no Brasil [04][05] e [06] este Autor sempre buscou incentivar o entendimento e pesquisar o uso do Solo-Cimento como um elemento estrutural para o corpo de Barragens.

No início dos anos 80 o interesse da **CESP** (Agência Governamental do Setor Elétrico) na busca de soluções para a proteção e taludes em barragens no Pontal do Paranapanema, devido a ausência de rocha adequada a essa finalidade, fez oportuno visitar Projetos nos Estados Unidos, onde se utilizava o Solo-Cimento para a proteção de Talude^[07], o que evidenciou o potencial desse material como uma alternativa estrutural. À época o CCR, no Brasil, passa pelas contrariedades citadas em [04] e ainda não havia se estabelecido como prática de construção de Barragens.

As aplicações realizadas nas Obras da **CESP**^[08], bem como, logo após, no Dique do Moju na Hidrelétrica de **Tucuruí**, pela **ELETRONORTE** (Agência Governamental do Setor Elétrico)^[09 a 11] evidenciaram propriedades resistentes, mas que, infelizmente, à época, foram caracterizadas apenas à idades até 28 dias.

No início dos anos 90, já no período, em que as Barragens de CCR no Brasil emergiam, este Autor sugeriu à **CESP** estabelecer um programa preliminar de pesquisas visualizando o Solo-Cimento como material de potencial estrutural para a construção de barragens, e cuja fase inicial revelou resultados espetacularmente promissores para a finalidade^[12], à idades de avaliações desde 28 até 1 ano. Estudos mais recentes atestam a qualidade desse material para essa alternativa estrutural

Os Japoneses, recentemente adotaram o “**C-S-G: Cemented Soil and Gravel**”, e que tem sido aplicado desde 1991 em ensecadeiras, como a da barragem de Nagashima (com cerca de 30m de altura) com uma seção de 0,6:1,0 (montante) e 0,7:1,0 (jusante)^[13], com um teor de cimento de 60kg/m³.

Passado a fase das contrariedades e o estabelecimento da maioria das barragens de CCR no Brasil, que se consolidou como um co- líder nesse tipo de construção, tem-se sugerido à Entidades Governamentais, e até à Entidade Representativa dos Fabricantes de Cimento no Brasil^[14] que se estabeleça alternativas para o emprego desse material



com características estruturais para Barragem. A imensidão territorial do Brasil, suas diversidades e adversidades, que também se observa em outros Países, são oportunidades potenciais para essa adoção.

O presente Texto busca criar condições de debates sobre o assunto e tenta direcionar e recomendar sugestões como base no conhecimento contemporâneo sobre o material, e analogias que podem ser feitas com segurança.

2 Aspectos Referentes à Necessidade

Premissa I-

Não há **SOLUÇÃO ÚNICA** para todas as Barragens! Cada local, cada tipo de material disponível implica em ajustes! **De Engenhosidade!**

- Não existe “um único” tipo de Barragem para um local!;
- Há um tipo e arranjo, que se adapta ao local de um barramento- aproveitamento, que “melhor” se enquadra às condições de:
 - Momento (Custos praticados à época);
 - Cronologia;
 - Condições Topográficas - Geológicas;
 - Disponibilidade de Materiais;
 - Segurança;
 - Conhecimento (das várias partes envolvidas)
- Há, então, um tipo de barramento que convém àquela obra, àquela época.

O importante é que os Profissionais envolvidos, as Comunidades Técnicas e Representativas e Empresas de Projeto e Construção, disponibilizem soluções econômicas- seguras- rápidas- vantajosas aos interesses do País e da Sociedade!

Não se deve, prioristicamente, eliminar uma eventual solução por questões individuais, ou de âmbito restrito-confinado, e muito menos por paixão ou vaidade!.

Premissa II-

No Brasil a média da altura de todas as barragens construídas (hidrelétricas, Obras de Abastecimento, Contra enchentes, etc...) é inferior a 50m (diga-se 70m para estar acima da média das Barragens de CCR que é de cerca de 60m)

Altura da Barragem (m)	Talude Montante	Talude Jusante	Tensão efetiva-CCN ^(a) (MPa)	Tensão efetiva CCE ^(b) (MPa)	Coefficiente de Segurança	Resistência Característica (f_{ck})- (MPa)	Reistência Média a ser obtida (f_{cj}) ^(c) - (MPa)	Idade de obtenção (dias) dos valores	Consumo estimado de aglomerante (kg/m^3) ^(d)
------------------------	-----------------	----------------	---	---	---------------------------	--	---	--------------------------------------	---



								mínimos	
70	0,10	0,65	2,1	2,5	3,0	6,3	7,6	180	61
		0,70	1,8	2,2		5,4	6,5		52
		0,75	1,6	1,8		4,8	5,8		46
	Vertical	0,65	2,4			7,2	8,7		70
		0,70	2,0			6,0	7,3		59
		0,75	1,8			5,4	6,5		52

Notas:

- (e) – *Condição de Carregamento Normal- Peso Próprio + Empuxos*
- (f) – *Condição de Carregamento Excepcional- CCN+ Sismo (0,05g)*
- (g) – *Considerando um Coeficiente de Variação de 20% e Quantil de 1 em 5 valores podendo se situar abaixo do f_{ck}*
- (h) – *Rendimento (MPa/cm²)/ (kg/m³) de 0,125 à idade de 180 dias*

Considerando essa Altura Média, de 70m, e visualizando uma Barragem tipo Gravidade ter-se-á Tensões Efetivas (f_d), no corpo da Barragem, inferiores a 2,0MPa (ver tabela a seguir). Isso leva a Tensões Requeridas (f_{ck}) da ordem de no máximo (para Coeficientes Usuais de 3) 6,0MPa, que por sua vez leva à necessidade de Resistências Médias a serem obtidas da ordem de 7MPa. Diga-se 8,0MPa, para um âmbito mais genérico. Para as Barragens de Concreto (CCR ou CVC Massa) há uma necessidade de um Teor de Aglomerante da ordem de 60 kg/m³.

Ao se considerar efeitos Sísmicos (alem de **0,05g** que é adotado nos Códigos Brasileiros) em outros Países essa Tensão Requerida pode variar um pouco mais, ou a Geometria da Seção Transversal pode ser ajustada convenientemente.

Premissas III

Pode-se considerar como sendo o conjunto de:

- Contrutibilidade;
- Rapidez;
- Simplicidade;
- Segurança;
- Qualidade - Durabilidade;
- Custos

Premissas IV

Minoração à interveniência Ambiental

3 Disponibilidades

A tradicional disponibilidade dos materiais para a construção de Barragens visualizada pelos Romanos e Árabes levou às Rochas e aos Solos.



**Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2008 - RCC Symposium**
Setembro / 2008
ISBN
@ 2008 - IBRACON



O advento do cimento como material fabricado, sem se ater aos aspectos das construções Cal - Pozolana antigas, introduziu o Concreto. As Metodologias e Engenhosidades levaram as mais diversas associações para as construções de Barragens. O Solo-Cimento, devidamente estudado, conhecido e dominado, pode ser uma nova alternativa no cenário.

4 Conhecimento

É vasta a disponibilidade de informações sobre Solo-Cimento, e as facilidades atuais da Mídia, tornam fácil a aquisição do conhecimento sobre o assunto, muito mais do que se vivenciou nos anos 70-80!

4.1 Referências

As Entidades **ABCP** (no Brasil), **Bureau of Reclamation, Corps of Engineers** e **Portland Cement Association**, nos Estados Unidos, e **Japan Comission on Large Dams**, possuem vasta literatura sobre o assunto que, embora, utilíssimas não serão citadas neste texto, por questão de espaço.

Essa vasta literatura, em sua quase totalidade, porem, limita-se a dados de resistências às idades de 7 e 28 dias. Há pouca informação referente às propriedades elásticas, e quanto às térmicas praticamente nenhuma, o mesmo sucedendo com poucos resultados de permeabilidade. Complementarmente há dados quanto à erodibilidade e condições de “posto em serviço”

4.2 Conhecimento Laboratorial

Dos estudos Laboratoriais tomar-se-á como base as pesquisa efetuadas pelo **Laboratório da CESP**, em Ilha Solteira, pelo fato de que foram feitas avaliações até a idade de 365 dias ^[12] e cujos resultados e citações são transcritas para este texto:

“...3- *CONCEPT*

Constructive processes using cementitious soils are simple and economical. The equipment used for mixing, placement and compacting are well known. Construction technique follows procedures resulting in the application of pulverized soil mixes with the correct proportion of water and cementitious mix to allow maximum compacting. After mixing is prepared, the material is spread, compacted and cured. Fly Ash has been used with relative success in cementitious material-soil mixes, improving soil working conditions and characteristics. Almost all natural soils are acceptable for composition with cementitious material. Sandy types are preferred to clayey types for soil with cement mixes as these are more easily pulverized and require a lower cement content to attain the required strength and durability. For lime addition the best results are observed in clayey or medium clayish soils. For sandy or low plasticity soils, the addition of pozzolanic materials will help binder action.

Brazil's vast dimensions enhances great possibilities for development and application of this technology, not only because of the existing soils and diversity of materials available in its territory, but also because of the geographic location of cement and lime plants.

4- RESEARCH PROGRAM

The research program being developed at CESP's Civil Engineering Laboratory in Ilha Solteira-São Paulo-Brazil, tries to evaluate properties and behavior of soil and cement , soil and lime and soil, lime and pozzolanic material mixes so that these mixes can be used as alternative materials for dam construction replacing conventional concrete, rockfill and soil dams.

4.1- Materials

4.1.1- Soils

Three very different basic soil types were selected, namely:

- *A = Sandy Soil , type A-2-4;*
- *B = Medium Soil, Silty, type A-4;*
- *C= Clayey, type A-7-6, with characteristics as shown in Figure 1.*

SOIL		A	B	C	
CLASSIFICATION NBR		A - 2 - 4	A - 4	A - 7 - 6	
CLASSIFICATION IG		0	4	15	
pH		4,99	4,96	5,86	
LL - %		23	26	48	
LP - %		13	16	27	
IP - %		10	10	21	
ABSOLUTE SPECIFIC GRAVITY - g/cm ³		2,73	2,74	2,85	
% RETAINED ON SEPARATE SIZES	2,0 to 0,42 mm	MEDIUM SAND	10	2	4
	0,42 to 0,05 mm	FINE SAND	60	55	36
	0,05 to 0,005 mm	SILT	4	12	8
	< 0,005 mm	CLAY	26	31	52
OPTIMUM MOISTURE - %		10,5	12,8	20,5	
MAXIMUM DRY DENSITY - g/cm ³		2,008	1,914	1,697	

FIGURE 1- CHARACTERIZATION OF SOILS USED TO CARRY THESE STUDIES.

4.1.2- Agglomerants

The following materials characterized as shown in Figure 2 ,have been used:

- *Portland cement*
- *Hydrated lime*
- *Pozzolanic material - (Fly Ash)*

4.1.3- Mixes

Using appropriate routine techniques, mixes were prepared and a series of cylindrical test specimens (50mm)x(100mm), were molded for simple axial compression strength, splitting tests (diametral compression) and modulus of elasticity tests at ages of 3, 7, 28, 90, 180 and 360 days. Figure 3 shows the mixes studied and respective binder contents added to the soil mix.

Maximum densities and optimum humidity values were established for each mix through compacting tests with result values as shown in Figure 4.

The "pH" values for each mix were established at mechanical test ages.

MATERIAL			CEMENT	FLY ASH	LIME
% RETAINED ON SIEVE # 325			14	57,5	
FINENESS SPECIFIC SURFACE - BLAINE - cm ² /g			3154	2466	
AVERAGED DIAMETER - micron				11,6	
APPARENT SPECIFIC GRAVITY - g/cm ³			1,12		
ABSOLUT SPECIFIC GRAVITY - g/cm ³			3,15		
REACTIVITY WITH ALKALIES	REDUCTION OF EXPANSION - %			63,3	
	MORTAR EXPANSION - %			0,053	
POZZOLANIC ACTIVITY INDEX	WATER	REQUIREMENT - %		106,3	
	WITH	CEMENT - %		69,6	
	WITH	LIME - MPa		3,5	3,5
WATER FOR FLOW	CONSISTENCY	grams	130		
		%	25,9		
DRYING SHRINKAGE - %				-0,016	
TIME OF SETTING h:m			02:19		
AUTOCLAVE EXPANSION - %			0,054		
COMPRESSIVE STRENGTH CYLINDERS 50x100mm	3 DAYS	MPa	22		
	7 DAYS	MPa	28,8		
	28 DAYS	MPa	34,5		
	90 DAYS	MPa	35,6		
HEAT	HYDRATION	7 DAYS	89		
		28 DAYS	93		
MOISTURE - %				0,03	
CHEMICAL ANALYSIS %	LOSS ON	IGNITION	3,54	0,071	28,61
	INSOLUBLE	RESIDUE	0,33		1,7
	SiO ₂		19,85	56,36	
	Fe ₂ O ₃		3,57	6,08	
	Al ₂ O ₃		5,07	30,54	
	CaO		63,68	1,58	57,29
	Mg		1,42	0,26	11,61
	SO ₃		1,81	0,34	0,08
	Na ₂ O		0,1		
	K ₂ O		0,92		
	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃			36,62	0,62
	Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ +SiO ₂			92,98	
	ALKALIES Eq.		0,71	0,55	
	FREE LIME AS CaO		1,12		
	C ₃ S		56,23		
	C ₂ S		15,12		
	C ₃ A		9,21		
C ₄ AF		8,96			

FIGURE 2- PHYSICAL-CHEMICAL ANALYSIS FOR BINDERS USED

PROPORTIONING MIX	BINDER									
	CONTENT %					CONTENT - Kg/m ³				
SOIL+ CEMENT	2	4	6	8	10	32,3	64,2	94,7	125,8	155,8
SOIL + LIME	2	4	6	8	10	31,1	51,1	88,7	116	140,4
SOIL + LIME + FA	2 + 10	4 + 10	6 + 10	8 + 10	10 + 10	29 + 147	56 + 145	84 + 140	109 + 137	133 + 133
SOIL + LIME + FA	2 + 15	4 + 15	6 + 15	8 + 15	10 + 15	28 + 213	56 + 210	82 + 205	107 + 202	131 + 196
SOIL + LIME + FA	2 + 20	4 + 20	6 + 20	8 + 20	10 + 20	28 + 280	55 + 277	80 + 266	104 + 260	127 + 254

FIGURE 3- MIXES STUDIED AND CONTENTS OF BINDERS USED

	%	MAXIMUM DRY DENSITY-g/cm ³	OPTIMUM MOISTURE - %	MAXIMUM DRY DENSITY-g/cm ³	OPTIMUM MOISTURE - %	MAXIMUM DRY DENSITY-g/cm ³	OPTIMUM MOISTURE - %
CEMENT	2	1,986	10,7	1,852	13,1	1,68	20,6
	4	1,993	10,4	1,861	13	1,693	20,6
	6	1,99	10,6	1,864	12,9	1,698	19,7
	8	1,996	10,2	1,865	13,2	1,705	20,3
	10	2,008	10,2	1,868	12,5	1,717	19,7
LIME	2	1,94	11,5	1,824	12,7	1,68	20,7
	4	1,918	11,6	1,81	13,5	1,66	20,9
	6	1,914	11,7	1,811	13,9	1,65	21,1
	8	1,916	11,8	1,809	13,8	1,647	21
	10	1,886	12	1,789	14	1,644	21,5
LIME+10% FLY ASH	2	1,867	11,9	1,772	13,7	1,65	20,5
	4	1,865	11,9	1,768	13,7	1,655	20,8
	6	1,843	12,1	1,763	14,4	1,62	21,4
	8	1,84	12,6	1,747	14,4	1,634	20,8
	10	1,816	12,4	1,747	14,6	1,624	21,2
LIME+15% FLY ASH	2	1,822	12,4	1,744	14	1,634	20,3
	4	1,837	12,6	1,732	14,9	1,628	20,4
	6	1,821	12,7	1,73	14,7	1,621	20,7
	8	1,815	12,5	1,733	14,9	1,614	20,9
	10	1,798	12,6	1,718	15,2	1,613	21
LIME+20% FLY ASH	2	1,818	12,7	1,723	14,5	1,622	20,4
	4	1,804	12	1,714	14,4	1,611	20,8
	6	1,793	13,1	1,693	14,9	1,608	20,8
	8	1,787	13,3	1,697	15,5	1,604	21
	10	1,764	13	1,694	14,4	1,589	21,6

FIGURE 4- COMPACTION TESTS WITH NORMAL ENERGY ON MIXES STUDIED

4.3- Results of Mechanical Tests

Results for mechanical axial compression resistance tests are shown in charts of Figures 5, 6, and 7.

Neste texto fixar-se-á a atenção somente sobre o Solo-Arenoso (Tipo A-2-4)

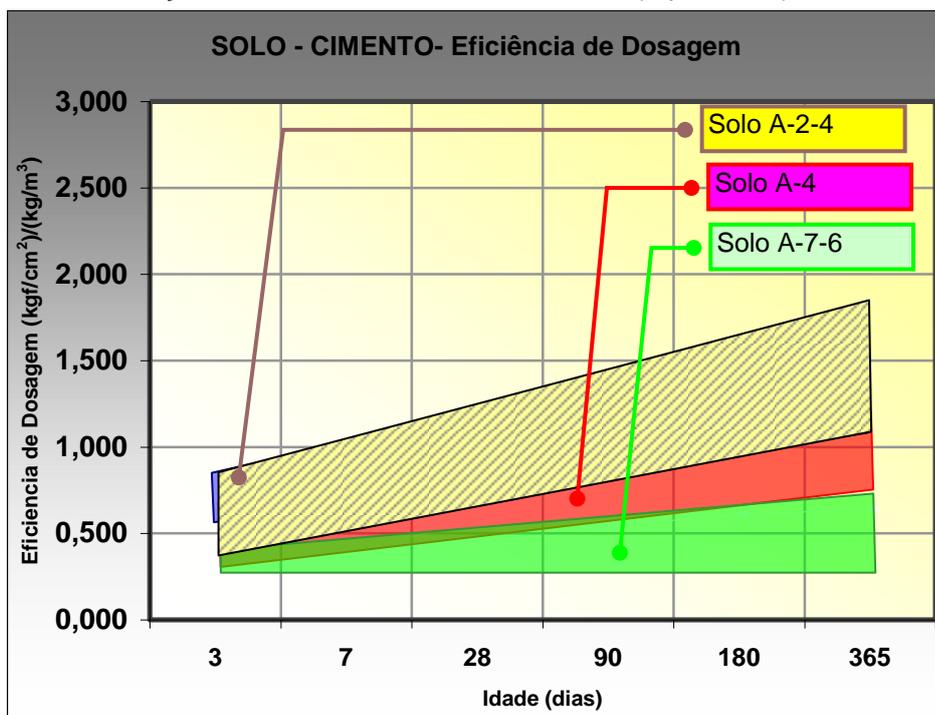


FIGURE 5- COMPRESSION RESISTANCE OF SANDY SOIL

Nota: Os resultados foram transformados em Eficiência de Dosagem, para uma maior comparação



5- COMMENTS

Soil samples are representative of three different types of materials. Test specimens were molded using Normal Compaction Energy showing densities within normal parameters for the types of soils under study.

Generally speaking, resistances have increased with age with soil and cement mixes displaying small dispersion for more or for less, between 180 and 360 days, due to differential development.

- *Relatively large of 7 for 90/180 days and small for 180 to 360 days, this development being absorbed by tests dispersion itself.*
- *This behavior was observed also, in randomly manner, for silty soils with lime and sandy with lime, being less evident for Fly Ash and Lime mixes.*
- *This small development of resistances in soils with cement from 180 to 360 days of age, may be attributed to the high content of C_3S in the cement used, which enables quicker resistance development.*

Soils "A" and "B", with greater sandy portions in their composition have resulted promising for mixing with binders. Soil "A" with 10% cement (155,8 Kg/m³) achieved a 18 MPa. strength at the age of 180 days. Soil "C", of clayey characteristics, showed results inferior to those of other two types of soils, and was not promising at all for mixes with Lime and Lime + Fly Ash.

The use of pozzolanic material resulted in greater resistances at old ages which increased when contents were incremented from 10% to 15%, becoming stable between 15% and 20%.

Mixes with soil "C" (clayey type) showed the lowest indexes for mechanical properties, while mixtures with soil "B" (silty type), reached intermediary ranges as expected. Therefore, it is ascertained that sandy and silty type soils are the most promising for this application. Mixes with cement resulted in greater resistances up to the age of 180 days and lime and pozzolanic material mixes had an expressive evolution from 28 to 360 days.

Mixes with 15% and 20% of Fly Ash and Lime, show resistance values nearer those for mixes with cement for soils type "A" and "B".

Although tensile strength values obtained through diametral compression and modulus of elasticity, are not indicated in this text, the following remarks apply to these properties:

- *The relation between the tensile strength through diametral compression and simple axial compression has been about 10% with a variation coefficient of 15% in the global universe of test values, with no particular bias for any of the mixes under study;*
- *Modulus of elasticity remained between 60.000 Kgf/cm² and 100.000Kg/cm² for soil and cement and soil and lime mixes, this property decreasing as the soil becomes more plastic (greater water content). This induces greater delayed elasticity which can be evidenced in the research supplementary phases and must be considered when dealing with very high structures.*

6- DISCUSSIONS

The results of this first phase show very promising mechanical property values for certain mixes of great economical significance which depending on the place and project and foundation

characteristics may serve as alternatives for conventional dams (RCC, Conventional Mixed Concrete, Compacted Soil, Rockfill)...”

4.3 Aplicações no Brasil

A ocorrência de Solos Arenosos e Aluviões com Areia e Cascalhos bem como Cascalhos de Terraço é relevante no Território Brasileiro, bem como em regiões de outros Países.

Essa disponibilidade de material permite o desenvolvimento de dosagens de Solos (preferencialmente Arenosos, e muito mais de Aluviões) – Cimento para a estruturação de corpos de barragens. A disponibilidade de Solos Arenosos no Nordeste e ao redor das Bacia do Paraná, Tocantins, São Francisco, é relevante [15]



Figuras 02- Aspectos do Material Arenoso de potencial uso para Solo-Cimento 1982

4.4 Aplicações Conhecidas no Exterior

A Referência [16] cita vários tipos de aplicações que se multiplicaram a partir de 1975, a saber:

4.4.1 Proteções de Talude

Com base em estudos laboratoriais que demonstraram uma boa capacidade resistente a erosão, o **U.S. Bureau of Reclamation** construiu, em 1951, um protótipo para avaliações em grande escala, no Reservatório de **Bonny**, no oeste do Colorado. Após 10 anos de observação, com mais de 100 ciclos de gelo-degelo, por ano, o **USBR** convenceu-se da aplicabilidade do material e a partir de 1961 especificou o Solo- Cimento como alternativa aos enrocamentos para a proteção de taludes. E, desde 1961, mais de 300 grandes proteções de talude foram executadas nos Estados Unidos e Canadá

4.4.2 Revestimentos

O Solo-Cimento tem sido usado muito, também, como revestimento de Canais, devido à baixa permeabilidade. Coeficientes de Permeabilidade ao redor de 10^{-9} m/seg, tem sido medido em Solo-Cimentos dosados com Cinza Volante e Cal.



Figura 03 – Aspectos dos Taludes da Barragem do reservatório da Termelétrica de Martin- Flórida, quando da visita juntamente com Profissionais da CESP em 1981^[07]

4.4.3 Estabilização de Fundações

O Solo- Cimento tem sido usado em seções maciças para aumentar a resistência e uniformizar a capacidade resistente de fundações para grandes estruturas, como bases de Reatores de Usinas Nucleares (**Koeberg** - África do Sul), e em Barragens (**Cochiti** - Novo México; **Richland Creek**-Texas)

- Aqui cabe uma pergunta do Autor:
 - ***Se é usado para suportar Reatores e Barragens, qual a razão para não ser utilizado na própria barragem?***
- Apenas a justificativa do desconhecimento!

4.4.4 Aplicações Diversas

O Solo- Cimento, também tem sido usado como enchimento, como corpo monolítico em barramentos de reservatórios de água para refrigeração de termo - elétricas, caixas de depósitos-reservatórios, contenções diversa,

5 Viabilidade Técnica

5.1 Generalidades

O conhecimento técnico disponível baseia-se (com exceção dos Estudos citados em [12 e 13]) fundamentalmente, nos estudos de propriedades para Pavimentos e para as Proteções de Taludes, com visão de obtenção de resultados basicamente à idade de até 28 dias.

Neste ponto é importante lembrar a citação de **Levis H. Tuthill**- "*Economical Construction of Concrete Dams*", ASCE, New York, 1972, ^[17]



“ ... It is noted that the full economy of such methods will not be fully realized in the first attempts to use them until all details, new conditions, and training problems are worked out on the first few such jobs.’

Moreover, it is cautioned that the benefits of procedure such as described will not be obtained or reflected in future practice unless means can be found to present these possibilities to designers and agencies responsible for such dams in a manner that will be fully convincing and that will give them complete confidence that their design and performance objectives will be obtained...

...it should be noted that the economic benefit of any innovative procedure that may be regarded as less refined than usual in some aspects of methods and results are obtained only if engineers and agencies responsible for such results are convinced and assured of the essential sufficiency of a structure so built. In a way, we have been saying “Is this good enough?”, “Will that serve the purpose?”, when perhaps we should get further with less waste emotion if we asked and were answered, “What is good enough?”, “What is sufficient to serve the purpose?”. ...”

5.2 Materiais

5.2.1 Solos - Agregados

Solos contendo de 5% a 35% de finos menores que 0,075mm, de pouca plasticidade, produzem as misturas de Solo Cimento mais econômicas. Solos “cascalhosos”, são ainda mais econômicos. Solos mais finos requerem um maior teor de cimento. As graduações granulométricas podem ser menos restritivas que as usuais para concretos

5.2.2 Cimento

O uso de Solo-Cimento tem se caracterizado, até o momento, por empregar, na quase sua totalidade, Cimentos do Tipo Comum (Tipo I ASTM) ou de Moderado Calor de Hidratação (Tipo II ASTM), visto que os usos têm sido para atender requisitos à idades de 7 ou 28 dias.

5.2.3 Materiais Pozolânicos

Devido ao citado em 5.2.2 os Materiais Pozolânicos são pouco usados nos Solos-Cimentos. Os estudos da **CESP**^[12], a longo prazo, mostram vantagens no desenvolvimento das propriedades com o uso de material pozolânico.

5.2.4 Aditivos

Os aditivos químicos, nas aplicações tradicionais que fazem parte do Estado da Arte do Solo-Cimento, praticamente não foram utilizados.

5.2.5 Água

A água é necessária para a mistura dos Solos- Cimentos, sendo que os Solos mais arenosos requerem de 7% a 10% da massa do solo (145kg/m³ a 220kg/m³), e os mais argilosos podem chegar de 10% a 13% (180kg/m³ a 260kg/m³)



6 Dosagem

6.1 Gerais

Os requisitos gerais para um solo-cimento, nas aplicações usuais, levam a uma mistura que corresponda à resistência e a durabilidade (esta medida através dos ciclos gelo-degelo), e nos casos de aplicações em obras hidráulicas a permeabilidade.

Para as aplicações aqui sugeridas a dosagem deve considerar além das resistências (compressão, tração e cisalhamento) e a permeabilidade, a minoração da geração de calor, a estabilidade volumétrica, as propriedades elásticas (Módulo e Fluência) e térmicas.

6.2 Rotina para Dosagens

Vários critérios têm sido usados para as dosagens do Solo-Cimento, sendo que o mesmo conceito adotado para o CCR é aplicável ao Solo-Cimento, mesmo porque há muita semelhança.

6.3 Considerações Especiais

Alguns solos contendo teores de matéria orgânica, podem alterar o pH da mistura e causar efeitos danosos, o que requer atenção especial e controle.

De mesmo modo que para os concretos convencionais, e demais misturas compostas por cimento, a estabilidade volumétrica e a sanidade podem ser afetadas pela ação dos sulfatos. Solos mais argilosos, que requerem maior teor de cimento, que os arenosos, podem ser mais rapidamente afetados por essa ação. O uso de material pozolânico nos concretos se mostra como medida mitigadora dessa ação.

Os solos mais arenosos e/ou “cascalhosos” dependendo da constituição mineralógica poderão estabelecer Reações com os Álcalis do Cimento, com expansões subseqüentes.

Esses aspectos fazem ver a necessidade de conhecimento dos materiais a serem utilizados

7 Características - Propriedades

7.1 Generalidades

As propriedades dos Solos-Cimentos são influenciadas e afetadas por distintos aspectos a saber:

- Tipos e Quantidades de materiais (Solo, Cimento, Material Pozolânico, Água e Aditivos se usados);
- Uniformidade da mistura;
- Manuseio e Compactação;
- Proteção e Cura;
- Desenvolvimento ao longo da idade

Um melhor entendimento do comportamento do Solo-Cimento, assim como do CCR, pode ser alcançado com a devida compreensão das implicações resumidas na Figura 04 a seguir.

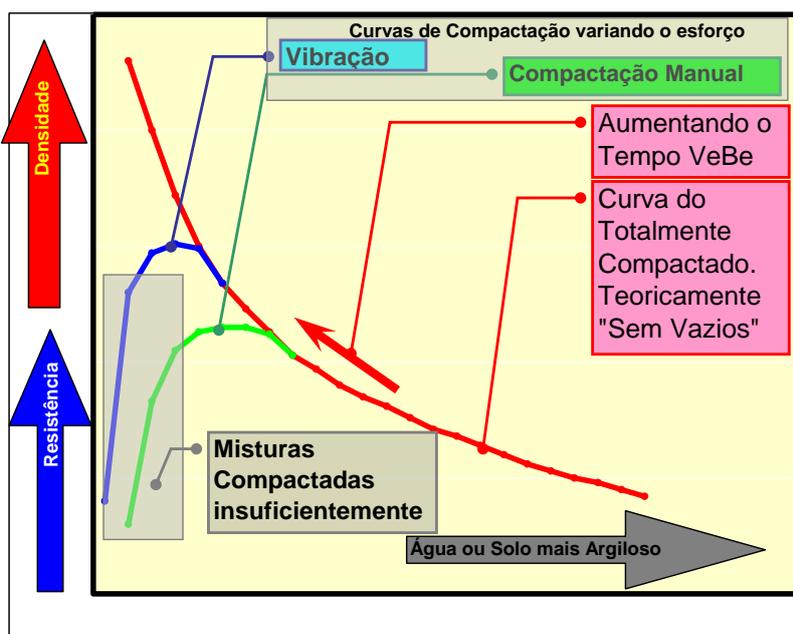


Figura 04- Aspectos de Propriedades Resistentes, dosagens e compactação de misturas de CCR e Solo Cimento

7.2 Parâmetros e Cuidados

A tabela a seguir resume, conceitualmente, as diversas propriedades de Solos-Cimentos de interesse para uso em Barragens.

É evidente que o conhecimento das propriedades a longo prazo, proporciona vantagens adicionais que podem calibrar, ainda mais, a otimização do uso do material com implicações técnicas e econômicas favoráveis. Há, então, a conveniência, e necessidade, de um empenho na realização de ensaios que possam a vir aumentar esses conhecimentos e conseqüentemente o domínio seguro para conquistas econômicas

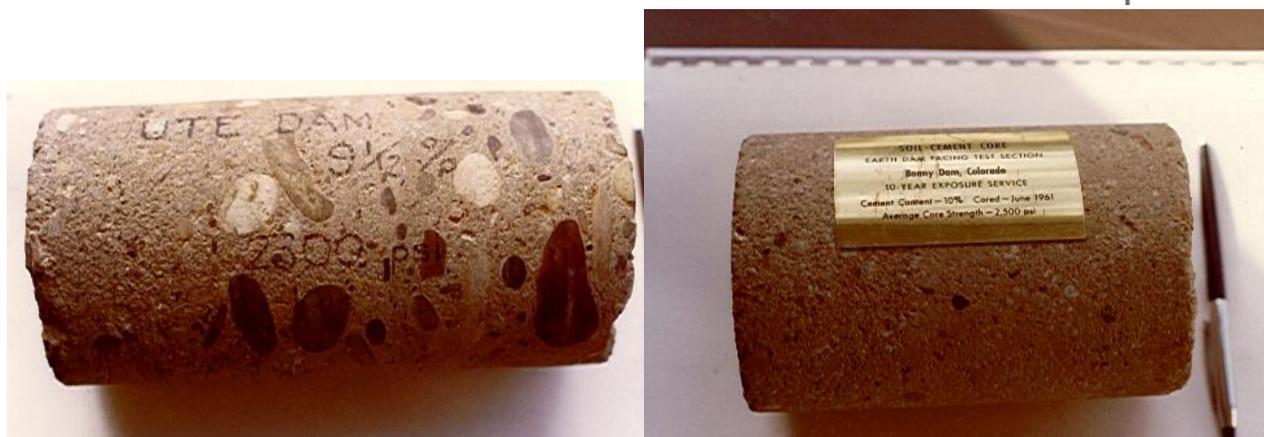


Figura 05—Testemunhos extraídos em 1961, do Solo Cimento (consumo de 10% de Cimento Comum) utilizado na **Barragem de Bonny**- Colorado, indicando uma resistência de 17,6MPa, 50 anos após a construção^[07]

Propriedade	Desempenho Comparativamente ao CCR e ao CVC Massa	Cuidados & Eventuais Ações
Massa Específica (a)	Valores entre 1,85 e 2,35 t/m ³ Esses valores se mostram inferiores cerca de 10 a 20% aos dos concretos CVC e CCR. É afetada pelo teor de água na mistura. A Massa específica obtida decorre do tipo de Solo utilizado. Solos mais Arenosos levam a valores mais elevados (mais próximos de 2,2), e os Argilosos a valores menores. Quanto maior a densidade maior a resistência. Não varia com a idade	A Análise de Estabilidade deverá contemplar esses valores para o estabelecimentos da Base (B) da Barragem e os Taludes de Montante e Jusante. Isso pode significar na necessidade de aumento do volume total da Barragem, praticamente nas mesmas proporções da redução da massa específica. Quanto maior o tempo entre a mistura e a compactação, menor a densidade e a resistência
Trabalhabilidade e Consistência ^(a)	Análoga ao do CCR. Maior teor de água, menor o VeBe.	Pouco Relevante
Tempos de Pega (b)	Comandados pelo teor de Aglomerante, terá comportamento semelhante ao dos concretos	Relevante para as atividades do manuseio do material, antes da compactação
Absorção ^(b)	Valores entre 4 e 8%. Afetada pela compactidade	Pouco relevante
Resistência à Compressão ^(a)	A medida que o teor arenoso aumenta, os rendimentos ^(c) aumentam, aproximando dos valores de CCR e CCV. Comportamento análogo quanto à evolução da propriedade ao longo o tempo. A medida que a o teor de Aglomerante aumenta, há aumento da Resistência. O aumento do teor de água, implica na redução da resistência. A Resistência aumenta com a idade. Há informações de que Solo (Argiloso)-Cimento (Comum)- apresentou 20% de Evolução ao longo de 30 anos [18]	Ou seja o uso de materiais mais arenosos, a presença de seixos, e uso de materiais pozolânicos, possibilita a minimizar o teor de aglomerante
Resistência à Tração ^(a)	Comportamento análogo ao dos concretos	Idem à compressão. De maneira análoga ao da Metodologia do CCR, as preocupações quanto ao Tratamento das Juntas de Construção requerem providências para garantir os

		valores requeridos
Resistência ao Cisalhamento ^(b)	A Coesão é diretamente proporcional ao teor de aglomerante e o Coeficiente de Atrito está relacionado a influência dos Grãos	Idem à Tração
Módulo de Elasticidade ^(a)	De maneira análoga ao da Resistência à Compressão o Módulo de Elasticidade se mostra com valores mais próximos aos do CCR, à medida que o Solo seja mais Arenoso e com Seixos Rolados. Solos do lado Argiloso apresentam valores menores de Módulos. O Módulo de Elasticidade aumenta com a idade, de modo assintótico	As deformações do maciço de Solo-Cimento devem ser verificadas, o que pode levar a se adotar Juntas de Contração a espaçamentos menores que as dos Maciços de CCR
Fluência ^(b)	Tendo em vista o comportamento do Módulo induz-se que a Fluência seja maior. A Fluência diminui com a idade	Idem ao Módulo. Deve-se ter uma atenção para minimizar a ocorrência de Fissuras devido ao assentamento
Capacidade de Alongamento ^(b)	O maior teor de grãos menores que os agregados graúdos, induz que a Capacidade de Alongamento seja mais elevada que a dos Concretos	
Deformações Autógenas ^(b)	Dependem do Teor de Aglomerante e do Teor de Água. Devido ao maior teor de água nos Solos-Cimentos que os dos concretos, há uma maior Retração por Secagem	Os procedimentos de Cura e Proteção devem ser exigidos com maior atenção
Coeficiente de Expansão Térmica ^(b)	Dependem das características mineralógicas do inerte (solos) e do teor de aglomerante. Além disso a medida que aumenta o tamanho máximo dos grãos das misturas há uma diminuição da pasta e por conseguinte do Coeficiente de Expansão Térmica	Relevante para a avaliação e entendimento do comportamento térmico da estrutura
Calor Específico ^(b)	Pouca influência dos componentes	Pouco Relevante
Condutividade ^(b)	Idem ao comportamento do Coeficiente de Expansão Térmica	Relevante para a avaliação e entendimento do comportamento térmico da estrutura
Difusividade ^(b)	Idem ao comportamento da Condutividade	Relevante para a avaliação e entendimento do comportamento térmico da estrutura
Elevação Adiabática de Temperatura ^(b)	Afetada diretamente pela quantidade de aglomerante.	Preocupações análogas aos dos concretos massivos.
Permeabilidade ^(a)	Maior a quantidade de Finos, menor a Permeabilidade. Há a preocupação pelo fato de se ter uma permeabilidade maior na direção do plano das Juntas de Construção	A permeabilidade do material é baixa, mas o processo construtivo em camadas leva a necessidade do estabelecimento análogo às construções de CCR
Sanidade aos Sulfatos e aos Álcalis	Há a necessidade de avaliação específica para cada solo disponível e o correspondente cimento utilizado	Pode requerer o uso de material inibidor, tipo material pozolânico

Notas ^(a); Propriedades Ensaçadas e conhecidas

^(b) Propriedades ainda não ensaiadas e inferidas a partir de [19], e que merecem avaliação para projeto;

^(c) Por Rendimento deve ser entendido o quociente da Resistência pelo consumo de aglomerante (MPa/(kg/m³) ou (kgf/cm²/kg/m³)



Figura 06—Aspecto de Fissura em Solo Cimento da Proteção de Taludes na Barragem de Martin^[07]

8 Recomendações, Sugestões e Comentários

De mesmo modo que o Autor sugeriu em 1985 para as Barragens em CCR^[20] toma-se a liberdade de sugerir, com bases técnicas, o que se segue, para uso do Solo-Cimento, que poder-se-á ser simplificado para **“SandCrete”**!

8.1- Concepção- Projeto

Decorrente do quadro de Características e Cuidados citado anteriormente o Autor apresenta as seguintes sugestões-Recomendações, que deverão ser otimizadas à medida que o conhecimento se amplie e a confiança se estabeleça.

A Figura 07- mostra esquematicamente uma seção transversal típica de uma Barragem de Gravidade em CCR preponderantemente usada e que pode ser adaptada para uso do Solo-Cimento com as devidas considerações e sugestões que se seguem:

8.1.1 Dimensão da Base (**B**) e Inclinações dos Taludes (**x** e **y**)

A dimensão da Base (**B**) se estabelece na inter-relação da Capacidade Geomecânica de suporte da Fundação e os parâmetros do Solo- Cimento, tais como: Densidade e Resistências. As inclinações **“x”** e **“y”** dos taludes de jusante e montante decorrem de **B**, para com a Altura do Barramento.

Os aspectos de adoção desse tipo de estrutura em regiões sísmicas, permitem a otimização das inclinações **“x”** e **“y”** dos taludes, para com **“B”**, de tal sorte a minimizar as tensões decorrentes das ações dinâmicas

8.1.2 Face de Montante

Conceitualmente a Face de Montante, deve ter características para ser Estanque, com Baixa Permeabilidade e minimizando a fissuração, conseqüentemente Durável, e associada à zona de montante suportar os esforços previstos.

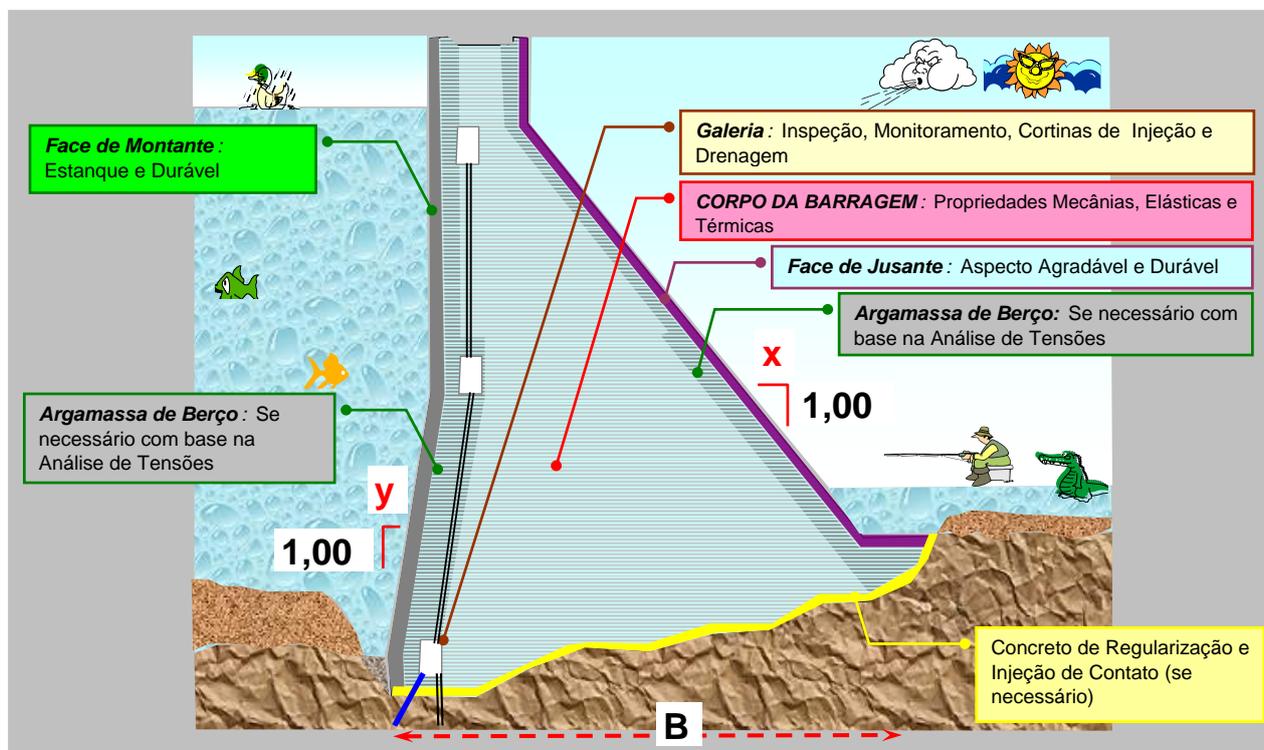


Figura 07- Aspecto esquemático sugerido para uma seção transversal considerando a aplicação de solo-cimento em barragem

De modo geral, com base nos usuais Tipos de Faces pode-se resumir as seguintes opções:

- Concreto Convencional (CVC)** moldado juntamente como o Solo-Cimento lançado em camadas. A espessura da camada de CVC deverá ser calculada com base na Permeabilidade do CVC, porem evitando que o consumo de aglomerante ultrapasse 200kg/m^3 , de modo a minimizar a possibilidade de ocorrência de fissuras;
- Placas pré-moldadas de concreto com Membrana de PVC**, incorporada ao próprio pré-moldado, e adicionalmente uma camada de CVC de espessura menor à sugerida em a), aplicada simultaneamente, porem imediatamente antes das camadas de Solo-Cimento;
- Camadas de Solo-Cimento moldadas diretamente contra Formas**, e a adoção de um sistema de impermeabilização posterior. Nessa opção deve-se evitar a aplicação de uma Laje de CVC moldada contra o Solo-Cimento, porem posteriormente, devido ao estabelecimento de "Restrição" e, subseqüentemente, a potencialização de fissuras. A aplicação de membrana externa se torna, então, um complemento



Das 3 opções a alternativa **b)** constitui-se em opção importante, pelas seguintes vantagens:

- O Pré-moldado atua como Forma, e a Membrana como elemento de Estanqueidade, o que torna a vulnerabilidade de fissuração irrelevante;
- O Pré-moldado atua como um isolante térmico durante o período inicial após concretagem minimizando o aspecto negativo do gradiente de temperatura dia-noite, quanto ao surgimento de fissuras decorrentes desse gradiente;
- No caso de obras em regiões de sismicidade apreciável, mesmo se houver fissuração na camada de CVC a membrana (devido ao elevado alongamento) minimiza o estabelecimento de pressões instabilizantes;
- Proporciona um aspecto visual agradável, além de durável;
- Os custos podem ser compensados pela eliminação da Forma e pela redução da espessura de CVC, comparativamente ao requerido em **a)**

A solução **b)**, quando adotada, deve ter uma rede de drenagem associada a interface Membrana* Camadas de CVC

8.1.3 Face de Jusante

A Face de Jusante tem a finalidade de ter um aspecto agradável e ser durável. Para tanto pode ser construída com as opções usualmente adotadas para os maciços de Concreto Compactado com Rolo (CCR).

Nas regiões onde o Solo-Cimento possa ser usado para receber uma estrutura vertente, de mesmo modo podem ser adotadas as opções usuais quando do emprego de CCR.

8.1.4 Corpo da Barragem

Aqui é onde se pode extrair os benefícios do Solo-Cimento devido as satisfatórias capacidades Mecânicas - Elásticas e Térmicas. Pode-se adotar um maciço de Solo-Cimento na mesma conceituação do Maciço de CCR, com os devidos ajustes citados em 8.1.1

8.1.5 Galerias

Galerias em barragens com mais de 10m de altura são vantajosas sob aspectos técnicos (aspectos de estabilidade)^[21], devido a drenagem, além dos aspectos úteis quanto auscultação. Além disso, é uma opção para permitir realizar os serviços de injeção da cortina.

Além do mais a galeria tem grande importância, em Barragens, para eventuais ações remediais



Por outro lado a incorporação de galeria no corpo da barragem é visto – construtivamente- como um condicionante de redução de produtividade. O que na maioria das vezes dentro de um Planejamento adequado, não cria essa contrariedade.

Há, então, que se analisar as vantagens e desvantagens, sem, entretanto prejudicar a Segurança , e as eventuais ações remediais.

8.1.6 Requerimento para o Comportamento das Juntas de Construção

Decorrente de 8.1.1, poderá haver a necessidade de garantir a monoliticidade entre as camadas de Solo-Cimento. Nessa situação a adoção de Argamassa de Berço, ou uma calda espessa, torna-se um requisito conceitual de projeto.

As flutuações conceituais quanto as vantagens de se buscar ampliar extraordinariamente o Tempo de Pega do CCR, para evitar o tratamento de Junta, o que é meramente uma divagação teórica, não se vê conveniente nestas recomendações. A extensão da zona de Montante e Jusante a receber a argamassa de berço, deve ser orientada e definida com base nas Análises de Tensões.

8.1.7 Concreto de Regularização e Injeção de Consolidação

A adoção de uma camada de CVC, como regularização é um artifício para facilitar os trabalhos iniciais de aplicação do CCR, e para os trabalhos de injeção de contato, se requerido no Projeto, o que não é muito usual no Brasil.

8.1.8 Controle da Temperatura de Colocação

É evidente que na busca de Simplificação há, implicitamente, a conveniência de eliminação da necessidade e refrigeração. Ao se lembrar das referências [1 a 3 e 17] há uma sintonia evidente sob esse aspecto. Além disso há estudos que evidenciam a possibilidade de aplicação do CCR em camadas diárias à temperatura ambiente de até cerca de 35°C, sem uso de refrigeração [22].

Como esse aspecto é dependente do consumo de aglomerante, por prudência, recomenda-se efetuar uma Análise Térmica a cada situação e região, e modular as Juntas de Contração à espaçamentos convenientes.

Salienta-se que a adoção da Face, como descrito na opção **b)** de 8.1.2, é um elemento simplificador nesses aspectos.

8.1.9 Juntas de Contração

O espaçamento entre as Juntas de Contração decorre de 8.1.8. Entretanto tendo em vista, ainda, os poucos conhecimentos de Fluência á conveniente que os espaçamentos, inicialmente, sejam a intervalos não maiores que 15m.



O sistema de estanqueidade das Juntas de Contração pode ser o mesmo adotado para os maciços de CCR, com linha dupla de Veda Juntas com um dreno incorporado

8.2 Detalhes de Projeto e Interferência com o Método Construtivo

A necessidade de se ter no corpo da Barragem em Solo-Cimento, detalhes como Drenos, Embutidos, Poços devem ser encarados de mesmo modo que para as Barragens de CCR.

8.3 Aspectos Construtivos

Na construção com Solo- Cimento os objetivos são análogos aos do CCR, isto é, o de obter uma mistura uniforme, adequadamente transportada e compactada, e sob cura correta para atingir as propriedades requeridas.

8.3.1 Exploração da Jazida

Os depósitos naturais, com raríssimas exceções, não são uniformes, o que leva a uma análise da necessidade de ações e processamento se ter uma uniformidade, ou estabelecer sobre- dosagens para cobrir as dispersões e garantir o mínimo das propriedades requeridas.

Mesmo assim, é de se entender que essas implicações resultam em custos menores do que a exploração para se obter agregados de maneira tradicional para os concretos.

8.3.2 Processamento, Homogeneização e Estocagem

Decorrente do citado em 8.3.1, poderá ser necessário um processamento do tipo, retirada de sobre tamanhos (no caso de solos “cascalhosos”), e/ou homogeneização e/ou a secagem (no caso de solos mais argilosos).

Essas providências têm a conotação conceitual teórica com a intenção de minimizar as dispersões de tal forma a ter propriedades com pequena variação, e com isso minimizar o teor de aglomerante.

Entretanto, do ponto de vista prático e econômico deve se estabelecer uma análise de tal modo a verificar a conveniência de se ter um processamento, ou cobrir as dispersões com teor adicional de aglomerante (e suas implicações técnicas decorrentes!), de modo a cumprir com as propriedades requeridas com a devida segurança.

8.3.3 Proporcionamento e Mistura

Para caso de aplicação de Solo – Cimento descarta-se a opção de uso de Pulverizadores in situ, empregado em pavimentos e algumas proteções de taludes.



No caso de uma aplicação mais concentrada, como barragens, é recomendável que o proporcionamento e mistura seja realizado em centrais que poderão ser por dosagem

- Gravimétrica, ou;
- Volumétrica.

É plenamente conhecido que as dosagens volumétricas causam maiores dispersões, nas propriedades, que as gravimétricas. Nesse caso reporta-se ao comentário do item 8.3.2.

Os misturadores forçados de eixo simples ou duplo se mostram os mais adequados, sendo que os misturadores basculantes, tradicionalmente usado nos anos 50 a 90 para os CVCs Massa das Barragens, não se mostram convenientes, devido a quantidade de Finos, que proporcionam misturas mais coesivas, e a decorrente possibilidade de aglutinar nas pás desses misturadores. Isso leva à conveniência de misturadores forçados, além de que o ciclo de mistura é menor nesses misturadores do que os basculantes, para a mesma capacidade nominal individual do misturador.

As construções de CCR proporcionaram ensinamentos aos mais reticentes, e um dessas orientações foi o da adoção de um silo de abastecimento imediatamente após os misturadores, de tal modo a não vincular o ciclo dos veículos de transporte ao dos misturadores. Esse silo deve ter volume proporcional ao dos misturadores e compatível com o do veículo de transporte.

8.3.4 Transporte e Manuseio

O transporte, desde o sistema de produção ao local de aplicação deve ser o mais rápido possível (não mais que 30 a 40 minutos) de tal modo a minimizar a perda de umidade. E de tal maneira que o tempo desde o início do transporte, colocação e compactação não ultrapasse o Tempo de Início de Pega (que deve ser conhecido por quem manuseia materiais compostos por cimentos!) e de preferência aquém de 90 minutos.

Não há restrição dogmática quanto ao tipo de transporte a ser adotado (caminhões, correias, moto-scrapers, etc..) desde que o sistema seja compatível com a magnitude da obra, com a Cronologia de Construção e que cumpra com os tempos recomendados acima e não introduza segregações (principalmente quando do uso de solos “cascalhosos”)

Nota: *Tem sido muito observado nas construções de CCR que os Construtores têm uma pré-disposição contra essas limitações de tempos, sem considerar, entretanto, que ao cumprir com esses objetivos, estará sendo muito mais Produtivo!*

Os caminhões basculantes, quando utilizados, deverão ter sobre a carga de Solo-Cimento uma lona protetora úmida.



De mesmo modo que junto a saída dos misturadores, nos eventuais pontos de transporte deverão ter silos de transferência. Essa recomendação é válida para as situações onde há mudança do tipo de transporte. Ou seja, de contínuo para intermitente ou vice-versa.

8.3.5 Espalhamento e Nivelamento

De mesmo modo que o CCR, o Solo-Cimento deverá ser aplicado em camadas, espalhadas, que poderá ser por tratores de lâmina frontal e/ou moto-niveladoras. A altura das camadas deverá ser compatível com o Rolo compactador a ser adotado, pelo Construtor, de tal modo que o mesmo garanta, para o Solo-Cimento usado, uma compactação maior que 97%. (de preferência acima de 98%, para o que recomenda-se entender o gráfico da Figura 04).

8.3.6 Compactação

A compactação deverá ser terminada o mais rápido possível, e de preferência, até os tempos máximos recomendados em 8.3.4.

Para solos mais argilosos normalmente têm sido usado os rolos do tipo “Tamping” ou “Pé de Carneiro” e para solos do lado arenoso e “cascalhosos”, o rolo liso vibratório. Decorrente dessas opções é bastante recomendável que o Construtor realize aterro experimental para a devida adequação de seus equipamentos, altura de camada, número de passadas, treinamento de equipe, para cumprir com as propriedades que venham a ser requerida.

8.3.7 Tratamento da Superfície da Junta de Construção

O Tratamento de superfície das juntas de construção deve ser entendido como todos os procedimentos necessários para restabelecer o monolitismo da estrutura, anteriormente alterado pelo lançamento em camadas, que ultrapassem entre si o Tempo de Pega do Solo-Cimento. Ou seja acima do tempo, em que as reações de hidratação, permita uma ligação autógena entre as camadas “nova” e “velha”.

Essa é uma atividade crítica, tanto nos concretos convencionais e CCR usados em estruturas hidráulicas, para a qual as Especificações de Projeto não podem abrir mão da Qualidade e Segurança, e que na eventual utilização do Solo-Cimento para as finalidades aqui objetivadas, também devem ter imposições corretas.

Ou seja decorrente das Análises de Tensões, o corpo da barragem terá zonas onde haverá a necessidade de garantir as Tensões de Tração e Cisalhamento, e haverá zonas onde somente o Atrito se faz necessário. Disso decorre que o tipo de tratamento da superfície da Junta de Construção, poderá ser distinto a cada zona.

O tipo de tratamento deverá ser análogo ao aplicado nas superfícies das juntas de construção do CCR, ou seja:



- Nas zonas onde **há requisitos** das Tensões, limpeza com jato de ar úmido, sob pressão de 7 báries, com a retirada de todo o material solto e danificado, ou sujeira, e **aplicação de argamassa de berço**;
- Nas regiões onde **não se requeira Tensões**, somente a limpeza com jato de ar úmido, sob pressão de 7 báries para a retirada de todo o material solto e danificado, ou sujeira

Na eventualidade do uso e CVC para as faces de montante e jusante, a superfície da junta de construção desse concreto deve atender o conceito de tratamento para concretos convencionais (o qual o Autor espera que todos que trabalham com concreto, saibam!). Entretanto, para uniformizar as operações a aplicação da argamassa de berço pode-ser estendida sobre o CVC, após o preparo da superfície do mesmo. Essas operações devem ser realizadas imediatamente antes do lançamento da nova camada.

8.3.8 Juntas de Contração

As Juntas de Contração, estabelecidas com base ao citado em 8.1.8 e 8.1.9, poderão ser executadas de mesmo modo que o atualmente usado para as barragens de CCR.

Na face de montante, se adotado o uso de CVC, o sistema de estanqueidade e drenagem, constituídos por linha dupla de Veda-Juntas de PVC e Dreno, deverão estar envolvidos pelo próprio CVC devidamente adensado.

8.3.9 Proteção e Cura

Proteção

- Durante as operações de espalhamento e compactação o micro-clima da região onde se concentra essas operações deverá ser mantido úmido, por meio de nebulizadores;
- Na eventualidade da ocorrência de chuva, pode se proceder como o usualmente adotado nas construções de CCR;
- Nas construções em zonas de clima frio, as operações devem ser executada de modo a garantir o início de endurecimento do material

Trânsito sobre a Superfície Compactada

Deve ser entendido que qualquer atividade que danifique a superfície, o material danificado deverá ser retirado no tratamento da Junta de Construção.

Diante dessa conceituação o manuseio de veículos e equipamentos deve ser feito de tal modo que não danifique a superfície para não haver a necessidade de se retirar materiais desnecessariamente.



**Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2008 - RCC Symposium**
Setembro / 2008
ISBN
@ 2008 - IBRACON



Estima-se, com base no uso de cimentos e do próprio CCR, que o tráfego de veículos leves possa ser tolerada a partir de 4 a 5 horas após a compactação, e que veículos pesados a partir de 10-12 horas. A ação das unhas das esteiras dos tratores deve ser evitada.

Cura

A cura é necessária para que se desenvolvam as reações de endurecimento do composto por cimentos, além do que a cura executada desde o momento após a compactação permite extrair calor (devido a hidratação) antes de se atingir o Pico Térmico devido a hidratação.

Pelo menos por essas razões a cura deve ser realizada com água, pela ação de nebulizadores, durante os 3-4 primeiros dias e por aspersão (o que não significa Jato!) de água por tempo não inferior a 10 dias ou até que uma nova camada venha a ser aplicada sobre a terminada.

8.4 Sistema para o Controle de Qualidade

O Autor é de opinião que Controle de Qualidade não é apenas o registro de informações, e a realização de gráficos bonitos e de relatos de elevado impacto visual, mas sim e muito mais o correto manuseio das informações para a tomada de ações em tempo hábil e compatível com a dinâmica de construção para minimizar erros, corrigir falhas e maximizar a uniformidade, de tal modo que a qualidade se estabeleça autogenamente. Diante disso o Sistema de Qualidade deve englobar:

- ❖ Capacitação e Qualificação dos Participantes nos processos e atividades;
- ❖ Simulação de atividades fundamentais e eventualmente não conhecidas (ensinamentos, palestras, realização de aterro experimental);
- ❖ Estabelecimento de rotinas e métodos que conduzam a uma absorção rápida das informações, com análises sistemáticas e advertências às vulnerabilidades;
- ❖ Conhecimento prévio do comportamento (estatística) dos materiais adquiridos de terceiros para a obra;
- ❖ Conhecimento e domínio do processo de produção dos materiais (sistema de beneficiamento do material produção das misturas, transporte, colocação adensamento) para atuação nos pontos críticos;
- ❖ Estabelecimento de rotinas e ações para garantir o cumprimento das propriedades exigidas com a menor dispersão possível;
- ❖ Rapidez e confiabilidade nas ações, honestidade nos registros, fidelidade nas informações;
- ❖ Auscultação e monitoração eficiente;
- ❖ Registro claro, impessoal e auto-explicativo.



**Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2008 - RCC Symposium**
Setembro / 2008
ISBN
@ 2008 - IBRACON



9 Referências

- [01]- RAPHAEL, J.M.- **“The Optimum Gravity Dam”**- Anais do Rapid Construction Concrete Dams”- ASCE- Asilomar- California-USA- March-1970
- [02]- RAPHAEL, J.M.- **“Construction Method for the Soil- Cement Dam”**- Anais do Economical Construction of Concrete Dams- Asilomar- California- USA- May-1972;
- [03]- CANNON, R.W.- **“Concrete Dam Construction Using Earth Compaction Methods”**- Anais do Economical Construction of Concrete Dams- Asilomar- California- USA- May-1972;
- [04]- ANDRIOLO, F. R.- **“RCC- Concreto Rolado- Rollcrete: Mais de 30 anos no Brasil – Erros, Acertos, Contrariedades, Conquistas e a Necessidade de Manter Qualidade”**- Anais do 50º. Congresso Brasileiro do Concreto – CCR 2008- RCC Symposium -Salvador Bahia- Brasil- 2008
- [05]- ANDRIOLO, F.R.- **“The Use of Roller Compacted Concrete”**- Oficina de Textos- Rua Augusta 1371- Lj. 107- -1305- 100- São Paulo- Brasil- 1998
- [06]- ANDRIOLO, F.R.- **RCC Brazilian Practices”**- Oficina de Textos- Rua Augusta 1371- Lj. 107- -1305- 100- São Paulo- Brazil- 2002
- [07]- Relatório da CESP- **“Viagem aos Estados Unidos da América”**- 25 de Setembro a 18 de Outubro de 1981- Ilha Solteira-SP-Brasil;
- [08]- SGARBOZA, B. C.; ALMEIDA, S. J.; EUSTAQUIO, J.O.F.; HELLVIG, A.J.; MELLIO. A.- **“Proteção de Taludes com Solo-Cimento- Estudos e Aplicações nas Obras de Porto Primavera e Rosana”**- . Anais do XV Seminário Nacional de Grandes Barragens- Rio de Janeiro- Novembro/1983;
- [09]- ONO, S.; COSTA, A.F.- **“U.H.E .Tucuruí- Estudos de Utilização de Solo- Cimento para a Proteção de Taludes da Barragem”**- . Anais do XV Seminário Nacional de Grandes Barragens- Rio de Janeiro- Novembro/1983;
- [10]- CAMPITELLI, L.- **“Aproveitamento Hidrelétrico de Tucuruí- Aterro de Cascalho não Coesivo; Proteção de Talude com Cascalho; Proteção de Talude com Solo-Cimento”**- Anais do XV Seminário Nacional de Grandes Barragens- Rio de Janeiro- Novembro/1983;
- [11]- Eletronorte- UHE Tucuruí- **“Projeto de Engenharia das Obras Civas- Consolidação da Experiência”**- Engevix /Themag- Agosto-1987- Brasília- Brasil;
- [12]- ANDRIOLO, F.R.; OLIVEIRA, P.J.; SALLES, F.M.-**“Soils & Cementitious Materials- A Technical Option fr Use as a Structural Element for Dams”**- . Anais do International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- Santander- Spain – Outubro- 1995
- [13] **“Currents Activities on Dam in Japan”**- Japan Comission on Large Dams- 2002
- [14] ANDRIOLO, F.R – **“Barragens em CCR- Concreto Compactado com Rolo- Estado da Arte- Materiais, Projeto e Construção”**- Instituto de Engenharia – Curitiba Paraná- Brasi- Dezembro/ 2001;

- [15] IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- **Atlas Nacional do Brasil**- 3ª. Edição- Rio de Janeiro- 2000
- [16]- ACI ACI 230.1R-90- "**State-of-the-Art Report on Soil Cement**"- Detroit
- [17]- TUTHILL H.L. – "**Economical Construction of a Concrete Gravity Dam**"- Anais do Economical Construction of Concrete Dams- Asilomar- California- USA- May-1972;
- [18]- RELATÓRIO LEC-010/05 - AEROPORTO DE ÁGUA VERMELHA- "**Avaliação da Resistência da Camada de Base de Solo-Cimento do Pavimento**"- Ilha Solteira/2005
- [19]- ANDRIOLO, F.R; SCANDIUZZI, L.- "**Concreto e seus Materiais: Ensaio e Propriedades**" - Editora Pini- Rua Ahaia 196- Bom Retiro- São Paulo- Brasil- 1986
- [20]- ANDRIOLO, F.R - "**Concreto Adensado com Rolo Vibratório- Sugestões para Projeto e Construção**"- . Anais do XVI Seminário Nacional de Grandes Barragens- Belo Horizonte-MG – Brasil – Novembro/1985;
- [21]- ANDRIOLO, F.R; GOLIK, M.A.- "**Inspection Gallery and Drainage: Problem or Solution?**"- Anais do International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- Santander-Espanha – Outubro/1995
- [22]- ANDRIOLO, F.R; GAMBALE, E.A.; BOTASSI, S.S.; ANDRADE, M.A.S.; BITTENCOURT, R.M.; PACELLI, W.A.- - "**Thermal Analysis of Roller Compacted Concrete**"- Anais do IV International Symposium on RCC Dam- Madrid – Spain- November

Respostas à indagação da Figura 01



CVC



CCR com os mesmos materiais da anterior



CCR



Solo- Cimento –Barragem de Bonny- Colorado-USA



Sandcrete- Solo-Cimento Arenoso

Figura 01 **Respostas**- Materiais contendo mistura de Cimento com Agregados de Distintos Tamanhos Máximos



Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2008 - RCC Symposium
Setembro / 2008

ISBN
@ 2008 - IBRACON



O CCR é Suficiente?

Ou Vamos Utilizar o Solo-Cimento como Elemento Estrutural na Construção de Barragens?

Is RCC Sufficient?

Or should we use Soil-Cement as a Structural Element in Dam Constructions?

Francisco Rodrigues Andriolo

Engenheiro Civil- Andriolo Ito Engenharia Ltda

Av. Dr. Paulo Pinheiro Werneck 850- Parque Santa Mônica

13561-235- São Carlos- SP- Brasil

Tel: ++55 16 3307 6078 Fax: ++55 16 3307 5835

www.andriolo.com.br fandrio@attglobal.net

Resumo

A construção de Alpe Gera- *na Itália*- no início dos anos 60 e as citações do **Prof. Jerome Raphael** ao início dos anos 70, durante as *Conferências de Asilomar-Califórnia-USA*, foram relevantes no estabelecimento da Metodologia do CCR. Entretanto as sugestões do **Prof. Raphael** ainda merecem ser refletidas e proporcionar grandes, outros, benefícios quanto ao uso de materiais disponíveis, com significativo impacto favorável à redução de custos.

Essas complementações são relevantes para Países em desenvolvimento e/ou de dimensões territoriais onde o transporte de materiais torna componente impactante nos Custos.

O Solo-Cimento devidamente estudado, conhecido e controlado, torna-se uma disponibilidade técnica à Engenharia de construção de Barragens que merece atenção e que é atrativa para uso.

Estudos iniciais realizados no Brasil no início dos anos 90 e atualmente desenvolvidos no Japão, são referências importantes para o domínio e uso desse material.

No transcorrer do texto são citadas informações técnicas bem como recomendações para o uso seguro com vantagens econômicas apreciáveis

Palavra-Chave: Solo-Cimento, Argiloso, Arenoso, CCR, CVC, Montante, Jusante, Face, Propriedades, Estanqueidade, Durabilidade

Abstract

The construction of Alpe Gera- *in Italy*- in the early 1960s and the citations by **Professor Jerome Raphael** in the early 1970s, during the *Conferences in Asilomar, California-USA*, were relevant in establishing the methodology for RCC. However the suggestions by **Professor Raphael** still deserve to be reflected on, providing additional benefits on the use of available materials, with a significant positive impact on cost reductions.

These complements are relevant to developing countries and/or large territorial countries where the transport of materials makes such components important with relation to costs.

Soil-Cement that is properly studied, known and controlled becomes a technical availability for the Engineering of dam constructions, which merits attention and its use is attractive. Initial studies conducted in Brazil in the early 1990s and currently developed in Japan, are important references for mastering and employing this material.

Throughout the text technical information is cited in addition to recommendations for its safe use with appreciable economic benefits.

Keywords: Soil-Cement, Clayey, Sandy, RCC, CVC, Upstream, Downstream Face; Properties, Watertightness, Durability

1 Introdução

- **O Qual é o Que?** Nas Figuras 01, a seguir, são mostrados 5 materiais compostos por cimentos. **Pede-se a fineza dos interessados em identificá-los!**



Material A



Material B



Material C



Material D



Material E

Figura 01- Materiais contendo mistura de Cimento com Agregados de Distintos Tamanhos Máximos

Desde a leitura de [01] [02] e [03], associada às primeiras aplicações do CCR no Brasil [04][05] e [06] este Autor sempre buscou incentivar o entendimento e pesquisar o uso do Solo-Cimento como um elemento estrutural para o corpo de Barragens.

No início dos anos 80 o interesse da **CESP** (Agência Governamental do Setor Elétrico) na busca de soluções para a proteção e taludes em barragens no Pontal do Paranapanema, ANAIS DO 50º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2008 – 50CBCxxxx



devido a ausência de rocha adequada a essa finalidade, fez oportuno visitar Projetos nos Estados Unidos, onde se utilizara o Solo-Cimento para a proteção de Talude^[07], o que evidenciou o potencial desse material como uma alternativa estrutural. À época o CCR, no Brasil, passa pelas contrariedades citadas em [04] e ainda não havia se estabelecido como prática de construção de Barragens.

As aplicações realizadas nas Obras da **CESP**^[08], bem como, logo após, no Dique do Moju na Hidrelétrica de **Tucuruí**, pela **ELETRONORTE** (Agência Governamental do Setor Elétrico)^[09 a 11] evidenciaram propriedades resistentes, mas que, infelizmente, à época, foram caracterizadas apenas à idades até 28 dias.

No início dos anos 90, já no período, em que as Barragens de CCR no Brasil emergiam, este Autor sugeriu à **CESP** estabelecer um programa preliminar de pesquisas visualizando o Solo-Cimento como material de potencial estrutural para a construção de barragens, e cuja fase inicial revelou resultados espetacularmente promissores para a finalidade^[12], à idades de avaliações desde 28 até 1 ano. Estudos mais recentes atestam a qualidade desse material para essa alternativa estrutural

Os Japoneses, recentemente adotaram o “**C-S-G: Cemented Soil and Gravel**”, e que tem sido aplicado desde 1991 em ensecadeiras, como a da barragem de Nagashima (com cerca de 30m de altura) com uma seção de 0,6:1,0 (montante) e 0,7:1,0 (jusante)^[13], com um teor de cimento de 60kg/m³.

Passado a fase das contrariedades e o estabelecimento da maioria das barragens de CCR no Brasil, que se consolidou como um co- líder nesse tipo de construção, tem-se sugerido à Entidades Governamentais, e até à Entidade Representativa dos Fabricantes de Cimento no Brasil^[14] que se estabeleça alternativas para o emprego desse material com características estruturais para Barragem. A imensidão territorial do Brasil, suas diversidades e adversidades, que também se observa em outros Países, são oportunidades potenciais para essa adoção.

O presente Texto busca criar condições de debates sobre o assunto e tenta direcionar e recomendar sugestões como base no conhecimento contemporâneo sobre o material, e analogias que podem ser feitas com segurança.

2 Aspectos Referentes à Necessidade

Premissa I-

Não há **SOLUÇÃO ÚNICA** para todas as Barragens! Cada local, cada tipo de material disponível implica em ajustes! **De Engenhosidade!**

- Não existe “um único” tipo de Barragem para um local!;
- Há um tipo e arranjo, que se adapta ao local de um barramento- aproveitamento, que “melhor” se enquadra às condições de:

- Momento (Custos praticados à época);
- Cronologia;
- Condições Topográficas - Geológicas;
- Disponibilidade de Materiais;
- Segurança;
- Conhecimento (das várias partes envolvidas)

- Há, então, um tipo de barramento que convém àquela obra, àquela época.

O importante é que os Profissionais envolvidos, as Comunidades Técnicas e Representativas e Empresas de Projeto e Construção, disponibilizem soluções econômicas- seguras- rápidas- vantajosas aos interesses do País e da Sociedade!

Não se deve, prioristicamente, eliminar uma eventual solução por questões individuais, ou de âmbito restrito-confinado, e muito menos por paixão ou vaidade!.

Premissa II-

No Brasil a média da altura de todas as barragens construídas (hidrelétricas, Obras de Abastecimento, Contra enchentes, etc...) é inferior a 50m (diga-se 70m para estar acima da média das Barragens de CCR que é de cerca de 60m)

Altura da Barragem (m)	Talude Montante	Talude Jusante	Tensão efetiva-CCN ^(a) (MPa)	Tensão efetiva CCE ^(b) (MPa)	Coefficiente de Segurança	Resistência Característica (f_{ck})- (MPa)	Resistência Média a ser obtida (f_{cj}) ^(c) - (MPa)	Idade de obtenção (dias) dos valores mínimos	Consumo estimado de aglomerante (kg/m^3) ^(d)
70	0,10	0,65	2,1	2,5	3,0	6,3	7,6	180	61
		0,70	1,8	2,2		5,4	6,5		52
		0,75	1,6	1,8		4,8	5,8		46
	Vertical	0,65	2,4			7,2	8,7		70
		0,70	2,0			6,0	7,3		59
		0,75	1,8			5,4	6,5		52

Notas:

- (a) – *Condição de Carregamento Normal- Peso Próprio + Empuxos*
- (b) – *Condição de Carregamento Excepcional- CCN+ Sismo (0,05g)*
- (c) – *Considerando um Coeficiente de Variação de 20% e Quantil de 1 em 5 valores podendo se situar abaixo do f_{ck}*
- (d) – *Rendimento (MPa)/ (kg/m^3) de 0,125 à idade de 180 dias*

Considerando essa Altura Média, de 70m, e visualizando uma Barragem tipo Gravidade ter-se-á Tensões Efetivas (f_d), no corpo da Barragem, inferiores a 2,0MPa (ver tabela a seguir). Isso leva a Tensões Requeridas (f_{ck}) da ordem de no máximo (para Coeficientes Usuais de 3) 6,0MPa, que por sua vez leva à necessidade de Resistências Médias a serem obtidas da ordem de 7MPa. Diga-se 8,0MPa, para um âmbito mais genérico. Para



as Barragens de Concreto (CCR ou CVC Massa) há uma necessidade de um Teor de Aglomerante da ordem de 60 kg/m³.

Ao se considerar efeitos Sísmicos (alem de **0,05g** que é adotado nos Códigos Brasileiros) em outros Países essa Tensão Requerida pode variar um pouco mais, ou a Geometria da Seção Transversal pode ser ajustada convenientemente.

Premissas III

Pode-se considerar como sendo o conjunto de:

- Contrutibilidade;
- Rapidez;
- Simplicidade;
- Segurança;
- Qualidade - Durabilidade;
- Custos

Premissas IV

Minoração à interveniência Ambiental

3 Disponibilidades

A tradicional disponibilidade dos materiais para a construção de Barragens visualizada pelos Romanos e Árabes levou às Rochas e aos Solos.

O advento do cimento como material fabricado, sem se ater aos aspectos das construções Cal - Pozolana antigas, introduziu o Concreto. As Metodologias e Engenhosidades levaram as mais diversas associações para as construções de Barragens. O Solo-Cimento, devidamente estudado, conhecido e dominado, pode ser uma nova alternativa no cenário.

4 Conhecimento

É vasta a disponibilidade de informações sobre Solo-Cimento, e as facilidades atuais da Mídia, tornam fácil a aquisição do conhecimento sobre o assunto, muito mais do que se vivenciou nos anos 70-80!

4.1 Referências

As Entidades **ABCP** (no Brasil), **Bureau of Reclamation, Corps of Engineers** e **Portland Cement Association**, nos Estados Unidos, e **Japan Comission on Large Dams**, possuem vasta literatura sobre o assunto que, embora, utilíssimas não serão citadas neste texto, por questão de espaço.



Essa vasta literatura, em sua quase totalidade, porem, limita-se a dados de resistências às idades de 7 e 28 dias. Há pouca informação referente às propriedades elásticas, e quanto às térmicas praticamente nenhuma, o mesmo sucedendo com poucos resultados de permeabilidade. Complementarmente há dados quanto à erodibilidade e condições de “posto em serviço”

4.2 Conhecimento Laboratorial

Dos estudos Laboratoriais tomar-se-á como base as pesquisa efetuadas pelo **Laboratório da CESP**, em Ilha Solteira, pelo fato de que foram feitas avaliações até a idade de 365 dias ^[12] e cujos resultados e citações são transcritas para este texto:

“...3- CONCEPT

Constructive processes using cementitious soils are simple and economical. The equipment used for mixing, placement and compacting are well known. Construction technique follows procedures resulting in the application of pulverized soil mixes with the correct proportion of water and cementitious mix to allow maximum compacting. After mixing is prepared, the material is spread, compacted and cured. Fly Ash has been used with relative success in cementitious material-soil mixes, improving soil working conditions and characteristics. Almost all natural soils are acceptable for composition with cementitious material. Sandy types are preferred to clayey types for soil with cement mixes as these are more easily pulverized and require a lower cement content to attain the required strength and durability. For lime addition the best results are observed in clayey or medium clayish soils. For sandy or low plasticity soils, the addition of pozzolanic materials will help binder action.

Brazil's vast dimensions enhances great possibilities for development and application of this technology, not only because of the existing soils and diversity of materials available in its territory, but also because of the geographic location of cement and lime plants.

4- RESEARCH PROGRAM

The research program being developed at CESP's Civil Engineering Laboratory in Ilha Solteira-São Paulo-Brazil, tries to evaluate properties and behavior of soil and cement , soil and lime and soil, lime and pozzolanic material mixes so that these mixes can be used as alternative materials for dam construction replacing conventional concrete, rockfill and soil dams.

4.1- Materials

4.1.1- Soils

Three very different basic soil types were selected, namely:

- *A = Sandy Soil , type A-2-4;*
- *B = Medium Soil, Silty, type A-4;*
- *C= Clayey, type A-7-6, with characteristics as shown in Figure 1.*

SOIL			A	B	C
CLASSIFICATION NBR			A - 2 - 4	A - 4	A - 7 - 6
CLASSIFICATION IG			0	4	15
pH			4,99	4,96	5,86
LL - %			23	26	48
LP - %			13	16	27
IP - %			10	10	21
ABSOLUTE SPECIFIC GRAVITY - g/cm ³			2,73	2,74	2,85
% RETAINED ON SEPARATE SIZES	2,0 to 0,42 mm	MEDIUM SAND	10	2	4
	0,42 to 0,05 mm	FINE SAND	60	55	36
	0,05 to 0,005 mm	SILT	4	12	8
	< 0,005 mm	CLAY	26	31	52
OPTIMUM MOISTURE - %			10,5	12,8	20,5
MAXIMUM DRY DENSITY - g/cm ³			2,008	1,914	1,697

FIGURE 1- CHARACTERIZATION OF SOILS USED TO CARRY THESE STUDIES.

4.1.2- Agglomerants

The following materials characterized as shown in Figure 2 ,have been used:

- Portland cement
- Hydrated lime
- Pozzolanic material - (Fly Ash)

4.1.3- Mixes

Using appropriate routine techniques, mixes were prepared and a series of cylindrical test specimens (50mm)x(100mm), were molded for simple axial compression strength, splitting tests (diametral compression) and modulus of elasticity tests at ages of 3, 7, 28, 90, 180 and 360 days. Figure 3 shows the mixes studied and respective binder contents added to the soil mix.

Maximum densities and optimum humidity values were established for each mix through compacting tests with result values as shown in Figure 4.

The “pH” values for each mix were established at mechanical test ages.

MATERIAL			CEMENT	FLY ASH	LIME
% RETAINED ON SIEVE # 325			14	57,5	
FINENESS SPECIFIC SURFACE - BLAINE - cm ² /g			3154	2466	
AVERAGED DIAMETER - micron				11,6	
APPARENT SPECIFIC GRAVITY - g/cm ³			1,12		
ABSOLUT SPECIFIC GRAVITY - g/cm ³			3,15		
REACTIVITY WITH ALKALIES	REDUCTION OF EXPANSION - %			63,3	
	MORTAR EXPANSION - %			0,053	
POZZOLANIC ACTIVITY INDEX	WATER	REQUIREMENT - %		106,3	
	WITH	CEMENT - %		69,6	
	WITH	LIME - MPa		3,5	3,5
WATER FOR FLOW	CONSISTENCY	grams	130		
		%	25,9		
DRYING SHRINKAGE - %				-0,016	
TIME OF SETTING h:m			02:19		
AUTOCLAVE EXPANSION - %			0,054		
COMPRESSIVE STRENGTH CYLINDERS 50x100mm	3 DAYS	MPa	22		
	7 DAYS	MPa	28,8		
	28 DAYS	MPa	34,5		
	90 DAYS	MPa	35,6		
HEAT	HYDRATION	7 DAYS	89		
		28 DAYS	93		
MOISTURE - %				0,03	
CHEMICAL ANALYSIS %	LOSS ON	IGNITION	3,54	0,071	28,61
	INSOLUBLE	RESIDUE	0,33		1,7
	SiO ₂		19,85	56,36	
	Fe ₂ O ₃		3,57	6,08	
	Al ₂ O ₃		5,07	30,54	
	CaO		63,68	1,58	57,29
	Mg		1,42	0,26	11,61
	SO ₃		1,81	0,34	0,08
	Na ₂ O		0,1		
	K ₂ O		0,92		
	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃			36,62	0,62
	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ + SiO ₂			92,98	
	ALKALIES Eq.		0,71	0,55	
	FREE LIME AS CaO		1,12		
	C ₃ S		56,23		
	C ₂ S		15,12		
C ₃ A		9,21			
C ₄ AF		8,96			

FIGURE 2- PHYSICAL-CHEMICAL ANALYSIS FOR BINDERS USED

PROPORTIONING MIX	BINDER									
	CONTENT %					CONTENT - Kg/m ³				
SOIL+ CEMENT	2	4	6	8	10	32,3	64,2	94,7	125,8	155,8
SOIL + LIME	2	4	6	8	10	31,1	51,1	88,7	116	140,4
SOIL + LIME + FA	2 + 10	4 + 10	6 + 10	8 + 10	10 + 10	29 + 147	56 + 145	84 + 140	109 + 137	133 + 133
SOIL + LIME + FA	2 + 15	4 + 15	6 + 15	8 + 15	10 + 15	28 + 213	56 + 210	82 + 205	107 + 202	131 + 196
SOIL + LIME + FA	2 + 20	4 + 20	6 + 20	8 + 20	10 + 20	28 + 280	55 + 277	80 + 266	104 + 260	127 + 254

FIGURE 3- MIXES STUDIED AND CONTENTS OF BINDERS USED

	%	MAXIMUM DRY DENSITY-g/cm ³	OPTIMUM MOISTURE - %	MAXIMUM DRY DENSITY-g/cm ³	OPTIMUM MOISTURE - %	MAXIMUM DRY DENSITY-g/cm ³	OPTIMUM MOISTURE - %
CEMENT	2	1,986	10,7	1,852	13,1	1,68	20,6
	4	1,993	10,4	1,861	13	1,693	20,6
	6	1,99	10,6	1,864	12,9	1,698	19,7
	8	1,996	10,2	1,865	13,2	1,705	20,3
	10	2,008	10,2	1,868	12,5	1,717	19,7
LIME	2	1,94	11,5	1,824	12,7	1,68	20,7
	4	1,918	11,6	1,81	13,5	1,66	20,9
	6	1,914	11,7	1,811	13,9	1,65	21,1
	8	1,916	11,8	1,809	13,8	1,647	21
	10	1,886	12	1,789	14	1,644	21,5
LIME+10% FLY ASH	2	1,867	11,9	1,772	13,7	1,65	20,5
	4	1,865	11,9	1,768	13,7	1,655	20,8
	6	1,843	12,1	1,763	14,4	1,62	21,4
	8	1,84	12,6	1,747	14,4	1,634	20,8
	10	1,816	12,4	1,747	14,6	1,624	21,2
LIME+15% FLY ASH	2	1,822	12,4	1,744	14	1,634	20,3
	4	1,837	12,6	1,732	14,9	1,628	20,4
	6	1,821	12,7	1,73	14,7	1,621	20,7
	8	1,815	12,5	1,733	14,9	1,614	20,9
	10	1,798	12,6	1,718	15,2	1,613	21
LIME+20% FLY ASH	2	1,818	12,7	1,723	14,5	1,622	20,4
	4	1,804	12	1,714	14,4	1,611	20,8
	6	1,793	13,1	1,693	14,9	1,608	20,8
	8	1,787	13,3	1,697	15,5	1,604	21
	10	1,764	13	1,694	14,4	1,589	21,6

FIGURE 4- COMPACTION TESTS WITH NORMAL ENERGY ON MIXES STUDIED

4.3- Results of Mechanical Tests

Results for mechanical axial compression resistance tests are shown in charts of Figures 5, 6, and 7.

Neste texto fixar-se-á a atenção somente sobre o Solo-Arenoso (Tipo A-2-4)

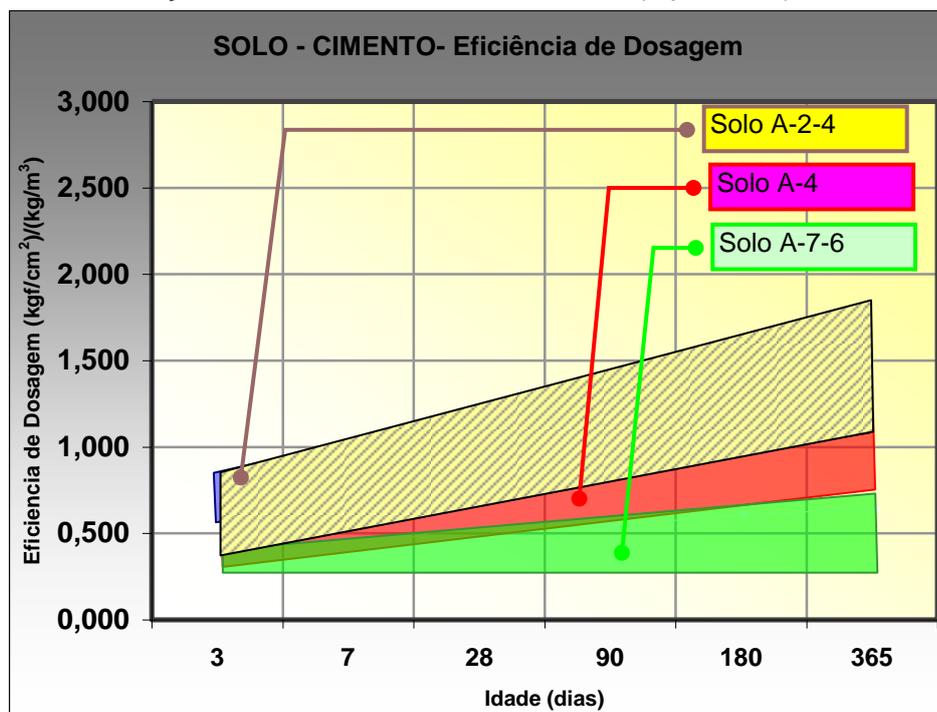


FIGURE 5- COMPRESSION RESISTANCE OF SANDY SOIL

Nota: Os resultados foram transformados em Eficiência de Dosagem, para uma maior comparação



5- COMMENTS

Soil samples are representative of three different types of materials. Test specimens were molded using Normal Compaction Energy showing densities within normal parameters for the types of soils under study.

Generally speaking, resistances have increased with age with soil and cement mixes displaying small dispersion for more or for less, between 180 and 360 days, due to differential development.

- *Relatively large of 7 for 90/180 days and small for 180 to 360 days, this development being absorbed by tests dispersion itself.*
- *This behavior was observed also, in randomly manner, for silty soils with lime and sandy with lime, being less evident for Fly Ash and Lime mixes.*
- *This small development of resistances in soils with cement from 180 to 360 days of age, may be attributed to the high content of C_3S in the cement used, which enables quicker resistance development.*

Soils "A" and "B", with greater sandy portions in their composition have resulted promising for mixing with binders. Soil "A" with 10% cement (155,8 Kg/m³) achieved a 18 MPa. strength at the age of 180 days. Soil "C", of clayey characteristics, showed results inferior to those of other two types of soils, and was not promising at all for mixes with Lime and Lime + Fly Ash.

The use of pozzolanic material resulted in greater resistances at old ages which increased when contents were incremented from 10% to 15%, becoming stable between 15% and 20%.

Mixes with soil "C" (clayey type) showed the lowest indexes for mechanical properties, while mixtures with soil "B" (silty type), reached intermediary ranges as expected. Therefore, it is ascertained that sandy and silty type soils are the most promising for this application. Mixes with cement resulted in greater resistances up to the age of 180 days and lime and pozzolanic material mixes had an expressive evolution from 28 to 360 days.

Mixes with 15% and 20% of Fly Ash and Lime, show resistance values nearer those for mixes with cement for soils type "A" and "B".

Although tensile strength values obtained through diametral compression and modulus of elasticity, are not indicated in this text, the following remarks apply to these properties:

- *The relation between the tensile strength through diametral compression and simple axial compression has been about 10% with a variation coefficient of 15% in the global universe of test values, with no particular bias for any of the mixes under study;*
- *Modulus of elasticity remained between 60.000 Kg/cm² and 100.000Kg/cm² for soil and cement and soil and lime mixes, this property decreasing as the soil becomes more plastic (greater water content). This induces greater delayed elasticity which can be evidenced in the research supplementary phases and must be considered when dealing with very high structures.*

6- DISCUSSIONS

The results of this first phase show very promising mechanical property values for certain mixes of great economical significance which depending on the place and project and foundation

characteristics may serve as alternatives for conventional dams (RCC, Conventional Mixed Concrete, Compacted Soil, Rockfill)...”

4.3 Aplicações no Brasil

A ocorrência de Solos Arenosos e Aluviões com Areia e Cascalhos bem como Cascalhos de Terraço é relevante no Território Brasileiro, bem como em regiões de outros Países.

Essa disponibilidade de material permite o desenvolvimento de dosagens de Solos (preferencialmente Arenosos, e muito mais de Aluviões) – Cimento para a estruturação de corpos de barragens. A disponibilidade de Solos Arenosos no Nordeste e ao redor das Bacia do Paraná, Tocantins, São Francisco, é relevante [15]



Figuras 02- Aspectos do Material Arenoso de potencial uso para Solo-Cimento 1982

4.4 Aplicações Conhecidas no Exterior

A Referência [16] cita vários tipos de aplicações que se multiplicaram a partir de 1975, a saber:

4.4.1 Proteções de Talude

Com base em estudos laboratoriais que demonstraram uma boa capacidade resistente a erosão, o **U.S. Bureau of Reclamation** construiu, em 1951, um protótipo para avaliações em grande escala, no Reservatório de **Bonny**, no oeste do Colorado. Após 10 anos de observação, com mais de 100 ciclos de gelo-degelo, por ano, o **USBR** convenceu-se da aplicabilidade do material e a partir de 1961 especificou o Solo- Cimento como alternativa aos enrocamentos para a proteção de taludes. E, desde 1961, mais de 300 grandes proteções de talude foram executadas nos Estados Unidos e Canadá

4.4.2 Revestimentos

O Solo-Cimento tem sido usado muito, também, como revestimento de Canais, devido à baixa permeabilidade. Coeficientes de Permeabilidade ao redor de 10^{-9} m/seg, tem sido medido em Solo-Cimentos dosados com Cinza Volante e Cal.



Figura 03 – Aspectos dos Taludes da Barragem do reservatório da Termelétrica de Martin- Flórida, quando da visita juntamente com Profissionais da CESP em 1981^[07]

4.4.3 Estabilização de Fundações

O Solo- Cimento tem sido usado em seções maciças para aumentar a resistência e uniformizar a capacidade resistente de fundações para grandes estruturas, como bases de Reatores de Usinas Nucleares (**Koeberg** - África do Sul), e em Barragens (**Cochiti** - Novo México; **Richland Creek**-Texas)

- Aqui cabe uma pergunta do Autor:
 - ***Se é usado para suportar Reatores e Barragens, qual a razão para não ser utilizado na própria barragem?***
- Apenas a justificativa do desconhecimento!

4.4.4 Aplicações Diversas

O Solo- Cimento, também tem sido usado como enchimento, como corpo monolítico em barramentos de reservatórios de água para refrigeração de termo - elétricas, caixas de depósitos-reservatórios, contenções diversa,

5 Viabilidade Técnica

5.1 Generalidades

O conhecimento técnico disponível baseia-se (com exceção dos Estudos citados em [12 e 13]) fundamentalmente, nos estudos de propriedades para Pavimentos e para as Proteções de Taludes, com visão de obtenção de resultados basicamente à idade de até 28 dias.

Neste ponto é importante lembrar a citação de **Levis H. Tuthill**- "*Economical Construction of Concrete Dams*", ASCE, New York, 1972, ^[17]



“ ... It is noted that the full economy of such methods will not be fully realized in the first attempts to use them until all details, new conditions, and training problems are worked out on the first few such jobs.’

Moreover, it is cautioned that the benefits of procedure such as described will not be obtained or reflected in future practice unless means can be found to present these possibilities to designers and agencies responsible for such dams in a manner that will be fully convincing and that will give them complete confidence that their design and performance objectives will be obtained...

...it should be noted that the economic benefit of any innovative procedure that may be regarded as less refined than usual in some aspects of methods and results are obtained only if engineers and agencies responsible for such results are convinced and assured of the essential sufficiency of a structure so built. In a way, we have been saying “Is this good enough?”, “Will that serve the purpose?”, when perhaps we should get further with less waste emotion if we asked and were answered, “What is good enough?”, “What is sufficient to serve the purpose?”. ...”

5.2 Materiais

5.2.1 Solos - Agregados

Solos contendo de 5% a 35% de finos menores que 0,075mm, de pouca plasticidade, produzem as misturas de Solo Cimento mais econômicas. Solos “cascalhosos”, são ainda mais econômicos. Solos mais finos requerem um maior teor de cimento. As graduações granulométricas podem ser menos restritivas que as usuais para concretos

5.2.2 Cimento

O uso de Solo-Cimento tem se caracterizado, até o momento, por empregar, na quase sua totalidade, Cimentos do Tipo Comum (Tipo I ASTM) ou de Moderado Calor de Hidratação (Tipo II ASTM), visto que os usos têm sido para atender requisitos à idades de 7 ou 28 dias.

5.2.3 Materiais Pozolânicos

Devido ao citado em 5.2.2 os Materiais Pozolânicos são pouco usados nos Solos-Cimentos. Os estudos da **CESP**^[12], a longo prazo, mostram vantagens no desenvolvimento das propriedades com o uso de material pozolânico.

5.2.4 Aditivos

Os aditivos químicos, nas aplicações tradicionais que fazem parte do Estado da Arte do Solo-Cimento, praticamente não foram utilizados.

5.2.5 Água

A água é necessária para a mistura dos Solos- Cimentos, sendo que os Solos mais arenosos requerem de 7% a 10% da massa do solo (145kg/m³ a 220kg/m³), e os mais argilosos podem chegar de 10% a 13% (180kg/m³ a 260kg/m³)



6 Dosagem

6.1 Gerais

Os requisitos gerais para um solo-cimento, nas aplicações usuais, levam a uma mistura que corresponda à resistência e a durabilidade (esta medida através dos ciclos gelo-degelo), e nos casos de aplicações em obras hidráulicas a permeabilidade.

Para as aplicações aqui sugeridas a dosagem deve considerar além das resistências (compressão, tração e cisalhamento) e a permeabilidade, a minoração da geração de calor, a estabilidade volumétrica, as propriedades elásticas (Módulo e Fluência) e térmicas.

6.2 Rotina para Dosagens

Vários critérios têm sido usados para as dosagens do Solo-Cimento, sendo que o mesmo conceito adotado para o CCR é aplicável ao Solo-Cimento, mesmo porque há muita semelhança.

6.3 Considerações Especiais

Alguns solos contendo teores de matéria orgânica, podem alterar o pH da mistura e causar efeitos danosos, o que requer atenção especial e controle.

De mesmo modo que para os concretos convencionais, e demais misturas compostas por cimento, a estabilidade volumétrica e a sanidade podem ser afetadas pela ação dos sulfatos. Solos mais argilosos, que requerem maior teor de cimento, que os arenosos, podem ser mais rapidamente afetados por essa ação. O uso de material pozolânico nos concretos se mostra como medida mitigadora dessa ação.

Os solos mais arenosos e/ou “cascalhosos” dependendo da constituição mineralógica poderão estabelecer Reações com os Álcalis do Cimento, com expansões subseqüentes.

Esses aspectos fazem ver a necessidade de conhecimento dos materiais a serem utilizados

7 Características - Propriedades

7.1 Generalidades

As propriedades dos Solos-Cimentos são influenciadas e afetadas por distintos aspectos a saber:

- Tipos e Quantidades de materiais (Solo, Cimento, Material Pozolânico, Água e Aditivos se usados);
- Uniformidade da mistura;
- Manuseio e Compactação;
- Proteção e Cura;
- Desenvolvimento ao longo da idade

Um melhor entendimento do comportamento do Solo-Cimento, assim como do CCR, pode ser alcançado com a devida compreensão das implicações resumidas na Figura 04 a seguir.

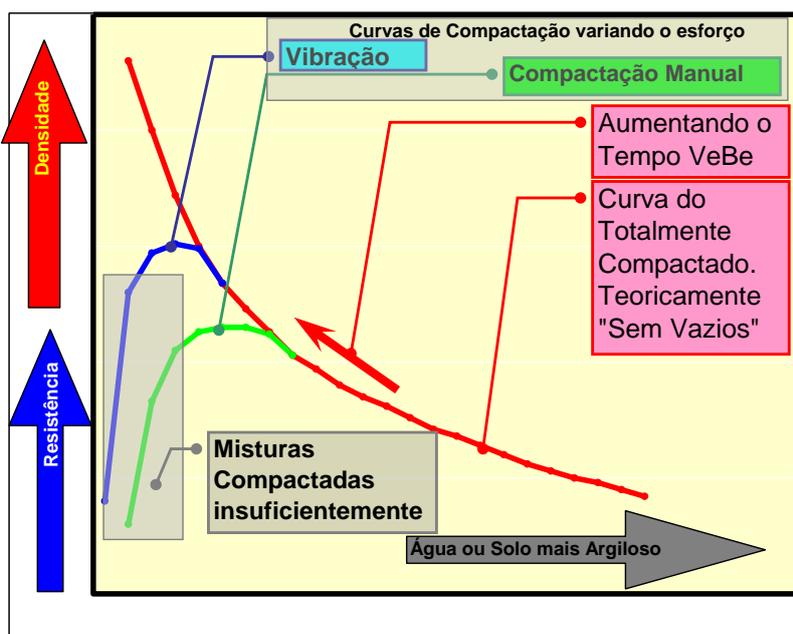


Figura 04- Aspectos de Propriedades Resistentes, dosagens e compactação de misturas de CCR e Solo Cimento

7.2 Parâmetros e Cuidados

A tabela a seguir resume, conceitualmente, as diversas propriedades de Solos-Cimentos de interesse para uso em Barragens.

É evidente que o conhecimento das propriedades a longo prazo, proporciona vantagens adicionais que podem calibrar, ainda mais, a otimização do uso do material com implicações técnicas e econômicas favoráveis. Há, então, a conveniência, e necessidade, de um empenho na realização de ensaios que possam a vir aumentar esses conhecimentos e conseqüentemente o domínio seguro para conquistas econômicas

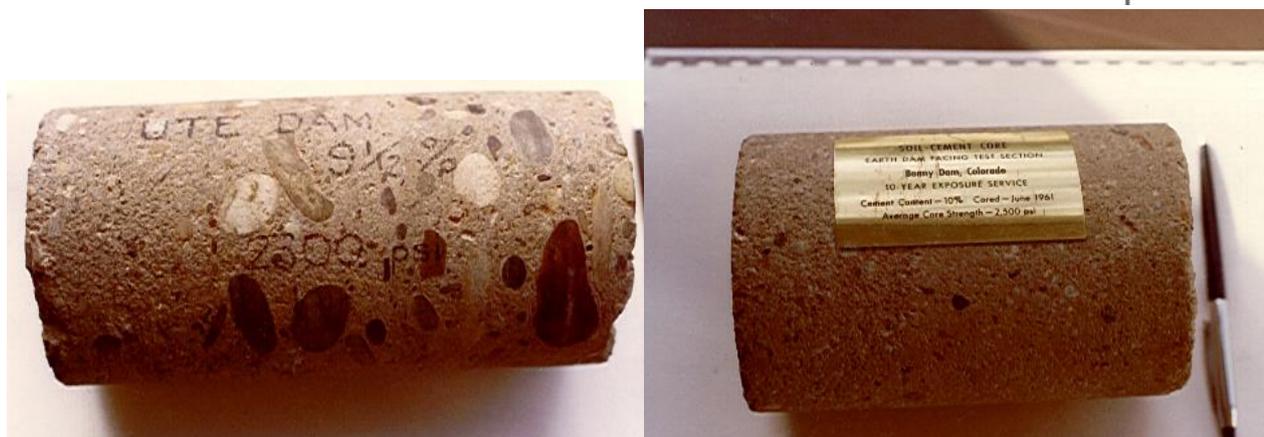


Figura 05—Testemunhos extraídos em 1961, do Solo Cimento (consumo de 10% de Cimento Comum) utilizado na **Barragem de Bonny**- Colorado, indicando uma resistência de 17,6MPa, 50 anos após a construção^[07]

Propriedade	Desempenho Comparativamente ao CCR e ao CVC Massa	Cuidados & Eventuais Ações
Massa Específica ^(a)	Valores entre 1,85 e 2,35 t/m ³ Esses valores se mostram inferiores cerca de 10 a 20% aos dos concretos CVC e CCR. É afetada pelo teor de água na mistura. A Massa específica obtida decorre do tipo de Solo utilizado. Solos mais Arenosos levam a valores mais elevados (mais próximos de 2,2), e os Argilosos a valores menores. Quanto maior a densidade maior a resistência. Não varia com a idade	A Análise de Estabilidade deverá contemplar esses valores para o estabelecimentos da Base (B) da Barragem e os Taludes de Montante e Jusante. Isso pode significar na necessidade de aumento do volume total da Barragem, praticamente nas mesmas proporções da redução da massa específica. Quanto maior o tempo entre a mistura e a compactação, menor a densidade e a resistência
Trabalhabilidade e Consistência ^(a)	Análoga ao do CCR. Maior teor de água, menor o VeBe.	Pouco Relevante
Tempos de Pega ^(b)	Comandados pelo teor de Aglomerante, terá comportamento semelhante ao dos concretos	Relevante para as atividades do manuseio do material, antes da compactação
Absorção ^(b)	Valores entre 4 e 8%. Afetada pela compactidade	Pouco relevante
Resistência à Compressão ^(a)	A medida que o teor arenoso aumenta, os rendimentos ^(c) aumentam, aproximando dos valores de CCR e CCV. Comportamento análogo quanto à evolução da propriedade ao longo o tempo. A medida que a o teor de Aglomerante aumenta, há aumento da Resistência. O aumento do teor de água, implica na redução da resistência. A Resistência aumenta com a idade. Há informações de que Solo (Argiloso)-Cimento (Comum)- apresentou 20% de Evolução ao longo de 30 anos [18]	Ou seja o uso de materiais mais arenosos, a presença de seixos, e uso de materiais pozolânicos, possibilita a minimizar o teor de aglomerante
Resistência à Tração ^(a)	Comportamento análogo ao dos concretos	Idem à compressão. De maneira análoga ao da Metodologia do CCR, as preocupações quanto ao Tratamento das Juntas de Construção requerem providências para garantir os

		valores requeridos
Resistência ao Cisalhamento ^(b)	A Coesão é diretamente proporcional ao teor de aglomerante e o Coeficiente de Atrito está relacionado a influência dos Grãos	Idem à Tração
Módulo de Elasticidade ^(a)	De maneira análoga ao da Resistência à Compressão o Módulo de Elasticidade se mostra com valores mais próximos aos do CCR, à medida que o Solo seja mais Arenoso e com Seixos Rolados. Solos do lado Argiloso apresentam valores menores de Módulos. O Módulo de Elasticidade aumenta com a idade, de modo assintótico	As deformações do maciço de Solo-Cimento devem ser verificadas, o que pode levar a se adotar Juntas de Contração a espaçamentos menores que as dos Maciços de CCR
Fluência ^(b)	Tendo em vista o comportamento do Módulo induz-se que a Fluência seja maior. A Fluência diminui com a idade	Idem ao Módulo. Deve-se ter uma atenção para minimizar a ocorrência de Fissuras devido ao assentamento
Capacidade de Alongamento ^(b)	O maior teor de grãos menores que os agregados graúdos, induz que a Capacidade de Alongamento seja mais elevada que a dos Concretos	
Deformações Autógenas ^(b)	Dependem do Teor de Aglomerante e do Teor de Água. Devido ao maior teor de água nos Solos-Cimentos que os dos concretos, há uma maior Retração por Secagem	Os procedimentos de Cura e Proteção devem ser exigidos com maior atenção
Coeficiente de Expansão Térmica ^(b)	Dependem das características mineralógicas do inerte (solos) e do teor de aglomerante. Além disso a medida que aumenta o tamanho máximo dos grãos das misturas há uma diminuição da pasta e por conseguinte do Coeficiente de Expansão Térmica	Relevante para a avaliação e entendimento do comportamento térmico da estrutura
Calor Específico ^(b)	Pouca influência dos componentes	Pouco Relevante
Condutividade ^(b)	Idem ao comportamento do Coeficiente de Expansão Térmica	Relevante para a avaliação e entendimento do comportamento térmico da estrutura
Difusividade ^(b)	Idem ao comportamento da Condutividade	Relevante para a avaliação e entendimento do comportamento térmico da estrutura
Elevação Adiabática de Temperatura ^(b)	Afetada diretamente pela quantidade de aglomerante.	Preocupações análogas aos dos concretos massivos.
Permeabilidade ^(a)	Maior a quantidade de Finos, menor a Permeabilidade. Há a preocupação pelo fato de se ter uma permeabilidade maior na direção do plano das Juntas de Construção	A permeabilidade do material é baixa, mas o processo construtivo em camadas leva a necessidade do estabelecimento análogo às construções de CCR
Sanidade aos Sulfatos e aos Álcalis	Há a necessidade de avaliação específica para cada solo disponível e o correspondente cimento utilizado	Pode requerer o uso de material inibidor, tipo material pozolânico

Notas ^(a): Propriedades Ensaçadas e conhecidas

^(b) Propriedades ainda não ensaiadas e inferidas a partir de [19], e que merecem avaliação para projeto;

^(c) Por Rendimento deve ser entendido o quociente da Resistência pelo consumo de aglomerante (MPa/(kg/m³) ou (kgf/cm²/kg/m³)



Figura 06—Aspecto de Fissura em Solo Cimento da Proteção de Taludes na Barragem de Martin^[07]

8 Recomendações, Sugestões e Comentários

De mesmo modo que o Autor sugeriu em 1985 para as Barragens em CCR^[20] toma-se a liberdade de sugerir, com bases técnicas, o que se segue, para uso do Solo-Cimento, que poder-se-á ser simplificado para **“SandCrete”**!

8.1- Concepção- Projeto

Decorrente do quadro de Características e Cuidados citado anteriormente o Autor apresenta as seguintes sugestões-Recomendações, que deverão ser otimizadas à medida que o conhecimento se amplie e a confiança se estabeleça.

A Figura 07- mostra esquematicamente uma seção transversal típica de uma Barragem de Gravidade em CCR preponderantemente usada e que pode ser adaptada para uso do Solo-Cimento com as devidas considerações e sugestões que se seguem:

8.1.1 Dimensão da Base (**B**) e Inclinações dos Taludes (**x** e **y**)

A dimensão da Base (**B**) se estabelece na inter-relação da Capacidade Geomecânica de suporte da Fundação e os parâmetros do Solo- Cimento, tais como: Densidade e Resistências. As inclinações **“x”** e **“y”** dos taludes de jusante e montante decorrem de **B**, para com a Altura do Barramento.

Os aspectos de adoção desse tipo de estrutura em regiões sísmicas, permitem a otimização das inclinações **“x”** e **“y”** dos taludes, para com **“B”**, de tal sorte a minimizar as tensões decorrentes das ações dinâmicas

8.1.2 Face de Montante

Conceitualmente a Face de Montante, deve ter características para ser Estanque, com Baixa Permeabilidade e minimizando a fissuração, conseqüentemente Durável, e associada à zona de montante suportar os esforços previstos.

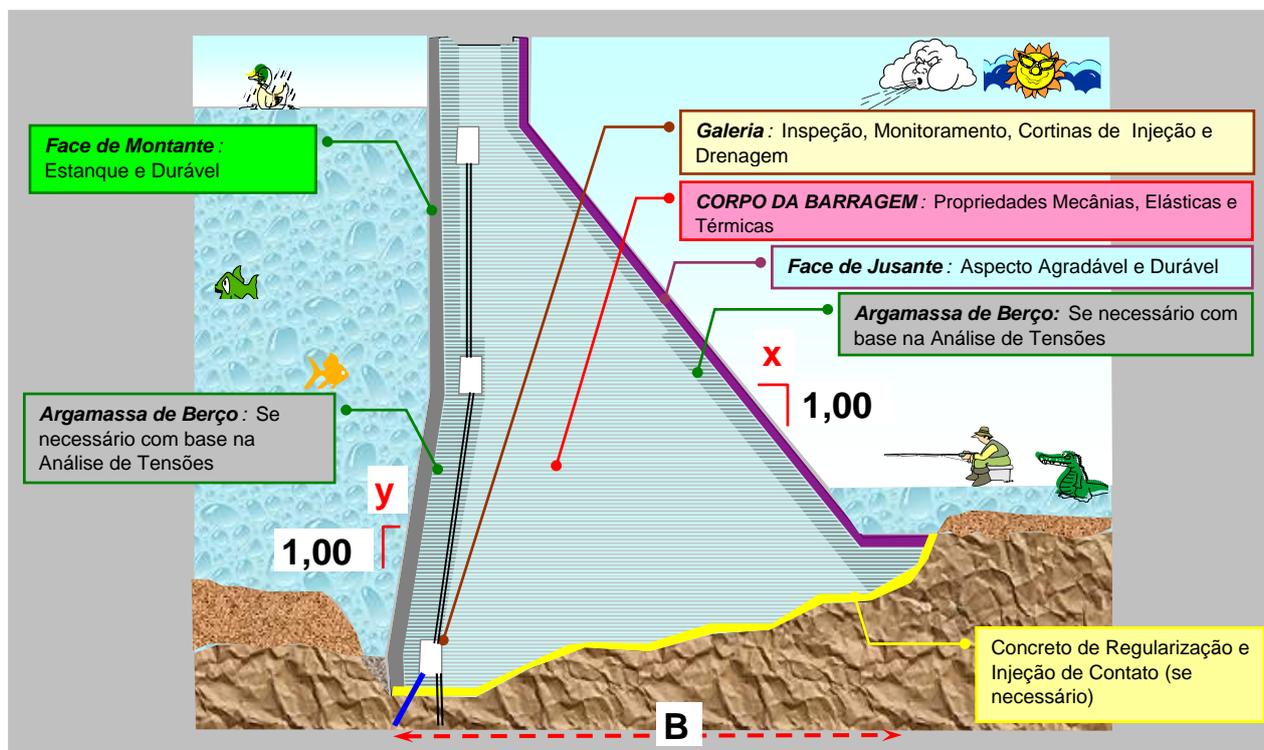


Figura 07- Aspecto esquemático sugerido para uma seção transversal considerando a aplicação de solo-cimento em barragem

De modo geral, com base nos usuais Tipos de Faces pode-se resumir as seguintes opções:

- Concreto Convencional (CVC)** moldado juntamente como o Solo-Cimento lançado em camadas. A espessura da camada de CVC deverá ser calculada com base na Permeabilidade do CVC, porem evitando que o consumo de aglomerante ultrapasse 200kg/m^3 , de modo a minimizar a possibilidade de ocorrência de fissuras;
- Placas pré-moldadas de concreto com Membrana de PVC**, incorporada ao próprio pré-moldado, e adicionalmente uma camada de CVC de espessura menor à sugerida em a), aplicada simultaneamente, porem imediatamente antes das camadas de Solo-Cimento;
- Camadas de Solo-Cimento moldadas diretamente contra Formas**, e a adoção de um sistema de impermeabilização posterior. Nessa opção deve-se evitar a aplicação de uma Laje de CVC moldada contra o Solo-Cimento, porem posteriormente, devido ao estabelecimento de "Restrição" e, subseqüentemente, a potencialização de fissuras. A aplicação de membrana externa se torna, então, um complemento



Das 3 opções a alternativa **b)** constitui-se em opção importante, pelas seguintes vantagens:

- O Pré-moldado atua como Forma, e a Membrana como elemento de Estanqueidade, o que torna a vulnerabilidade de fissuração irrelevante;
- O Pré-moldado atua como um isolante térmico durante o período inicial após concretagem minimizando o aspecto negativo do gradiente de temperatura dia-noite, quanto ao surgimento de fissuras decorrentes desse gradiente;
- No caso de obras em regiões de sismicidade apreciável, mesmo se houver fissuração na camada de CVC a membrana (devido ao elevado alongamento) minimiza o estabelecimento de pressões instabilizantes;
- Proporciona um aspecto visual agradável, além de durável;
- Os custos podem ser compensados pela eliminação da Forma e pela redução da espessura de CVC, comparativamente ao requerido em **a)**

A solução **b)**, quando adotada, deve ter uma rede de drenagem associada a interface Membrana* Camadas de CVC

8.1.3 Face de Jusante

A Face de Jusante tem a finalidade de ter um aspecto agradável e ser durável. Para tanto pode ser construída com as opções usualmente adotadas para os maciços de Concreto Compactado com Rolo (CCR).

Nas regiões onde o Solo-Cimento possa ser usado para receber uma estrutura vertente, de mesmo modo podem ser adotadas as opções usuais quando do emprego de CCR.

8.1.4 Corpo da Barragem

Aqui é onde se pode extrair os benefícios do Solo-Cimento devido as satisfatórias capacidades Mecânicas - Elásticas e Térmicas. Pode-se adotar um maciço de Solo-Cimento na mesma conceituação do Maciço de CCR, com os devidos ajustes citados em 8.1.1

8.1.5 Galerias

Galerias em barragens com mais de 10m de altura são vantajosas sob aspectos técnicos (aspectos de estabilidade)^[21], devido a drenagem, além dos aspectos úteis quanto auscultação. Além disso, é uma opção para permitir realizar os serviços de injeção da cortina.

Além do mais a galeria tem grande importância, em Barragens, para eventuais ações remediais



Por outro lado a incorporação de galeria no corpo da barragem é visto – construtivamente- como um condicionante de redução de produtividade. O que na maioria das vezes dentro de um Planejamento adequado, não cria essa contrariedade.

Há, então, que se analisar as vantagens e desvantagens, sem, entretanto prejudicar a Segurança , e as eventuais ações remediais.

8.1.6 Requerimento para o Comportamento das Juntas de Construção

Decorrente de 8.1.1, poderá haver a necessidade de garantir a monoliticidade entre as camadas de Solo-Cimento. Nessa situação a adoção de Argamassa de Berço, ou uma calda espessa, torna-se um requisito conceitual de projeto.

As flutuações conceituais quanto as vantagens de se buscar ampliar extraordinariamente o Tempo de Pega do CCR, para evitar o tratamento de Junta, o que é meramente uma divagação teórica, não se vê conveniente nestas recomendações. A extensão da zona de Montante e Jusante a receber a argamassa de berço, deve ser orientada e definida com base nas Análises de Tensões.

8.1.7 Concreto de Regularização e Injeção de Consolidação

A adoção de uma camada de CVC, como regularização é um artifício para facilitar os trabalhos iniciais de aplicação do CCR, e para os trabalhos de injeção de contato, se requerido no Projeto, o que não é muito usual no Brasil.

8.1.8 Controle da Temperatura de Colocação

É evidente que na busca de Simplificação há, implicitamente, a conveniência de eliminação da necessidade e refrigeração. Ao se lembrar das referências [1 a 3 e 17] há uma sintonia evidente sob esse aspecto. Além disso há estudos que evidenciam a possibilidade de aplicação do CCR em camadas diárias à temperatura ambiente de até cerca de 35°C, sem uso de refrigeração [22].

Como esse aspecto é dependente do consumo de aglomerante, por prudência, recomenda-se efetuar uma Análise Térmica a cada situação e região, e modular as Juntas de Contração à espaçamentos convenientes.

Salienta-se que a adoção da Face, como descrito na opção **b)** de 8.1.2, é um elemento simplificador nesses aspectos.

8.1.9 Juntas de Contração

O espaçamento entre as Juntas de Contração decorre de 8.1.8. Entretanto tendo em vista, ainda, os poucos conhecimentos de Fluência á conveniente que os espaçamentos, inicialmente, sejam a intervalos não maiores que 15m.



O sistema de estanqueidade das Juntas de Contração pode ser o mesmo adotado para os maciços de CCR, com linha dupla de Veda Juntas com um dreno incorporado

8.2 Detalhes de Projeto e Interferência com o Método Construtivo

A necessidade de se ter no corpo da Barragem em Solo-Cimento, detalhes como Drenos, Embutidos, Poços devem ser encarados de mesmo modo que para as Barragens de CCR.

8.3 Aspectos Construtivos

Na construção com Solo- Cimento os objetivos são análogos aos do CCR, isto é, o de obter uma mistura uniforme, adequadamente transportada e compactada, e sob cura correta para atingir as propriedades requeridas.

8.3.1 Exploração da Jazida

Os depósitos naturais, com raríssimas exceções, não são uniformes, o que leva a uma análise da necessidade de ações e processamento para ter uma uniformidade, ou estabelecer sobre- dosagens para cobrir as dispersões e garantir o mínimo das propriedades requeridas.

Mesmo assim, é de se entender que essas implicações resultam em custos menores do que a exploração para se obter agregados de maneira tradicional para os concretos.

8.3.2 Processamento, Homogeneização e Estocagem

Decorrente do citado em 8.3.1, poderá ser necessário um processamento do tipo, retirada de sobre tamanhos (no caso de solos “cascalhosos”), e/ou homogeneização e/ou a secagem (no caso de solos mais argilosos).

Essas providências têm a conotação conceitual teórica com a intenção de minimizar as dispersões de tal forma a ter propriedades com pequena variação, e com isso minimizar o teor de aglomerante.

Entretanto, do ponto de vista prático e econômico deve se estabelecer uma análise de tal modo a verificar a conveniência de se ter um processamento, ou cobrir as dispersões com teor adicional de aglomerante (e suas implicações técnicas decorrentes!), de modo a cumprir com as propriedades requeridas com a devida segurança.

8.3.3 Proporcionamento e Mistura

Para caso de aplicação de Solo – Cimento descarta-se a opção de uso de Pulverizadores in situ, empregado em pavimentos e algumas proteções de taludes.



No caso de uma aplicação mais concentrada, como barragens, é recomendável que o proporcionamento e mistura seja realizado em centrais que poderão ser por dosagem

- Gravimétrica, ou;
- Volumétrica.

É plenamente conhecido que as dosagens volumétricas causam maiores dispersões, nas propriedades, que as gravimétricas. Nesse caso reporta-se ao comentário do item 8.3.2.

Os misturadores forçados de eixo simples ou duplo se mostram os mais adequados, sendo que os misturadores basculantes, tradicionalmente usado nos anos 50 a 90 para os CVCs Massa das Barragens, não se mostram convenientes, devido a quantidade de Finos, que proporcionam misturas mais coesivas, e a decorrente possibilidade de aglutinar nas pás desses misturadores. Isso leva à conveniência de misturadores forçados, além de que o ciclo de mistura é menor nesses misturadores do que os basculantes, para a mesma capacidade nominal individual do misturador.

As construções de CCR proporcionaram ensinamentos aos mais reticentes, e um dessas orientações foi o da adoção de um silo de abastecimento imediatamente após os misturadores, de tal modo a não vincular o ciclo dos veículos de transporte ao dos misturadores. Esse silo deve ter volume proporcional ao dos misturadores e compatível com o do veículo de transporte.

8.3.4 Transporte e Manuseio

O transporte, desde o sistema de produção ao local de aplicação deve ser o mais rápido possível (não mais que 30 a 40 minutos) de tal modo a minimizar a perda de umidade. E de tal maneira que o tempo desde o início do transporte, colocação e compactação não ultrapasse o Tempo de Início de Pega (que deve ser conhecido por quem manuseia materiais compostos por cimentos!) e de preferência aquém de 90 minutos.

Não há restrição dogmática quanto ao tipo de transporte a ser adotado (caminhões, correias, moto-scrapers, etc..) desde que o sistema seja compatível com a magnitude da obra, com a Cronologia de Construção e que cumpra com os tempos recomendados acima e não introduza segregações (principalmente quando do uso de solos “cascalhosos”)

Nota: *Tem sido muito observado nas construções de CCR que os Construtores têm uma pré-disposição contra essas limitações de tempos, sem considerar, entretanto, que ao cumprir com esses objetivos, estará sendo muito mais Produtivo!*

Os caminhões basculantes, quando utilizados, deverão ter sobre a carga de Solo-Cimento uma lona protetora úmida.



De mesmo modo que junto a saída dos misturadores, nos eventuais pontos de transporte deverão ter silos de transferência. Essa recomendação é válida para as situações onde há mudança do tipo de transporte. Ou seja, de contínuo para intermitente ou vice-versa.

8.3.5 Espalhamento e Nivelamento

De mesmo modo que o CCR, o Solo-Cimento deverá ser aplicado em camadas, espalhadas, que poderá ser por tratores de lâmina frontal e/ou moto-niveladoras. A altura das camadas deverá ser compatível com o Rolo compactador a ser adotado, pelo Construtor, de tal modo que o mesmo garanta, para o Solo-Cimento usado, uma compactação maior que 97%. (de preferência acima de 98%, para o que recomenda-se entender o gráfico da Figura 04).

8.3.6 Compactação

A compactação deverá ser terminada o mais rápido possível, e de preferência, até os tempos máximos recomendados em 8.3.4.

Para solos mais argilosos normalmente têm sido usado os rolos do tipo “Tamping” ou “Pé de Carneiro” e para solos do lado arenoso e “cascalhosos”, o rolo liso vibratório. Decorrente dessas opções é bastante recomendável que o Construtor realize aterro experimental para a devida adequação de seus equipamentos, altura de camada, número de passadas, treinamento de equipe, para cumprir com as propriedades que venham a ser requerida.

8.3.7 Tratamento da Superfície da Junta de Construção

O Tratamento de superfície das juntas de construção deve ser entendido como todos os procedimentos necessários para restabelecer o monolitismo da estrutura, anteriormente alterado pelo lançamento em camadas, que ultrapassem entre si o Tempo de Pega do Solo-Cimento. Ou seja acima do tempo, em que as reações de hidratação, permita uma ligação autógena entre as camadas “nova” e “velha”.

Essa é uma atividade crítica, tanto nos concretos convencionais e CCR usados em estruturas hidráulicas, para a qual as Especificações de Projeto não podem abrir mão da Qualidade e Segurança, e que na eventual utilização do Solo-Cimento para as finalidades aqui objetivadas, também devem ter imposições corretas.

Ou seja decorrente das Análises de Tensões, o corpo da barragem terá zonas onde haverá a necessidade de garantir as Tensões de Tração e Cisalhamento, e haverá zonas onde somente o Atrito se faz necessário. Disso decorre que o tipo de tratamento da superfície da Junta de Construção, poderá ser distinto a cada zona.

O tipo de tratamento deverá ser análogo ao aplicado nas superfícies das juntas de construção do CCR, ou seja:



- Nas zonas onde **há requisitos** das Tensões, limpeza com jato de ar úmido, sob pressão de 7 báries, com a retirada de todo o material solto e danificado, ou sujeira, e **aplicação de argamassa de berço**;
- Nas regiões onde **não se requeira Tensões**, somente a limpeza com jato de ar úmido, sob pressão de 7 báries para a retirada de todo o material solto e danificado, ou sujeira

Na eventualidade do uso e CVC para as faces de montante e jusante, a superfície da junta de construção desse concreto deve atender o conceito de tratamento para concretos convencionais (o qual o Autor espera que todos que trabalham com concreto, saibam!). Entretanto, para uniformizar as operações a aplicação da argamassa de berço pode-ser estendida sobre o CVC, após o preparo da superfície do mesmo. Essas operações devem ser realizadas imediatamente antes do lançamento da nova camada.

8.3.8 Juntas de Contração

As Juntas de Contração, estabelecidas com base ao citado em 8.1.8 e 8.1.9, poderão ser executadas de mesmo modo que o atualmente usado para as barragens de CCR.

Na face de montante, se adotado o uso de CVC, o sistema de estanqueidade e drenagem, constituídos por linha dupla de Veda-Juntas de PVC e Dreno, deverão estar envolvidos pelo próprio CVC devidamente adensado.

8.3.9 Proteção e Cura

Proteção

- Durante as operações de espalhamento e compactação o micro-clima da região onde se concentra essas operações deverá ser mantido úmido, por meio de nebulizadores;
- Na eventualidade da ocorrência de chuva, pode se proceder como o usualmente adotado nas construções de CCR;
- Nas construções em zonas de clima frio, as operações devem ser executada de modo a garantir o início de endurecimento do material

Trânsito sobre a Superfície Compactada

Deve ser entendido que qualquer atividade que danifique a superfície, o material danificado deverá ser retirado no tratamento da Junta de Construção.

Diante dessa conceituação o manuseio de veículos e equipamentos deve ser feito de tal modo que não danifique a superfície para não haver a necessidade de se retirar materiais desnecessariamente.



**Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2008 - RCC Symposium**
Setembro / 2008
ISBN
@ 2008 - IBRACON



Estima-se, com base no uso de cimentos e do próprio CCR, que o tráfego de veículos leves possa ser tolerada a partir de 4 a 5 horas após a compactação, e que veículos pesados a partir de 10-12 horas. A ação das unhas das esteiras dos tratores deve ser evitada.

Cura

A cura é necessária para que se desenvolvam as reações de endurecimento do composto por cimentos, além do que a cura executada desde o momento após a compactação permite extrair calor (devido a hidratação) antes de se atingir o Pico Térmico devido a hidratação.

Pelo menos por essas razões a cura deve ser realizada com água, pela ação de nebulizadores, durante os 3-4 primeiros dias e por aspersão (o que não significa Jato!) de água por tempo não inferior a 10 dias ou até que uma nova camada venha a ser aplicada sobre a terminada.

8.4 Sistema para o Controle de Qualidade

O Autor é de opinião que Controle de Qualidade não é apenas o registro de informações, e a realização de gráficos bonitos e de relatos de elevado impacto visual, mas sim e muito mais o correto manuseio das informações para a tomada de ações em tempo hábil e compatível com a dinâmica de construção para minimizar erros, corrigir falhas e maximizar a uniformidade, de tal modo que a qualidade se estabeleça autogenamente. Diante disso o Sistema de Qualidade deve englobar:

- ❖ Capacitação e Qualificação dos Participantes nos processos e atividades;
- ❖ Simulação de atividades fundamentais e eventualmente não conhecidas (ensinamentos, palestras, realização de aterro experimental);
- ❖ Estabelecimento de rotinas e métodos que conduzam a uma absorção rápida das informações, com análises sistemáticas e advertências às vulnerabilidades;
- ❖ Conhecimento prévio do comportamento (estatística) dos materiais adquiridos de terceiros para a obra;
- ❖ Conhecimento e domínio do processo de produção dos materiais (sistema de beneficiamento do material produção das misturas, transporte, colocação adensamento) para atuação nos pontos críticos;
- ❖ Estabelecimento de rotinas e ações para garantir o cumprimento das propriedades exigidas com a menor dispersão possível;
- ❖ Rapidez e confiabilidade nas ações, honestidade nos registros, fidelidade nas informações;
- ❖ Auscultação e monitoração eficiente;
- ❖ Registro claro, impessoal e auto-explicativo.



**Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2008 - RCC Symposium**
Setembro / 2008
ISBN
@ 2008 - IBRACON



9 Referências

- [01]- RAPHAEL, J.M.- **“The Optimum Gravity Dam”**- Anais do Rapid Construction Concrete Dams”- ASCE- Asilomar- California-USA- March-1970
- [02]- RAPHAEL, J.M.- **“Construction Method for the Soil- Cement Dam”**- Anais do Economical Construction of Concrete Dams- Asilomar- California- USA- May-1972;
- [03]- CANNON, R.W.- **“Concrete Dam Construction Using Earth Compaction Methods”**- Anais do Economical Construction of Concrete Dams- Asilomar- California- USA- May-1972;
- [04]- ANDRIOLO, F. R.- **“RCC- Concreto Rolado- Rollcrete: Mais de 30 anos no Brasil – Erros, Acertos, Contrariedades, Conquistas e a Necessidade de Manter Qualidade”**- Anais do 50º. Congresso Brasileiro do Concreto – CCR 2008- RCC Symposium -Salvador Bahia- Brasil- 2008
- [05]- ANDRIOLO, F.R.- **“The Use of Roller Compacted Concrete”**- Oficina de Textos- Rua Augusta 1371- Lj. 107- -1305- 100- São Paulo- Brasil- 1998
- [06]- ANDRIOLO, F.R.- **RCC Brazilian Practices”**- Oficina de Textos- Rua Augusta 1371- Lj. 107- -1305- 100- São Paulo- Brazil- 2002
- [07]- Relatório da CESP- **“Viagem aos Estados Unidos da América”**- 25 de Setembro a 18 de Outubro de 1981- Ilha Solteira-SP-Brasil;
- [08]- SGARBOZA, B. C.; ALMEIDA, S. J.; EUSTAQUIO, J.O.F.; HELLVIG, A.J.; MELLIO. A.- **“Proteção de Taludes com Solo-Cimento- Estudos e Aplicações nas Obras de Porto Primavera e Rosana”**- . Anais do XV Seminário Nacional de Grandes Barragens- Rio de Janeiro- Novembro/1983;
- [09]- ONO, S.; COSTA, A.F.- **“U.H.E .Tucuruí- Estudos de Utilização de Solo- Cimento para a Proteção de Taludes da Barragem”**- . Anais do XV Seminário Nacional de Grandes Barragens- Rio de Janeiro-Novembro/1983;
- [10]- CAMPITELLI, L.- **“Aproveitamento Hidrelétrico de Tucuruí- Aterro de Cascalho não Coesivo; Proteção de Talude com Cascalho; Proteção de Talude com Solo-Cimento”**- Anais do XV Seminário Nacional de Grandes Barragens- Rio de Janeiro-Novembro/1983;
- [11]- Eletronorte- UHE Tucuruí- **“Projeto de Engenharia das Obras Civis- Consolidação da Experiência”**- Engevix /Themag- Agosto-1987- Brasília- Brasil;
- [12]- ANDRIOLO, F.R.; OLIVEIRA, P.J.; SALLES, F.M.-**“Soils & Cementitious Materials- A Technical Option fr Use as a Structural Element for Dams”**- . Anais do International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- Santander- Spain – Outubro- 1995
- [13] **“Currents Activities on Dam in Japan”**- Japan Comission on Large Dams- 2002
- [14] ANDRIOLO, F.R – **“Barragens em CCR- Concreto Compactado com Rolo- Estado da Arte- Materiais, Projeto e Construção”**- Instituto de Engenharia – Curitiba Paraná- Brasi- Dezembro/ 2001;

- [15] IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- **Atlas Nacional do Brasil**- 3ª. Edição- Rio de Janeiro- 2000
- [16]- ACI ACI 230.1R-90- "**State-of-the-Art Report on Soil Cement**"- Detroit
- [17]- TUTHILL H.L. – "**Economical Construction of a Concrete Gravity Dam**"- Anais do Economical Construction of Concrete Dams- Asilomar- California- USA- May-1972;
- [18]- RELATÓRIO LEC-010/05 - AEROPORTO DE ÁGUA VERMELHA- "**Avaliação da Resistência da Camada de Base de Solo-Cimento do Pavimento**"- Ilha Solteira/2005
- [19]- ANDRIOLO, F.R; SCANDIUZZI, L.- "**Concreto e seus Materiais: Ensaio e Propriedades**" - Editora Pini- Rua Ahaia 196- Bom Retiro- São Paulo- Brasil- 1986
- [20]- ANDRIOLO, F.R - "**Concreto Adensado com Rolo Vibratório- Sugestões para Projeto e Construção**"- . Anais do XVI Seminário Nacional de Grandes Barragens- Belo Horizonte-MG – Brasil – Novembro/1985;
- [21]- ANDRIOLO, F.R; GOLIK, M.A.- "**Inspection Gallery and Drainage: Problem or Solution?**"- Anais do International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- Santander-Espanha – Outubro/1995
- [22]- ANDRIOLO, F.R; GAMBALE, E.A.; BOTASSI, S.S.; ANDRADE, M.A.S.; BITTENCOURT, R.M.; PACELLI, W.A.- - "**Thermal Analysis of Roller Compacted Concrete**"- Anais do IV International Symposium on RCC Dam- Madrid – Spain- November

Respostas à indagação da Figura 01



CVC



CCR com os mesmos materiais da anterior



CCR



Solo- Cimento –Barragem de Bonny- Colorado-USA



Sandcrete- Solo-Cimento Arenoso

Figura 01 **Respostas**- Materiais contendo mistura de Cimento com Agregados de Distintos Tamanhos Máximos