



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



RCC- Rolled Concrete – “Rollcrete”: Over 30 years in Brazil – Mistakes and Corrections, Obstacles, Accomplishments and the Need to Maintain Quality

RCC- Concreto Rolado- “Rollcrete”: Mais de 30 anos no Brasil – Erros, Acertos, Contrariedades, Conquistas e a Necessidade de Manter Qualidade

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

Over 31 years have gone by since the first applications of Roller Compacted Concrete – “Rollcrete” (that was what we called it) in Itaipu, between Brazil and Paraguay. Many errors were made at that time, but corrections were made by assays, research and discussions, all of which gradually lead to correcting past errors and establishing construction practices with Brazilian peculiarities, which little by little have contributed toward its application in other countries worldwide.

In the course of this progress there have been inconveniences and divergencies, many of these from incipient beginnings and devoid of technical validities, but at times embodied by vanity!

The achievements by Brazilian Design Companies, Consultant Professionals and Contractors, in the Industry of Dam Construction, domestically and in other countries, attest to the development established in Brazil during that period. However, as in any practice that involves Human Beings, Equipments and Materials, with different idiosyncrasies, types and origins, there is the perennial need for Quality. In this paper, the author approaches these aspects from the beginning of such Development, until the present moment.

Keywords: Rollcrete; Rolled Concrete; RCC; Rock Flour; Fines; Fly Ash; Dam; Properties; Strength

Resumo

Cerca de 31 anos já se passaram desde as primeiras aplicações do Concreto Rolado- “**Rollcrete**” (como assim o denominávamos) em Itaipu, entre Brasil e Paraguai. Vários erros foram cometidos àquela época, corrigidos, suportados por ensaios, pesquisas, discussões, que levaram, paulatinamente, aos acertos e ao estabelecimento de uma prática de construção com particularidades brasileiras, e que pouco a pouco tem contribuído para a aplicação em outros Países, no Mundo.

No transcorrer dessa evolução houve contrariedades, divergências, muitas das quais de berço incipiente e desprovidas de validade técnica, mas às vezes encorpadas de vaidade!

As conquistas por parte de Empresas Brasileiras de Projeto, de Consultoria, e de Construção, havidas na Indústria da Construção de Barragens, internamente, e em outros Países, atestou o desenvolvimento



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



estabelecido nesse período, no Brasil. Entretanto como em qualquer prática que envolve o Ser Humano, Equipamentos e Materiais, de distintas idiosincrasias, tipos e origens, há necessidade perene da busca da Qualidade. Neste texto o autor aborda esses aspectos desde o início desse Desenvolvimento até a época atual

Palavras-Chave: Rollcrete, Concreto Rolado, CCR, Pó de Pedra, Finos, Cinza Volante, Barragem; Propriedades; Resistência;

1 Introduction

The methodology of the **RCC – Roller Compacted Concrete**, began to be established in Brazil over 31 years ago, some (about 5 yrs. after the first ideas about the methodology).

The RCC was characterized for being simple, fast and economical. But here it is necessary to bring a reminder – **TO MAKE IT SIMPLE, DOES NOT MEAN TO NOT DO IT**, and especially **NOT DO IT WELL!**. That will be seen ahead!

On such path of development and consolidation, Brazil produced about 300 publications, some books, many of Master's and PhD thesis, several companies of Project Consultancy set abroad with Projects adopting the advantages of this Technique; several Contractor Companies continue building Projects with this Methodology in other Countries, some Professional Consultants support Government Agencies, Enterprise Projects and Contractor Companies around the World.

In Brazil, due to their differences arising, particularly, from the territorial dimension, features and construction-production techniques, have been incorporated and exported. Concepts were made to be viewed, and safety aspects in the ventures were validated.

All this was not achieved calmly and as a Progress could ask, but as the result of profound debates, and at times, also superficial, lacking in technical knowledge, and even with a large portion of vanity or personal interests, against the direction towards progress. But the technical truth was asserted and the Methodology was established with benefits that emerge day by day.

We can not fail to highlight that sometimes ignorance, stubbornness, greed, join to induce **BADLY DONE!** And for this there is a perennial need to emphasize that quality should be maintained. Within this aspect one should take caution that the Speed that the methodology allows does not become a critical factor for the reduction of Quality and Durability.

2 Development

2.1 Worldwide

The idea of Technical Construction of the RCC, was initially mentioned at conferences in Asilomar, California, as can be conveniently remembered:



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



- ☞ in March 1970 – Rapid Construction of Concrete Dams – “The optimum Gravity Dam” – Prof Jerome Raphael^[01] and ;
- ☞ in May 1972 - Economical Construction of Concrete Dams^[02] and their discussions, should be remembered:

[01] “...*The very lean concrete dam such as Professor Raphael apparently has in mind, would require that the upstream face have an impervious membrane which could be cemented.. provide to prevent deterioration from weathering...*”

[02] “... *it should suffice to say that the construction procedure is feasible, and that concrete compacted by this procedure is in every respect equal to or higher in strength than conventional concrete with equal cement content...* (This publication should be read by all who use the technique!)

[03] “...*It is concluded that the techniques are here to take the next step to building the economical soil-cement dam....*”

The Industry for Construction of Dams, almost immediately after World War II, developed two main lines of construction methods

- ✚ The Concrete Face Rock Fill Dams, and
- ✚ The Roller Compacted Concrete Dams

Both of these disputing for room and technical advantages, of time and costs, in the Worldwide scenario.

The series of RCC dams in the world reached at the end of 2007 over 330^[04], and currently it could be 350, because several entities of several countries avoid sending information in order to reduce the harassment by professionals on the Project decisions. The CFRD, started earlier, total to around 320.

Each one shows advantages and characteristics in different places in various hydrological systems and a single reason cannot be declared for the preferences, which make up the appropriate and correct discretion.

In Brazil, while the number of CFRD Dams is around 12-13, the RCC ones are near 60. Given that in the World scenario China is virtually cooperating with about 40% of the CFRDs, and other countries considered Great Builders of Dams (Australia, Brazil, Chile, Colombia, United States), correspond with about 3% to 4% of the total number. With regards to RCC Dams the Countries considered Great Constructors comprise about 65%, with an almost equal distribution between Brazil, China, Japan and the United States, with around 17% in each of these countries.

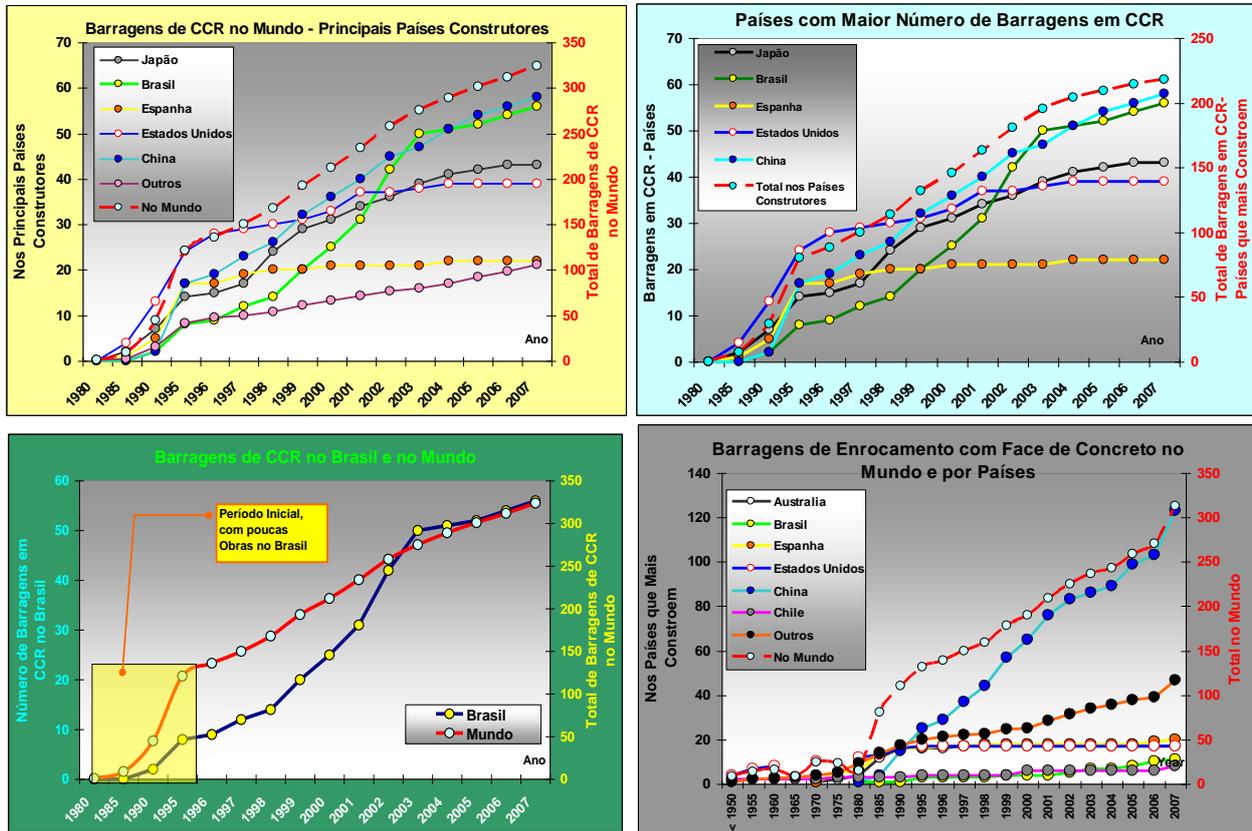


Figure 01- Statistics for the number of RCC and CFRD Dams in the World - 2007

The practice of "Low Cementitious Content" was adopted at the outset of the first RCC Dams in the United States.

Almost simultaneously [05,06 e 07], Japan began to use the evaluations for using RCC in 1974, adopting the nomenclature RCD, with a cementitious content of 130 kg/m³ with 91 kg/m³ of cement and 39 kg/m³ of Fly Ash.

China, another Country considered a great builder, began studies for the implementation of the RCC around 1980, with an cementitious content of 120 kg/m³ to 152 kg/m³, given that the Kengkou Dam effectively began a cycle of large RCC projects in China, with a content of 140 kg/m³ of cementitious materials (60 kg/m³ of cement and 80 kg/m³ of Fly Ash)[08] From this series of Dams it is important to mention those that show resistance to long ages, as the mentioned below.

The average ratio of Tensile Strength (indirectly by diametrical compression- Brazilian Test) the Compression was around 11%, and Direct Tensile Strength / Compression between 6% to 7%.

Clearly, when a particular property is required, one should seek the mix proportion, with the materials available in order to meet such properties. For example, a greater resistance to RCC of a Double Arch Curvature Dam, or Pavement. But these concrete thus rationed,

and applied by a Vibrator roller compaction are RCC, or better said-**CONCRETE!**

PROJETO	Conclusão	País	Tipo de Barragem	Volume Concreto (m ³)	Tipo Concreto	MSA mm	Dosagem Kg/m ³				Resistência Média (kgf/cm ²)								
							Teor Ciment	Mat. Poz.	Total	Água	7 dias	28 dias	90 dias	180 dias	1 ano	2 anos	5 anos	12 anos	
Capanda	1988-2000	Angola	Gravidade Curva	662.000	RCC	63	70	(*)	70	135	58	78	98	104	110	120		130	
Hiyoshi	1992	Japão	Gravidade Reta	674.000	RCD	152	84	36	120	86	76	159	269						
							77	33	110	83	69	149	250						
Salto Caxias	1995-1998	Brasil	Gravidade Reta	920.000	RCC	50		(*)	0	143	36	50	82	114	132				
Miel I	2000	Colombia	Gravidade	1.800.000			63	150		150	133	114	148	178	195	219			
								125		125	130	96	126	156	176	183			
								100		100	125	68	94	119	133	148			
						85		85	123	61	85	105	118	130					
Al Wehdah	2006	Jordan	Reta	1.400.000		50	60	80	140	125	54	91	153	193	210				

(*)- Uso de Pó de Pedra

Figure 02- Compressive Strength Results of RCC of some Dams Worldwide

2.2 In Brazil

The RCC technique in Brazil began to be developed in 1976, from some studies and applications during the construction of the **Itaipu** Project, between Brazil and Paraguay. These initial applications were originally based on information obtained from the **Corps of Engineers - Portland Division** in 1975, the time when the Author cooperated in the construction of **Ilha Solteira-CESP Project**.



Figures 04- The Author's Travel Report of Visits to Laboratories and Work Sites in The United States- May 1975.

Floor of the Contractor's First Experimental Fill in Back filling in Itaipu- 1978



Warehouse in Itaipu-1976

Itaipu - 1977

Figure 05- First RCC applications in Brazil in 1976

3 STUDIES

The RCC studies, in Brazil, were carried out mainly by the Brazilian Business Hydroelectric Sector (ITAIPU, CEMIG, FURNAS, ELETRONORTE, COPEL and CESP), and the Itaipu Laboratory practically started the technical studies for knowledge about the various properties, given that it carried out the initial studies of materials and RCC of the work sites of the Projects of Urugua-i (Argentina) and Capanda (Angola). Then FURNAS, whose laboratory has rendered important contribution, joined Capanda.

It is noted that in Uruguay the Brazilian contribution was relevant to the development of the RCC in Brazil and the World, by the study and use of the inedited **Pó de Pedra Stone Powder** for granulometric "closing" of the mixtures, and the demonstration of the use of that industrial reject, with adhesive advantages by the demonstration of satisfactory Pozzolanic Activity [09; 10 and 11]. This technical improvement and economic advantage had already been investigated between 1978 and 1982 at the Itaipu's Concrete Laboratory, for Conventional concrete mass [12].

During the studies for the construction of the Capanda Dam, the dialogue with the engineer Dr. Albert Ossipov (of the Scientific Research Centre Hydroproject Institute of Moscow), enabled further studies [13;14] in order to characterize the activity of the **Stone Powder**, in fixing Calcium hydroxide, released during the cement hydration. This action is akin to an Activity with cement and lime, usually observed in the characterization of Pozzolanic materials. From these studies ensued the deployment of the methodology of fixing Cal in Sands, in some laboratories in Brazil [14;15 and16].

The use of **Stone Powder**, of rocks with levels of silica, iron and aluminum, and appropriate mineralogical characteristics, proved true technically and economically, and keeping in mind that the RCC of Capanda, with 70kg/me of Common Portland cement, there was evidence of growing Resistance of over 10 years of age [17], (see Figure 02, above) that without the "Pozzolanic action" of the **Powder Stone** from the Meta-Sandstone, would otherwise not occur.

Regarding the Laboratorial part, there was also a meaningful participation of the Furnas Laboratory, with the development of the Testing methodology for the determination of water content, of devices to test for Direct Tension, very useful to characterize the behavior of the Construction Joints, as well as the testing system of experimental laboratory landfills.

In the logistics of RCC construction there was the adoption of the great-length ramps **chutes de grande comprimento** by the Norberto Construction Company in the Capanda Dam, based on the reports [18 and 19 **Chute Cesp**] by the author's handling of Concrete Mass in Ilha Solteira, in 1972. This practice has been used in several projects worldwide.



4 INITIAL APPLICATIONS

The pace of construction of RCC Dams in Brazil, initiated in 1986 with the Saco de Nova Olinda- was slight, with a lesser progress than other countries.

At this point it is important to mention the important role played by COPEL in placing the International Bidding for the Derivação do Rio Jordão Dam (1992/1993), including two alternatives- RCC and CFRD^[20], given that most Bidders adopted in their biddings the option in RCC, and the winner presented the best proposal with several million dollars less than that foreseen in the Budget and Engineering studies. Even after the Reclamations the Final Price was less than the Budget.

Figure 06- Number of Dams in the World and in Countries that most constructed RCC Dams and in Brazil.

This initiative marked the difference in the Brazilian scenario for the construction of RCC dams, and with Salto Caxias afterwards, although it can be mentioned that in the first half of the 1990s, 7 more RCC Dams were built (Caribbean, Gameleira, Acauã, Cova the Cassava, Varzea Grande, Juba I and Juba II) and a posteriorly a larger number was recorded.

Other applications in decks, fillings, caissons and embankment protections were executed as chronicled in References ^[21 e 22], from the extensive bibliography mentioned in [22].

Within this development it is worth recording that the Salto Caxias Dam (COPEL-Pr) received the award **International Milestone RCC Project** bestowed by the 5th International Symposium of RCC Dams, awarded by the Organizing Committee of the Symposium. And the of Miel-I Dam in Colombia, built by Odebrecht (Brazilian Construction Company) also received this award, for the highest RCC Dam built in the world, with about 190m in height.

Figure 07- Award and Salto Caxias during construction

Figure 08- Miel Dam – Colombia

5 OBSTACLES AND DIVERGENCIES

During the development of RCC in Brazil, there were mistakes and successes, however we cannot fail to register picturesque facts, if not folkloric, of setbacks and/or disagreements, and that today, after about 31 years, may be cause for laughter. Clearly, each of the professionals that, technically and based on knowledge about the



characteristics of concrete, may have lived partially other facts also about picturesque setbacks, but this author recorded 3 of these:

- a. Around 1981/82 upon receiving the suggestion of applying RCC in certain parts of a massive structure the Person in charge (?) of the Project for a company sent a letter to the Director of State-owned Construction Company, as follows:
 - i. GFDHGF (ainda completarei);
 - b. Who responded the following:
 - i. Gfdgfs
 - c. To which the person in charge had to answer:
 - i. (ainda completarei);
- Around 1984/86, a renowned Professor Dr. In a speech in a Brazilian Electric Company, quoted (transcript of tapes recorded by the author);
 - "...The folks at CoE whom I spoke to could not rightly tell about the problems they had in Willow Creek ... and the folks at the Bureau of Reclamation for Upper Still Water is adopting this criterion differently and the Japanese have the RCD that is different (?) from the two" which induced, the young people at this lecture to be an irresponsibly made technique..."
 - In mid 1987 a certain person in charge for Projects of a large company of the Electric Industry, who spent over 6 months yapping against the adoption of the RCC in a particular Project Abroad, and against other renowned professionals of the Company, after visiting a RCC Dam and walking on the already compacted RCC attested:
 - But this is RCC, here! ... So it can be applied!!!

Such facts and the very picturesque setbacks surprised me at the time, as these were said by people who were believed to be very progressive, without infatuations and/or technical biases.

But it passed, and the RCC technique was established in Brazil, the result of commendable perseverance by other self-sacrificing professionals, showing advantages for Draftsmen, Constructors, Clients and for the Country, and the setbacks are only recorded as picturesque facts, without any real merit!

6 ERRORS

6.1- Granulometric Compositions and the Importance of Fines (<0,075mm)

The first applications of RCC (around 1982-1984) confirmed the predictions for the need to adopt caution regarding the permeability of the Upstream Face, as expected (Reference [10]) and in the very Tender Document for Willow Creek^[23] and that occurred in the Willow Creek Dam^[24], and others. Additionally, several studies confirmed that high permeability.

Such observed high permeability, initially in the RCC, resulted from the tendency by the



technologists in using granulometric compositions from and established for Conventional concrete Mass, which included greater amount of coarse fractions of the Coarse aggregates and little amount of fine aggregates.

That issue was heatedly discussed by the author and collaborators at the time of the first studies and applications in Itaipu.

From that time the quantity of Fines began to receive attention (material size of less than 0075mm), which enabled to establish a new practice, which some called the Second Generation of RCC Dams.

This practice shows that the Reduction of Permeability, did not necessarily depend on the Consumption of Cement, comprising Coefficients of Permeability of 10^{-11} to 10^{-12} m/s with agglomerate levels at around 100kg/m^3 . In other words, the practice of using Fines (predominantly Non-Cohesive Non-Clay) was established, with obvious advantages.

6.2- Tightness and Drainage System

Another aspect credited to the **Errors** came from the little importance given to the need to have a tightness system more consistent with the technique. Added to this was the greater number of Construction Joints (and eventual path to percolation) in that Methodology when compared with the CVC Mass, traditionally used at that time.

Such binomial facts *-high permeability (of the RCCs of the first generation) and a greater number of Construction Joints -* led to the need to give attention to the Tightness and Drainage System of RCC Dams.

6.3- Planning

This is a vital point, where there still is, a greater number of errors and failures. The simplistic and sometimes incipient vision, are vectors in a technique that is seen by its Speed.

7 SUCCESS

7.1- Conceptions about the Body of the Dam

The practice of building RCC Dams in Brazil was established by consolidating the conceptual aspect for Safety of the body of the Dam, resulting from RCD (Japanese) with the interface of construction simplicity observed in the early North American dams, virtually in line with the suggestions discussed in [26]

- ✚ That is, a massive body, with a Tightness system in the upstream face,
- ✚ Using the Face CVC (with maximum consumption of agglomerates around 200kg/m^3) simultaneously molded with the RCC, with Contraction Joints



- predominantly at every 20m, sealed with double line of PVC **Veda Juntas** of 35cm Gauge;
- + Adoption of **Argamassa de Berço**, as additional safety (since the Coefficient of Friction between the layers, is sufficient for Loads in the Brazilian Norms) at around 25% to 30% of the surface near upstream.
 - + Drainage Galleries;

In few RCC Project Works in Brazil, another Tightness system was used, but that did not have prove to be satisfactory and has not been used any more.

7.2- Dosing

The Minimum Required Resistance (f_{ck}) lies in the range of 6MPa to 10Mpa, with control at the age of 90 to 1 year.

This level of resistance leads to Agglomerate consumption of around 60 to 90 kg/m³[22], with a predominance of values of 80kg/ m³;

7.3- Materials

Intensive use of non-cohesive Fines, predominantly Stone Powder, and a few times Silt.

The use of 3 aggregates predominates, with two Coarse and one Sand. The maximum size of Aggregates has been, predominantly, 25mm and 50mm.

7.4- Planning and Handling of RCC

In Planning the construction and handling of the RCC, the use of dumper trucks prevails, keeping in mind inherent Costs practiced in Brazil, and differently, the difficulties (logistics and costs) to import equipment.

However, the Brazilian Constructing companies in works abroad, which characterizes the ability of these companies, have used high capacity systems of handling, as the case of belts - in the Conveyor System adopted in All-I-Miel. Colombia.

In some constructions the procedure *Rampado* (Slope Layer Method) has been adopted.

7.5- Temperature Control

Due to the low consumption of agglomerates, and the spacing of the contraction joints, the RCC is launched in Brazil, at room temperature, reaching, in warmer climates of the country, at around 30°C and 32°C.



7.5- Galgamentos

In the Projects where galgamentos were foreseen, from initial assessments with the Caisson of Serra da Mesa, as in the Project Salto Caxias, and other lesser sized ones in southern Brazil, provides technical advantages and costs gains.

8 CONSOLIDATION

The methodology of construction with RCC, introduced in Brazil in 1976, won supporters, and was consolidated as a practice of "Dams" in their representativeness, based on extensive, serious and long studies of Laboratory and experimental Landfills and without any doubts, the significant number and nearly 60 dams built in Brazil, affirms its validity.

9 EXPANSION

The growing performance of Draftsmen-Consultants, Constructors, Laboratories, and Professional Brazilian Consultants abroad highlight the command and expansion of the use of the RCC Technique.

The exchange of information with authorities and enterprises of other Countries enable the author saying that Brazil was one of the countries that most studied the characteristics of RCC. Also, the Brazilian territorial dimension, led the search for unconventional solutions, the creation of alternatives which established a procedure for seeking to adapt to regional problems and idiosyncrasies, without the need to impose typically imported solutions or inadequate to the conditions of the region.

This procedure facilitates and provides solutions, sets achievements, and much more, it opens the eyes of professionals and leaders in search of other new solutions, enabling reduced costs and empowering the construction of new Brás ..

10 ATTENTION AND THE NEED TO MAINTAIN QUALITY

During such development of RCC in Brazil and in the World, some facts lead to the need to draw the attention of professionals and companies involved with regard to quality.

In this respect, several times this Author has been asked about:

- ✚ What is most difficult to understand regarding the use the RCC?

And from the Author's standpoint, the answer is:

- ✚ To help in understanding that RCC is SIMPLE!



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



However, in such works some errors or failures led to an additional statement:

- ✚ You convinced us that the RCC was simple, but did not help us understand that we should check the details!

There is an erroneous and inappropriate tendency, that the massive concrete projects, such as Dams, stand out by the resistance of the Experimental Assays! There is importance on the subject, supported by the ISO's.

"Bot Flies (Larva)" seldom occur in Experimental Assays!

Quality Assurance is not merely the registration of data! It is action-correcting facts or set of measures, adopted in advance so that errors are minimized!

Then it is worth asking:

- ✚ What is important in order to achieve Quality in an RCC Work Project, or more broadly, in a Dam?

In the set of measures it can be said:

- ✚ Although the RCC is a Construction Methodology, a well "designed" Project that reduces interference, covering sensible security measures, is welcome!;
- ✚ Technical Specifications - SPECIFIC-and not developed in the "Copy" and "Paste" process considering the use of local materials, parameters and properties REALLY Required and not inferred, is also highly recommended;
- ✚ Planning of the Undertaking-The RCC has the fullness of advantages when resources are really appropriate for the Beginning- Middle and End of the Project! Any Work developed in the "Stop" - "Go" breaks away from the forecasted!;
- ✚ Planning the construction- prepared by EXPERIENT professionals, who know the difference of SIMPLE and DO NOT, in such a way to have take precedent measures so as not to occur erroneous facts / not carefully thought out;
- ✚ Equipment not necessarily sophisticated, but actually capable of producing in time and consistently the products required;
- ✚ Quality System that addresses not only the registration and archiving of data, but, and much more, that emits and practices the analysis and systematic taking of actions consistent with the dynamics of the construction;
- ✚ Professionals trained to perform with knowledge; not simply obeying orders!
- ✚ Professionals that at each activity know what they DO and how what they do affects the other steps;
- ✚ Young Engineers who are not behind desks in the offices of Work Site, but who effectively cooperate with the ones-in-charge, Foremen and other Collaborators, seeking to support them and assisting them beyond their limitations
- ✚ A systematic training and the search for knowledge certifies development;
- ✚ The search for Why, When, Where, How?



11 REFERENCES

- [01]- **Raphael, J.M.**- *“The Optimum Gravity Dam- Proceedings of the Rapid Construction Concrete Dams”*- ASCE- Asilomar- California-USA- March-1970
- [02]- **Cannon, R.W.**- *“Concrete Dam Construction Using Earth Compaction Methods”*- Anais do Economical Construction of Concrete Dams- Asilomar- California- USA- May-1972;
- [03]- **Raphael, J.M.**- *“Construction Method for the Soil- Cement Dam”*- Anais do Economical Construction of Concrete Dams- Asilomar- California- USA- May-1972;
- [04]- **Year Book 2007**- International Water Power & Dam Construction- United Kingdom-2007
- [05]- **Shimizu, S.; Takemura, K.**- *“Design and Construction of a Concrete Gravity Dam on a Weak Bedrock”*- Anais do XIII ICOLD Congres- New Delhi – November 1979;
- [06]- **Hirose, T.; Shimizu, S.; Takemura, K.**- *“Studies on Construction of Dams by the RCD Method”*- Anais do Japan Society of Civil Engineers- Tokyo-Japan- 1980;
- [07]- *Multipurpose Dams in Japan- State of the Integrated River Development Projects*- River Development Division- River Bureau- Ministry of Construction- Tokyo-Japan-May-1984
- [08]- *RCC Dams in China*- Department of Science and Technology- China Electricity Council-China
- [09]- **Andriolo, F.R.; Gottardo, G.; Peña D.F.**- *“Urugua-i: Uma Barragem em Concreto Rolado”*- Anais do XVII Seminário Nacional de Grandes Barragens- Brasília- Brazil- August-1987;
- [10]- **Zanella, M. R.; Braga, J. A.; Rosário, L. C.; Ayala, A. G. C.; Andriolo, F. R.; Golik, M.A.** -*“Concreto Rolado – Ensaios Especiais”*, nos Anais do XVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens. Foz do Iguaçu, Brasil, Abril 1989
- [11]- **Golik, M. A.; Andriolo, F. R.** - *“Urugua-i (C.C.R.) - Controle de Qualidade do Concreto Lançado no Tramo Principal da Barragem”*, nos Anais do XVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens. Foz do Iguaçu, Brasil, Abril 1989
- [12]- **Braga, J.A.; Rosário, L.C.; Duarte, J.D.C.; Lacerda, S.S.**- *“Utilização de Finos-Sub-Produto de Britagem nos Concretos Rolado e Convencional”*- XVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens - Foz do Iguaçu- Brazil-1989



- [13]- **Andriolo, F.R.; Braga, J.A.; Zanella, M.R.; Zaleski, J.M.**- *“Uso do Concreto Rolado; Projeto Capanda - Angola; Ensaios Especiais”*- XIX Seminário Nacional de Grandes Barragens - Aracaju- Brazil-1991
- [14]- **Andriolo, F.R.; Schmidt, M.T.**- *“The Capanda RCC Dam in Angola”*- International Water Power & Dam Construction - February 1992
- [15]- **Krempel, A.F.; Crevilaro, C.C.; Paulon, V.A.**- *“Adição de Pó ao Concreto como Fator Econômico e de Durabilidade”*- 34a. Reunião do Ibracon - Brazil-1992
- [16]- **Carmo, J.B.M.; Nascimento, J.F.F.; Fontoura, J.T.F.; Santos, M.C.; Traboulsi, M.A.**- *“Aplicação de Concreto Compactado a Rolo com Adições”*- 35a. Reunião do Ibracon - Brazil-1993
- [17]- **Tavares, M.A.; Origa, M.A.; Fontoura, J.T.F.; Holanda, E.R.; Pacelli, W.A.; Andriolo, F.R.**- *“Capanda - RCC Dam - 12 Years Quality Control Data”*- Anais do IV International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- Madrid- Spain- November- 2003;
- [18]- Relatório CESP- LCEC- Ilha Solteira - C-23-73- *“Verificação de Característica de Concretos Quando Transportados por Esteiras”*- 1973;
- [19]- Relatório CESP- LCEC-Ilha Solteira - C-11-74- *“Concretos Transportados por Esteira - Usina de Ilha Solteira”*-1974;
- [20]- **S. Blinder, N.B. Toniatti and A.F. Krempel**- *“RCC and CFR Dams - Costs Comparison”*- Anais do International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- Santander-Espanha- Outubro/1995
- [21]- **Andriolo, F.R.**- *“The Use of Roller Compacted Concrete”*- Oficina de Textos- Rua Augusta 1371- Lj. 107- -1305- 100- São Paulo- Brazil- 1998
- [22]- **Andriolo, F.R.**- **RCC Brazilian Practices”**- Oficina de Textos- Rua Augusta 1371- Lj. 107- -1305- 100- São Paulo- Brazil- 2002
- [23]- *Willow Creek Design Memorandum, Supplement to GDM 2- Phase 2- Main Dam, Spillway and Outlet Works*- U. S. Army Engineer District- Wala Wala- Washington- USA- December-1981;
- [24]- **Schrader, E.**- *“Behavior of Completed RCC Dams”*- Anais do Roller Compacted Concrete II- ASCE- San Diego- California- USA- March-1988.



1 Apresentação

A Metodologia de Construção do CCR- Concreto Compactado com Rolo, começou a se estabelecer, no Brasil, há mais de 31 anos, alguns (cerca de 5) anos após as primeiras idéias lançadas sobre a Metodologia.

O CCR se caracterizou por ser simples, rápido e econômico. Mas aqui é necessário citar um lembrete- **FAZER SIMPLES, NÃO É DEIXAR DE FAZER, OU** muito menos **FAZER MAL FEITO!**. Isso se aborda mais à frente!

Nessa trajetória de Desenvolvimento e Consolidação, o Brasil produziu cerca de 300 Publicações, alguns Livros, muitas teses de Mestrado e Doutorado, várias Empresas de Projeto-Consultoria fincaram pé no Exterior com Projetos adotando as vantagens dessa Técnica, diversas Construtoras se mantêm construindo obras com essa Metodologia em outros Países, alguns Profissionais Consultores apóiam Agencias Governamentais, Empresas de Projeto e Construtoras ao redor do Mundo.

No Brasil, devido a suas divergências decorrentes, mormente, da dimensão territorial, particularidades técnicas e de construção-produção foram incorporadas, e exportadas. Conceitos foram feitos entender, e aspectos de Segurança no empreendimento foram validados.

Isso tudo não se fez de maneira tranqüila e como um Progresso poderia requerer, mas sim fruto de debates profundos, mas às vezes, também, superficiais, desprovidos de conhecimento técnico, e até com grande dose de vaidade ou de interesses pessoais, contra o sentido de progredir. Mas a verdade técnica fez-se valer e a Metodologia se estabeleceu com vantagens que emergem dia a dia.

Não se pode deixar de chamar a atenção de que às vezes a ignorância, a teimosia, a ganância, se unem para induzir ao **MAL FEITO!** E contra isso há uma necessidade perene de chamar a atenção para que a Qualidade seja mantida. Nesse aspecto há que se cuidar que a Rapidez que a Metodologia possibilita não se torne em fator crítico à redução de Qualidade e Durabilidade.

2 O Desenvolvimento

2.1 No Mundo

A idéia da Técnica de Construção do CCR, foi mencionada inicialmente nas conferências de Asilomar- Califórnia, como pode ser convenientemente lembrado:

- ☞ em Março de 1970 – Rapid Construction of Concrete Dams – “**The optimum Gravity Dam**” – Prof Jerome Raphael^[01] e;
- ☞ em Maio de 1972- Economical Construction of Concrete Dams^[02] e respectivas discussões, devem ser lembradas:



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



De [01] *“...The very lean concrete dam such as Professor Raphael apparently has in mind, would require that the upstream face have an impervious membrane which could be cemented.. provide to prevent deterioration from weathering...”*

De [02] *“... it should suffice to say that the construction procedure is feasible, and that concrete compacted by this procedure is in every respect equal to or higher in strength than conventional concrete with equal cement content...”* (Esta publicação deveria ser lida na íntegra por todos os que usam da técnica!)

De [03] *“...It is conclude that the techniques are here to take the next step to building the economical soil-cement dam....”*

A Indústria de Construção de Barragens, após a II Guerra Mundial, desenvolveu, praticamente, duas grandes vertentes de metodologias de construção

- ✚ A das Barragens de Enrocamento com Face de Concreto, e
- ✚ A das Barragens de Concreto Compactado com Rolo

As duas disputando espaços e vantagens técnicas, de prazo e de custos, no cenário Mundial

O conjunto de Barragens de RCC no Mundo atinge ao final de 2007 a mais de 330^[04], podendo ser atualmente 350, pois várias Entidades de vários Países evitam enviar informações, para reduzir o assédio de Profissionais sobre as decisões dos Projetos. As de CFRD, iniciadas há mais tempo somam cerca de 320.

Cada uma mostra vantagens e particularidades em locais distintos, em regime hidrológicos diversos, não se podendo afirmar uma razão única para as preferências, que compõem o adequado e correto juízo.

No Brasil enquanto que o número de Barragens de CFRD está ao redor de 12-13, as de CCR giram próximo a 60. Sendo que no cenário Mundial praticamente a China colabora com cerca de 40% das CFRD, e outros Países Grandes Construtores de Barragens (Austrália, Brasil, Chile, Colômbia, Estados Unidos, correspondem com cerca de 3% a 4% do total. No que diz respeito às Barragens de CCR os Países Grandes Construtores compreendem cerca de 65%, com uma distribuição praticamente igual entre Brasil, China, Japão e Estados Unidos com cerca de 17% em cada um desses Países.

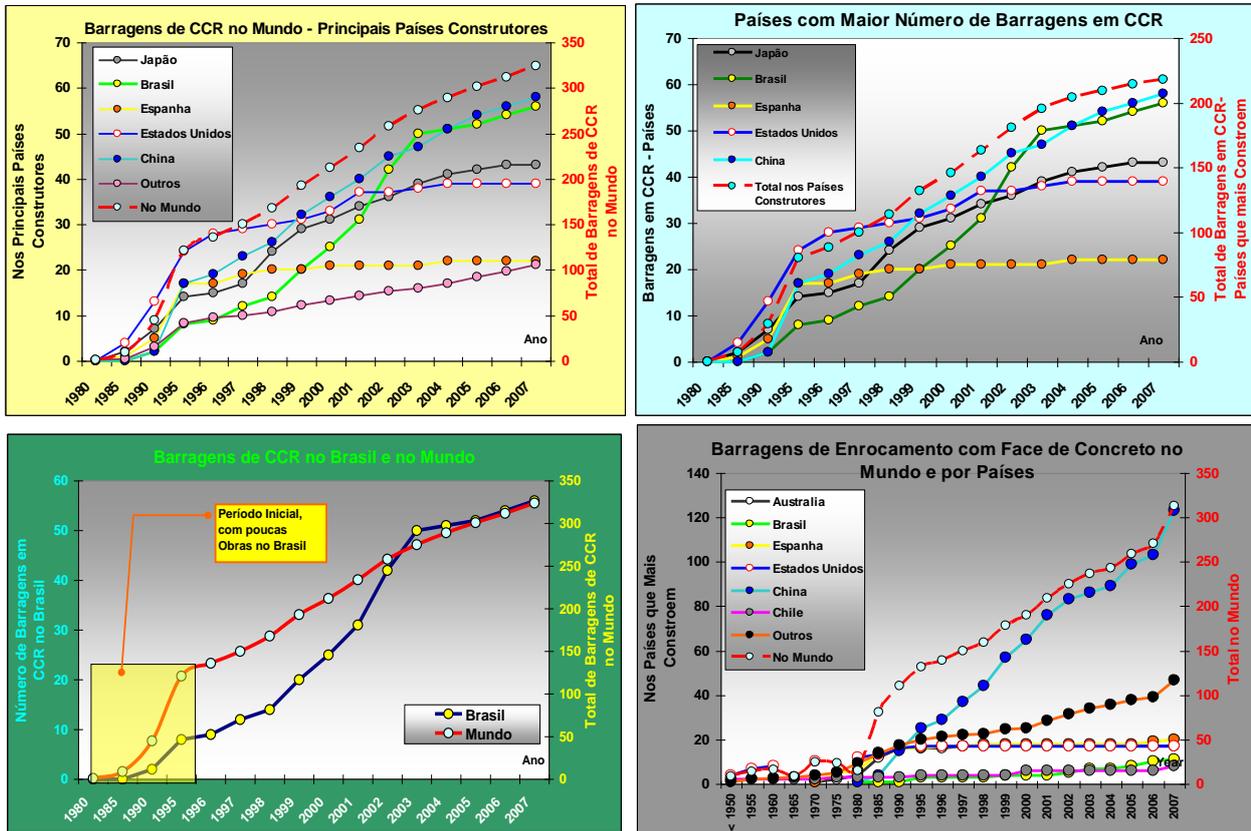


Figura 01- Estatística do número de Barragens de CCR e CFRD no Mundo- 2007^[04]

A prática do “Low Cementitious Content” foi adotada logo de início nas primeiras Barragens de RCC nos Estados Unidos.

De modo quase que simultâneo ^[05,06 e 07], o Japão iniciou as avaliações para uso do CCR em 1974, adotando a nomenclatura RCD, com teor de aglomerante de 130 kg/m³ sendo 91 kg/m³ de cimento e 39 kg/m³ de Cinza Volante.

A China, outro País grande construtor, iniciou os estudos para a aplicação do RCC cerca de 1980, com teor de aglomerante de 120 kg/m³ a 152 kg/m³, sendo que a Barragem de Kengkou iniciou efetivamente o ciclo das grandes obras de CCR na China, com um consumo de 140 kg/m³ de aglomerante (60 kg/m³ de cimento e 80 kg/m³ de Cinza Volante)^[08] Desse conjunto de Barragens é relevante citar as que mostram resistências a longas idades como as que citam abaixo.

A média da Relação Tensão de Tração (Indireta por compressão diametral)/ Compressão se mostrou ao redor de 11%, e da Tensão Direta/Compressão entre 6% a 7%.

É evidente que ao se requerer uma determinada propriedade deve-se buscar a dosagem, com os materiais disponíveis, para atender essa propriedade. Por exemplo, uma maior resistência para o RCC de uma Barragem Arco Dupla Curvatura, ou para um Pavimento. Mas esses concretos assim dosados, e aplicados com compactação por Rolo Vibratório,

são CCR, ou melhor- CONCRETOS!

PROJETO	Conclusão	País	Tipo de Barragem	Volume Concreto (m³)	Tipo Concreto	MSA mm	Dosagem Kg/m³				Resistência Média (kgf/cm²)							
							Teor Ciment	Mat. Poz.	Total	Água	7 dias	28 dias	90 dias	180 dias	1 ano	2 anos	5 anos	12 anos
Capanda	1988-2000	Angola	Gravidade Curva	662.000	RCC	63	70	(*)	70	135	58	78	98	104	110	120		130
							80	(*)	80	135	65	95	110	120	125	130		142
Hiyoshi	1992	Japão	Gravidade Reta	674.000	RCD	152	84	36	120	86	76	159	269					
							77	33	110	83	69	149	250					
Salto Caxias	1995-1998	Brasil	Gravidade Reta	920.000	RCC	50		(*)	0	143	36	50	82	114	132			
Miel I	2000	Colombia	Gravidade Reta	1.800.000	RCC	63	150		150	133	114	148	178	195	219			
							125		125	130	96	126	156	176	183			
							100	(*)	100	125	68	94	119	133	148			
							85		85	123	61	85	105	118	130			
Al Wehdah	2006	Jordan	Reta	1.400.000		50	60	80	140	125	54	91	153	193	210			

(*)- Uso de Pó de Pedra

Figura 02- Resultados de resistências de CCR de algumas Barragens no Mundo

2.2 No Brasil

A Técnica do CCR no Brasil começou a ser desenvolvida em 1976, a partir de alguns estudos e aplicações durante a construção do Projeto de Itaipu, entre Brasil e Paraguai. Essas aplicações iniciais foram fundamentadas em informações obtidas no **Corps of Engineers – Divisão de Portland** em 1975, à época que o Autor cooperava na construção do Projeto de Ilha Solteira-CESP.



Figuras 03- Relatório do Autor, a Visitas a Laboratórios e Obras nos Estados Unidos – Maio de 1975



Piso do Almoarifado do
Construtor de Itaipu-1976



Primeiro Aterro Experimental
em Itaipu - 1977



Enchimento de Rampas em
Itaipu- 1978

Figuras 04- Aplicações iniciais do CCR no Brasil, em 1976

3 Estudos

Os estudos de CCR, no Brasil, foram realizados principalmente pelas Empresas do Setor Hidrelétrico Brasileiro (**ITAIPU, CEMIG, FURNAS, ELETRONORTE, COPEL e CESP**), sendo que o Laboratório da **Itaipu** praticamente iniciou os estudos técnicos para conhecimento das diversas propriedades, quando realizou os estudos iniciais dos materiais e CCR das obras dos Projetos de **Urugua-i** (Argentina) e **Capanda** (Angola). Em Capanda, posteriormente, juntou-se **FURNAS** cujo Laboratório deu relevante contribuição.

Registra-se que em Urugua-i a contribuição Brasileira foi relevante para o desenvolvimento do CCR no Brasil e no Mundo, pelo estudo e uso inédito do Pó de Pedra para “fechamento” granulométrico das misturas, e a demonstração do uso desse rejeito industrial com vantagens aglutinantes pela evidência satisfatória Atividade Pozolânica^[09; 10 e 11]. Essa melhoria técnica e vantagem econômica já havia sido pesquisada entre 1978 e 1982 no Laboratório de Concreto da Itaipu, para concretos Massa Convencionais ^[12]

No transcorrer dos estudos para a construção da Barragem de Capanda, a interlocução com o **Dr. Eng. Albert Ossipov** (do *Scientific Research Centre Hydroproject Institute de Moscow*), possibilitou aprofundar estudos ^[13;14] com intuito de caracterizar a Atividade do Pó de Pedra, na fixação do Hidróxido de Cálcio, liberado na hidratação do cimento. Essa ação assemelha-se a uma Atividade com Cal, normalmente observada na caracterização de Materiais Pozolânicos. Desses estudos decorreu a implantação da metodologia de Fixação de Cal em Areias, em alguns Laboratórios no Brasil ^[14;15 e16].

O uso do Pó de Pedra, de rochas com teores de Sílica, Ferro e Alumínio, e características mineralógicas adequadas, se demonstrou válida técnica e economicamente, sendo que há de se registrar que no CCR de **Capanda**, com 70kg/m³ de cimento Portland Comum, houve evidências de crescimento de Resistências acima de 10 anos de idade^[17], (ver Tabela da Figura 02, precedente) que sem a ação “Pozolânica” do pó de Pedra do Meta-Arenito, não ocorreria.



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



Na parte Laboratorial registra-se, também, grande participação do Laboratório de Furnas, com o desenvolvimento Metodologia de Ensaio para Determinação do teor de Água, de dispositivos de ensaios para Tração Direta, bastante útil para caracterizar o comportamento das Juntas de Construção, bem como do sistema de ensaios de aterros experimentais em laboratório

Na logística de construção do CCR deve-se registrar a adoção dos chutes de grande comprimento pela Construtora Norberto na Barragem de **Capanda**, com base nos Relatos [18 e 19 da Cesp] do autor no manuseio de Concreto Massa em Ilha Solteira, em 1972. Essa prática tem sido utilizada em várias obras no mundo.

4 Aplicações Iniciais

O ritmo de construção de Barragens de CCR no Brasil- iniciado em 1986 com Saco de Nova Olinda- foi tênue (ver Figura 01), com uma evolução inferior a de outros Países

Nesse ponto é importante mencionar o papel relevante desempenhado pela **COPEL** em colocar a Licitação Internacional da **Barragem da Derivação do Rio Jordão** (1992/1993), contemplando duas Alternativas- CCR e CFRD^[20], sendo que a maioria dos Ofertantes adotou em suas ofertas a opção em CCR, e a vencedora apresentou a melhor proposta com vários milhões de dólares a menos que o previsto no Orçamento e estudos de Engenharia. Mesmo após os Reclamos o Preço Final se mostrou inferior ao de Orçamento.

Essa iniciativa foi o divisor de águas no cenário Brasileiro de construção de Barragens de CCR, vindo depois **Salto Caxias**, embora se registre que na primeira metade da década de 90, tenham sido construídas mais 7 Barragens de CCR (Caraíbas, Gameleira, Acauã, Cova da Mandioca, Várzea Grande, Juba I e Juba II) e um número maior foi sendo registrado.

Aplicações outras, em pavimentos, enchimentos, ensecadeiras, proteções de talude, foram executadas como historiado nas Referências ^[21 e 22], a partir de vasta bibliografia citada em [22].

Dentro desse desenvolvimento vale registrar que a Barragem de **Salto Caxias** (COPEL-Pr) recebeu o prêmio de **International Milestone RCC Project** no *5th International Symposium of RCC Dams*, outorgado pelo Comitê Organizador do Simpósio. E a Barragem de **Miel I**, na Colômbia, construída pela Odebrecht (Construtora Brasileira) também recebeu esse certificado, sendo a mais alta Barragem de CCR já construída no Mundo, com cerca de 190m de altura.



Awarding Certificate

Nominated by experts from pioneer and leader countries in RCC dams, examined and appraised by the Organizing committee of the 5th International Symposium of RCC Dams, *Salto Caxias Dam Project*, managed by *Companhia Paranaense de Energia (COPEL)*, designed by **, and constructed by **, has won the title of "International Milestone RCC Project".

Certificate Issue



President of ICOLD
Luis, Berga



President of CHINCOLD
Lu Youmei



President of SPANCOLD
Juan Carlos

LOC of 5th International Symposium on RCC Dams
3rd Nov. 2007



Figura 05- Premiação e Salto Caxias durante a construção



Figura 06- Barragem de Miel I – Colômbia

5 Contrariedades e Divergências

No transcorrer do desenvolvimento do CCR no Brasil, houve erros e acertos (citados mais à frente), entretanto não se pode deixar de registrar fatos pitorescos, se não folclóricos, de contrariedades e/ou divergências ocorridas, e que hoje, passados cerca de 31 anos podem ser motivos de risos. É evidente que cada um dos Profissionais que, de maneira técnica e com base em conhecimento de características dos concretos, possam ter convivido com outros fatos também de contrariedades pitorescas, mas este autor faz o registro de 3 delas:

- ✚ Por volta de 27 de Fevereiro de 1981 ao receber a sugestão da aplicação do CCR em determinadas partes massivas de uma estrutura o Responsável (!?) pelo Projeto de uma empresa enviou carta ao Diretor de Construção da Empresa Estatal, no seguinte teor:

- *“... em lugar de se resolver os problemas prementes de produção, volta-se a distrair as equipes com soluções de vanguarda ainda de resultado duvidoso mesmo nos países ricos, que proporcionaram as primeiras experiências, com o argumento de que o conhecimento a ser adquirido em... .. poderá ser importante para futuras obras da....”;*
 - Que (o Diretor da Empresa Estatal) respondeu no seguinte Conceito:
 - *A Empresa ... vê interesse no desenvolvimento e utilização da solução...*
 - Ao que o “Responsável pelo Projeto teve que responder (já em 26 de Março de 1982):
 - *“...Foram examinados os critérios de projeto e de execução da citada Obra, tendo sido julgados satisfatórios e com condições de manter a segurança e a qualidade definidas no Projeto Básico.
Em se tratando de uma oportunidade de desenvolver novas técnicas que poderão trazer, em futuro próximo, benefícios econômicos aos Setores Elétrico e de Transporte, o ... decidiu apoiar a iniciativa, recomendando sua adoção...”*
- ✚ Por volta de 84/86, um renomado Professor Dr., em palestra em uma Companhia do Setor Elétrico Brasileiro, citou (*transcrição de fitas gravadas pelo autor*);
- *“....O pessoal do CoE com quem conversei não soube informar direito sobre os problemas que tiveram em Willow Creek... e o pessoal do Bureau of Reclamation para Upper Stillwater está adotando este critério diferente.... e os Japoneses têm o RCD que é diferente (!?) dos dois.....”* o que induzia, aos jovens presentes à palestra, ser uma técnica feita irresponsavelmente.
- ✚ Em meados de 87 um determinado Responsável por Projetos de uma grande Empresa do Setor Elétrico, que passou mais de 6 meses vociferando contra a adoção do CCR em determinado Projeto no Exterior, e contra renomados outros Profissionais da própria Empresa, após visitar uma barragem de CCR e andando sobre o CCR já compactado atestou:
- ***Mas o CCR é isto, aí!.. ...Então dá para usar!!!***

Os fatos pitorescos e as próprias contrariedades surpreenderam a este autor, à época, pois foram citadas por pessoas a quem se creditava ter elevado espírito desenvolvimentista, sem paixões e/ou tendências técnicas.

Mas isso passou, e a técnica do CCR se estabeleceu no Brasil, fruto da perseverança elogiável de outros profissionais abnegados, mostrando vantagens para Projetistas, Construtores, Clientes e para o País, e as contrariedades ficam registradas apenas como fatos pitorescos, sem mérito algum!

6 Erros

6.1 Composição Granulométrica e Importância dos Finos ($\leq 0,075\text{mm}$)



As primeiras aplicações do RCC (ao redor de 1982-1984) confirmaram as previsões da necessidade de adotar cuidados quanto à Permeabilidade da Face de Montante, como previsto (Referencia [02]) e no Próprio *Tender Document for Willow Creek*^[23] e ocorrido na Barragem de Willow Creek^[24], e em outras. Adicionalmente, vários estudos confirmaram essa elevada Permeabilidade.

Essa alta permeabilidade observada, inicialmente no CCR, decorria da tendência, dos tecnólogos em utilizar composições granulométricas oriundas e consagradas para concretos Massa Convencionais, que contemplavam maior quantidade de frações grossas do Graúdo e pouca quantidade de finos. Esse ponto foi calorosamente debatido pelo autor e colaboradores à época dos primeiros estudos e aplicações em **Itaipu**.

A partir dessa época começou-se a dar atenção à quantidade dos Finos (material de tamanho menor que 0,075mm), o que permitiu estabelecer uma nova prática, o que alguns passaram chamar a Segunda Geração de Barragens de RCC.

Essa prática evidencia que a Redução de Permeabilidade, não necessariamente estaria dependente do Consumo de Cimento, podendo-se ter Coeficientes de Permeabilidade de 10^{-11} a 10^{-12} m/s com teores de aglomerante ao redor de 100kg/m^3 . Ou seja a prática do uso de Finos (preponderantemente Não Coesivos- Não Argilosos) se estabeleceu, com vantagens evidentes.

6.2 Sistemas de Estanqueidade e Drenagem

Outro aspecto creditado aos **Erros** adveio da pouca importância dada à necessidade de se ter um sistema de estanqueidade mais consistente com a técnica. Agregava-se a isso o maior número de Juntas de Construção (e eventual caminho propício à percolação) nessa Metodologia em comparação com a do CVC Massa, tradicionalmente usado à época. Esse binômio de fatos- *elevada permeabilidade (dos CCRs da primeira geração) e um maior número de Juntas de Construção*- levou à necessidade de tomar atenção no Sistema de Estanqueidade e Drenagem das Barragens de CCR.

6.3 Planejamento

Esse um ponto vital, onde reside, ainda, um maior número de erros e falhas. A visão simplista e às vezes incipiente, são vetores em uma técnica que se consubstancia pela Rapidez.

7 Acertos

7.1 Conceituações sobre o Corpo da Barragem

A prática de construção de Barragens de CCR no Brasil estabeleceu-se praticamente com a consolidação do aspecto conceitual de Segurança do corpo da Barragem, oriunda do RCD (Japonês) com a interface de simplicidade de construção observada nas primeiras



barragens Norte Americanas, praticamente de acordo com as sugestões comentadas em [26]

- + Ou seja, um corpo massivo, com sistema de Estanqueidade na face de montante,
- + Uso do CVC de Face (com consumo máximo de aglomerante ao redor de 200kg/m^3) moldado simultaneamente com o CCR, com Juntas de Contração preponderantemente a cada 20m, seladas com dupla linha de Veda Juntas de PVC de Bitola 35cm;
- + Adoção de Argamassa de Berço, como segurança adicional (visto que praticamente o Coeficiente de Atrito entre as camadas, é suficiente para as Cargas conceituadas nos Códigos Brasileiros), em cerca de 25% a 30% da superfície próxima a montante
- + Galerias de Drenagem;

Em alguns poucos Projetos de Obras de CCR no Brasil, utilizou-se de um outro sistema de Estanqueidade, mas que não tiveram a plena satisfatoriedade e não mais tem sido usado.

7.2 Dosagem

A Resistência Mínima Requerida (f_{ck}) se situa na faixa de 6MPa a 10Mpa, com controle à idade de 90 dias a 1 ano. Esse Nível de Resistência leva a consumos de Aglomerante ao redor de 60 a 90 kg/m^3 , com predominância de valores de 80kg/m^3 [22]

7.3 Materiais

Uso intensivo de Finos não coesivos, preponderantemente Pó de Pedra, e algumas poucas vezes Silte.

Predomina o uso de 3 agregados, sendo dois Graúdos e uma Areia. Os tamanhos máximos dos Agregados tem sido, predominantemente, 25mm e 50mm.

7.4 Planejamento e Manuseio do CCR

No Planejamento de construção e manuseio do CCR, prepondera o uso de caminhões basculantes, tendo em vista os Custos inerentes praticados no Brasil, e de modo contrário as dificuldades (logística e custos) para importação e equipamentos.

Entretanto as Construtoras Brasileiras em obras no exterior, com que caracteriza a habilidade dessas empresas, têm utilizado sistemas de alta capacidade de manuseio, como o caso de correias – no Sistema **All Conveyor**- adotado em Miel I- Colômbia.

Em algumas construções tem sido adotado o procedimento “Rampado” (**Slope Layer Method**).

7.5 Controle de Temperatura



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



Decorrente dos baixos consumos de aglomerantes, e dos espaçamentos das Juntas de Contração, o CCR é lançado, no Brasil, à Temperatura Ambiente, chegando nas regiões mais quentes, do País, ao redor de 30°C a 32°C.

7.6 Galgamentos

Os Projetos onde se previu galgamentos, a partir das avaliações iniciais com a Ensecadeira de Serra da Mesa, como no Projeto de Salto Caxias, e outros de menor porte no Sul do Brasil, estabelece vantagens técnicas e de custos nos aproveitamentos.

8 Consolidação

A Metodologia de construção com o CCR, introduzida no Brasil em 1976, ganhou adeptos, consolidou-se como uma prática de “Barragens” em sua preferência de representatividade, fundamentada em extensos, profundos e longos estudos de Laboratório e Aterros experimentais e sem sombra de dúvidas o número expressivo de quase 60 Barragens construídas no Brasil, atesta a sua validade.

9 Expansão

A atuação crescente dos Projetistas-Consultores, Construtores, Laboratórios, e Profissionais Consultores Brasileiros, no Exterior evidenciam o domínio e a expansão do uso da Técnica do CCR.

O intercambio de informações com entidades e empresas de outros Países permitem o Autor afirmar que o Brasil foi um dos Países que mais Estudou as características do CCR. De outro modo, ainda, a dimensão territorial Brasileira, induziu à busca de soluções não convencionais, à criação de alternativas, o que estabeleceu um procedimento de buscar adaptar-se aos problemas e idiosincrasias regionais, sem a necessidade de impor soluções tipicamente importadas ou inadequadas às condições da região.

Esse procedimento facilita, disponibiliza, soluções, estabelece conquistas e, muito mais, abre os olhos dos profissionais e dirigentes na busca de, outras novas soluções, possibilitando reduzir custos e potencializando a realização de novas obras.

10 Cuidados e a Necessidade de Manter a Qualidade

No transcórre desse desenvolvimento do CCR no Brasil, no Mundo, alguns fatos levam a necessidade de chamar a atenção dos Profissionais e Empresas envolvidas, no que diz respeito à Qualidade.

Dentro desse aspecto, várias vezes este Autor tem sido indagado sobre:

✚ O que é mais difícil entender quanto ao uso do CCR?



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



E na ótica do Autor, a resposta se traduz:

✚ ***É fazer entender que o CCR é SIMPLES!***

Entretanto, nessas obras alguns erros ou falhas levaram a uma afirmação adicional:

✚ ***Você nos convenceu de que o CCR era simples, mas não nos fez entender que deveríamos controlar os detalhes!***

Há uma tendência errônea e descabida, de que o concreto de obras massivas como as de Barragem se destaca pela Resistência dos Corpos de Prova! Dá-se uma importância, apoiada nas **ISOs**, sobre o assunto.

“Bicheira” raramente ocorre em Corpo de Prova!

Controle de Qualidade não é apenas o Registro de Dados! É ação de correção de fatos ou o conjunto de medidas, adotadas antecipadamente para que os erros sejam minimizados!

Então vale indagar:

✚ ***O que é relevante para atingir a Qualidade de uma Obra de CCR, ou mais amplamente, de Barragem?***

No conjunto de medidas pode-se citar:

- ✚ Embora o CCR seja uma Metodologia de Construção, um Projeto bem “Engenhado” que reduza interferências, que contemple medidas sensatas de Segurança, é bem vindo!;
- ✚ **Especificações Técnicas** – ESPECÍFICAS- e não elaboradas no processo “**Copy**” e “**Paste**” considerando o uso dos Materiais locais, Parâmetros e Propriedades REALMENTE Requeridas e não inferidas, também é bastante recomendável;
- ✚ **Planejamento do Empreendimento**- O CCR tem a plenitude de vantagens quando os recursos são realmente adequados para o **Início- Meio e Fim do Empreendimento!** Qualquer Obra desenvolvida no “**Pare**” – “**Siga**” foge das previsões!;
- ✚ **Planejamento a Construção**- elaborado por Profissionais EXPERIENTES, que conheçam a diferença do **SIMPLES** e do **NÃO FAZER**, de tal modo a se ter providências precedentes para não ocorrer fatos errôneos ou/ não pensados;
- ✚ Equipamentos não necessariamente sofisticados, mas efetivamente capazes de produzir em tempo e uniformidade os produtos requeridos;
- ✚ Sistema de Qualidade que contemple não só o Registro e Arquivamento de dados, mas, e muito mais, que permita e exerça a análise e sistemática, tomada de ações compatíveis com a dinâmica de construção;



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

ISBN
@ 2008 - IBRACON



- + Profissionais treinados a fazer com conhecimento e não simplesmente obedecendo ordens!
- + Profissionais que em cada atividade conheçam o que FAZEM e como o que fazem afeta as demais interveniências;
- + Jovens Engenheiros que não fiquem atrás das mesas nos escritórios de Obra, mas que efetivamente cooperem com os Encarregados, Feitores e demais Colaboradores, buscando suportá-los e treiná-los além de suas limitações
- + O treinamento sistemático e a busca de conhecimento privilegiam o desenvolvimento;
- + A busca do **Porque, Quando, Onde, Quanto?**

11 Referências

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

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

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

[04]- **Year Book 2007**- International Water Power & Dam Construction- United Kingdom-2007

[05]- SHIMIZU, S.; TAKEMURA, K.- **“Design and Construction of a Concrete Gravity Dam on a Weak Bedrock”**- Anáís do XIII ICOLD Congres- New Delhi – November 1979;

[06]- HIROSE, T.; SHIMIZU, S.; TAKEMURA, K.- **“Studies on Construction of Dams by the RCD Method”**- Anáís do Japan Society of Civil Engineers- Tokyo-Japan- 1980;

[07]- **Multipurpose Dams in Japan- State of the Integrated River Development Projects**- River Development Division- River Bureau- Ministry of Construction- Tokyo-Japan-May-1984

[08]- **RCC Dams in China**- Department of Science and Technology- China Electricity Council-China

[09]- ANDRIOLO, F.R.; GOTTARDO, G.; PEÑA D.F.- **“Urugua-i: Uma Barragem em Concreto Rolado”**- Anáís do XVII Seminário Nacional de Grandes Barragens- Brasília-Brazil- August-1987;



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



- [10]- ZANELLA, M. R.; BRAGA, J. A.; ROSÁRIO, L. C.; AYALA, A. G. C.; ANDRIOLO, F. R.; GOLIK, M.A. -**“Concreto Rolado – Ensaios Especiais”**, nos Anais do XVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens. Foz do Iguaçu, Brasil, Abril 1989
- [11]- GOLIK, M. A.; ANDRIOLO, F. R. - **“Urugua-i (C.C.R.) - Controle de Qualidade do Concreto Lançado no Tramo Principal da Barragem”**, Anais do XVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens. Foz do Iguaçu, Brasil, Abril 1989
- [12]- BRAGA, J.A.; ROSÁRIO, L.C.; DUARTE, J.D.C.; LACERDA, S.S.- **“Utilização de Finos- Sub-Produto de Britagem nos Concretos Rolado e Convencional”**- XVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens - Foz do Iguaçu- Brazil-1989
- [13]- ANDRIOLO, F.R.; BRAGA, J.A.; ZANELLA, M.R.; ZALESKI, J.M.- **“Uso do Concreto Rolado; Projeto Capanda - Angola; Ensaios Especiais”**- XIX Seminário Nacional de Grandes Barragens - Aracaju- Brazil-1991
- [14]- ANDRIOLO, F.R.; SCHMIDT, M.T.- **“The Capanda RCC Dam in Angola”**- International Water Power & Dam Construction - February 1992
- [15]- KREMPEL, A.F.; CREVILARO, C.C.; PAULON, V.A.- **“Adição de Pó ao Concreto como Fator Econômico e de Durabilidade”**- 34a. Reunião do Ibracon - Brazil-1992
- [16]- CARMO, J.B.M.; NASCIMENTO, J.F.F.; FONTOURA, J.T.F.; SANTOS, M.C.; TRABOULSI, M.A.-**” Aplicação de Concreto Compactado a Rolo com Adições”**- 35a. Reunião do Ibracon - Brazil-1993
- [17]- TAVARES, M.A.; ORIGA, M.A.; FONTOURA, J.T.F.; HOLANDA, E.R.; PACELLI, W.A.; ANDRIOLO, F.R.- **“Capanda - RCC Dam - 12 Years Quality Control Data”**- Anais do IV International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- Madrid-Spain- November- 2003;
- [18]- Relatório CESP- LCEC- Ilha Solteira - C-23-73- **“Verificação de Característica de Concretos Quando Transportados por Esteiras”**- 1973;
- [19]- Relatório CESP- LCEC-Ilha Solteira - C-11-74- **“Concretos Transportados por Esteira - Usina de Ilha Solteira”**-1974;
- [20]- BLINDER, S. TONIATTI, N.B., KREMPEL, A.F.- **“RCC and CFR Dams - Costs Comparison”**- Anais do International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- Santander-Espanha- Outubro/1995
- [21]- ANDRIOLO, F.R.- **“The Use of Roller Compacted Concrete”**- Oficina de Textos- Rua Augusta 1371- Lj. 107- -1305- 100- São Paulo- Brazil- 1998



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

ISBN
@ 2008 - IBRACON



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

[23]- **Willow Creek Design Memorandum, Supplement to GDM 2- Phase 2- Main Dam, Spillway and Outlet Works**- U. S. Army Engineer District- Wala Wala- Washington- USA- December-1981;

[24]- SCHRADER, E.- **“Behavior of Completed RCC Dams”**- Anáís do Roller Compacted Concrete II- ASCE- San Diego- California- USA- March-1988;

[25]- ANDRIOLO, F.R - **“Concreto Adensado com Rolo Vibratório- Sugestões para Projeto e Construção”**- . Anáís do XVI Seminário Nacional de Grandes Barragens- Belo Horizonte-MG – Brasil – Novembro/1985;