

## NUMERICAL AND HISTORICAL ANALYSIS OF THE BUILDING OF THE RURAL SCHOOL ALBERTO TORRES IN RECIFE-PE

**Leonardo S. P. Inojosa**

*leinojosa@unb.br*

*ENC-FT-UNB Departamento de Engenharia Civil e Ambiental Faculdade de Tecnologia Universidade de Brasília Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-900, Distrito Federal, Brasil*

**Marcio A. R. Buzar**

*buzar@unb.br*

*PPG-FAU-UNB Programa de Pós-Graduação, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo Universidade de Brasília Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-900, Distrito Federal, Brasil*

**Marco Aurélio Souza Bessa**

**Marcos Ritter de Gregório**

*bessamarco@yahoo.com.br*

*marcosritter@gmail.com*

*UniCEUB – Centro Universitário de Brasília, Distrito Federal, Brasil*

**Abstract.** The project of the Alberto Torres Rural School building in Recife dates from 1935 and was the fruit of a pioneering initiative for Brazilian modernism. The creation of the Architecture and Urbanism Board - Diretoria de Arquitetura e Urbanismo (DAU), founded in 1934 by Luiz Nunes, an architect graduated from the Escola de Belas Artes do Rio de Janeiro, from where it took influences of Lúcio Costa and Le Corbusier. The project analyzed in this work is authored by Luiz Nunes himself and has the structural calculation signed by Joaquim Cardozo. Known as the "Engineer of Poetry," Cardozo is considered a pioneer of the Modern Movement and later would excel as the calculator of the main works of Oscar Niemeyer, in Pampulha and Brasília. Joaquim Cardozo is responsible for a real technical revolution in Brazilian engineering, stimulated and inspired by the projects of great architects with whom he worked throughout his career. In this work an analysis of the structural project of the Rural School Alberto Torres is sought to show elements of creativity of the designer to balance the structure. A qualitative numerical analysis of the structural solution is performed using the computational tools available as the SAP 2000 software. The analyzes seek to understand the efforts to which the structure is subject and to verify the protagonism of the structural solution, innovative for the time, in the aesthetic architectural style that is aligned with the precepts of modernism.

**Keywords:** architecture - structural analysis - reinforced concrete – Luiz Nunes

## 1 Introdução

O projeto do edifício da Escola Rural Alberto Torres (Fig. 1) em Recife data de 1935 e foi fruto de uma iniciativa pioneira para o modernismo brasileiro, a criação da Diretoria de Arquitetura e Urbanismo (DAU), que envolveu grandes nomes da arquitetura e engenharia brasileira da época como o arquiteto Luiz Nunes e o engenheiro Joaquim Cardozo, responsáveis pelo projeto da escola.

Neste trabalho faz-se uma análise do projeto estrutural da Escola Rural Alberto Torres buscando mostrar elementos de criatividade do projetista para equilibrar a estrutura. Faz-se uma análise numérica qualitativa da solução estrutural utilizando as ferramentas computacionais disponíveis como o programa SAP 2000. As análises buscam compreender os esforços aos quais a estrutura está sujeita, e verificar o protagonismo da solução estrutural, inovadora para a época, no resultado estético arquitetônico que se alinha com os preceitos do modernismo.

A Escola Rural Alberto Torres fica situada no bairro de Tejipió, em Recife-PE, foi inaugurada em 1936 e recebeu seu nome em homenagem ao governador abolicionista do Rio de Janeiro, Alberto Seixas Martins Torres, nascido em 1865 e notório modernista.

## 2 Histórico

Luiz Nunes – autor do projeto – arquiteto formado na Escola de Belas Artes do Rio de Janeiro, na qual, com fortes influências de Lúcio Costa, tornou-se “um dos mais ardorosos partidários do novo estilo” [1], em 1934 leva grande influência modernista para Recife, onde com apoio político consegue fundar a DAC, Diretoria de Arquitetura e Construção, que durante um ano foi responsável por projetar, construir e fiscalizar todas as obras públicas do estado de Pernambuco. Faziam também parte dessa equipe o engenheiro Joaquim Cardozo e o paisagista Roberto Burle Marx, além de outros arquitetos, engenheiros e estudantes [2]. Mais tarde essa diretoria sofreu algumas mudanças e sua responsabilidade foi ampliada, tornando-se Diretoria de Arquitetura e Urbanismo (DAU).

Em outubro de 1935, a DAU, por meio do projeto de Luiz Nunes, foi responsável pelo Pavilhão de Pernambuco na exposição comemorativa da Revolução Farroupilha em Porto Alegre. Lá foram expostos todos os projetos e obras desenvolvidos nessa fase. Essa exposição é considerada a primeira exposição de Arquitetura Moderna no Brasil [3].

Entre os projetos expostos em Porto Alegre se destacam: a Escola Rural Alberto Torres, construída entre 1935 e 36 (Fig. 1), a Caixa D’água de Olinda de 1937 (Fig. 2) e o Pavilhão Luiz Nunes de 1937 – antigo Pavilhão de Verificação de Óbitos, atual sede do IAB-PE (Fig. 3).



Figura 1. Escola Rural Alberto Torres Recife (PE), projeto do Arquiteto Luiz Nunes, construído em 1935-36. Fonte: Benício Whatley Dias - Acervo Fundação Joaquim Nabuco – Ministério da Educação.



Figura 2. Caixa d'Água e Igreja da Sé em Olinda - PE, em foto de G. E. Kidder Smith para "The Architectural Review", março de 1944. Fonte: Portal Vitruvius - Arquitectos 072, maio de 2006.

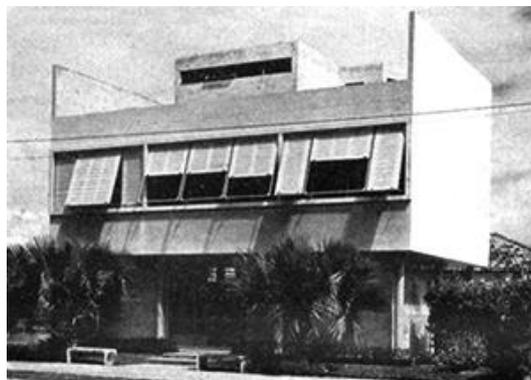


Figura 3. Laboratório de Anatomia Patológica em Recife, projeto do Arq. Luiz Nunes, 1936 foto de G. E. Kidder Smith para a exposição "Brazil Builds" em Nova York – 1943. Fonte: Portal Vitruvius - Arquitectos 072, maio de 2006.

Para Cardozo [1], os edifícios construídos por essa Diretoria entre 1935 e 1937, ano em que o Golpe de Estado de 10 de novembro praticamente encerrou suas atividades, apresenta uma "generalização de ideia de ordem e de unidade" que caracterizam o movimento moderno na arquitetura, cuja "força e capacidade de execução" representam uma "linguagem brasileira" da arquitetura moderna – que surpreendeu críticos e estudiosos estrangeiros durante as décadas seguintes – já adequadas à capacidade de execução, disponibilidade de materiais e à cultura nacional.

O pouco tempo que durou a experiência da D.A.C. – primeira fase dos trabalhos de Luiz Nunes em Recife – foi suficiente para que fossem produzidos projetos com grande aperfeiçoamento técnico, inovadores para época e com princípios arquitetônicos claros, embasados e nas influências modernistas vindas da Europa, principalmente na figura de Le Corbusier.

Le Corbusier exerceu forte influência na formação da arquitetura moderna brasileira, trazendo, desde sua primeira visita, em 1929, acontecimento dado como "marco de referência na formação da consciência da modernidade arquitetural" [4]. Em Recife não foi diferente, as ideias do arquiteto repercutiram pela imprensa local, encontrando eco na já latente cultura modernista de Pernambuco, principalmente no campo das artes.

Segundo Marques & Naslavsky [4], outro fator que facilitou a difusão, em Recife, das ideias modernistas europeias trazidas por Le Corbusier ao Brasil foi a presença, no Rio de Janeiro em 1929, de Luiz Nunes, que, ainda estudante da Escola de Belas Artes, assistiu à primeira visita do arquiteto franco-suíço ao Brasil.

Além de Luiz Nunes, outro personagem fundamental para esse primeiro momento da arquitetura moderna brasileira foi Joaquim Cardozo. Conhecido como o "Engenheiro da Poesia", Cardozo é considerado um pioneiro do Movimento Moderno e mais tarde se destacaria como calculista das principais obras de Oscar Niemeyer – que o considerava o homem mais culto que já conheceu [5]. Joaquim Cardozo é responsável por uma verdadeira revolução técnica na engenharia brasileira,

estimulado e inspirado pelos projetos de grandes arquitetos com quem trabalhou durante toda sua carreira.

Os dois profissionais encontraram em Recife um ambiente favorável para que um grupo de jovens engenheiros e arquitetos alinhados com os novos preceitos do modernismo, envolvidos em uma “efervescência em torno do conhecimento científico” [4] e com apoio político do então governador Carlos de Lima Cavalcanti, pudessem implementar uma iniciativa, pública e organizada, em torno da produção de projetos e obras que representaram o primeiro movimento da arquitetura moderna brasileira.

Durante a primeira fase dessa iniciativa, na D.A.C., Luiz Nunes foi orientado por Joaquim Cardozo a respeito das técnicas construtivas mais atuais da época. Utilizando uma vasta biblioteca de livros e revistas técnicas que ambos montaram na diretoria, Cardozo e Nunes aplicaram inovações tecnológicas em várias das obras projetadas por eles. Dentre as inovações, destacam-se as escadas helicoidais apoiadas apenas nas extremidades, usadas pela primeira vez no Hospital da Força Pública ou Brigada Militar do Derby e o projeto da Escola Rural Alberto Torres, que usa, também pela primeira vez no Brasil, rampas de acesso ao edifício em substituição às escadas. Esta rampa, objeto de estudo deste trabalho é o grande destaque, tanto formal quanto de inovação estrutural da obra.

### 3 Arquitetura

A Escola Rural Alberto Torres foi projetada pela D.A.U. em 1935 e construída em 1936 para abrigar um programa de cunho social que previa a capacitação de professores que atuariam nas cidades do interior com o intuito de fixar a população no campo.

O programa arquitetônico corresponde a oito salas de aula e um conjunto de sanitários, dispostos em um bloco único de dois pavimentos, em um primeiro volume central estão as salas de aula – quatro em cada andar e, em um segundo volume, ligado ao primeiro e destacado desse lateralmente, estão os sanitários. O grande destaque formal, que compõe a fachada do edifício, está no conjunto de rampas suspensas por tirantes, que são fixados em três arcos. Todos esses elementos são construídos em concreto armado e formam um sistema estrutural independente do corpo principal do prédio.

Os arcos que sustentam as rampas de acesso ao prédio sugerem a influência direta das obras de Le Corbusier, especificamente o projeto do arquiteto franco-suíço para o Palácio dos Sovietes de 1931, que não foi selecionado ente os vencedores, mas gerou grande admiração dos arquitetos alinhados com os preceitos do modernismo [6]. Ambos os projetos têm a mesma proporção entre arco e tirantes usados no (Fig. 4).

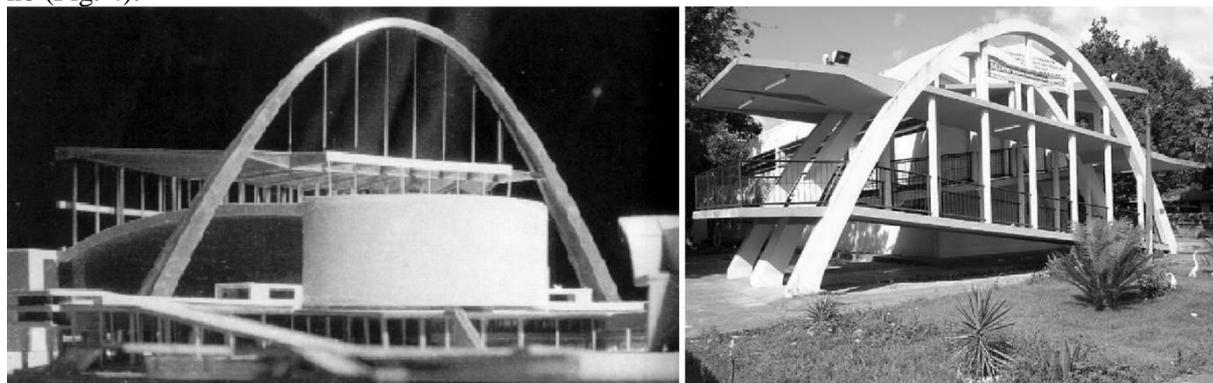
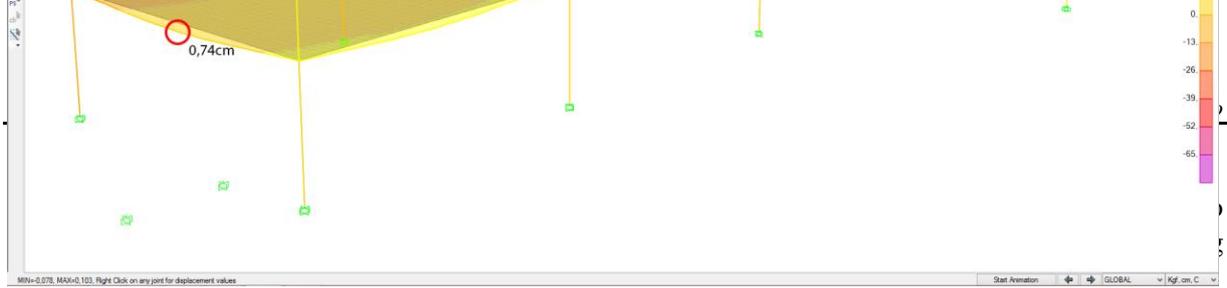


Figura 4. Comparação entre os arcos da Escola Rural Alberto Torres e do Palácio dos Sovietes.  
Fonte: Adaptado de SILVA, 2012.

### 4 Estrutura

A estrutura da escola Rural Alberto Torres acompanha a descrição da arquitetura. No bloco principal das salas de aula, apesar da aparente simplicidade da volumetria, o projeto apresenta soluções



enharia acompanham fielmente os anseios formais da arquitetura. As vigas são arqueadas e as suas secções, próximas aos pilares, aumentam, forma estrutural adequada para suportar os esforços de maneira mais eficiente. Além disso, as lajes são recheadas com tijolos cerâmicos para diminuir o peso e baratear o custo da estrutura [4]. O elemento estrutural mais marcante está na fachada, três arcos sustentando as rampas por meio de tirantes de concreto armado.

Tomando como base os projetos originais disponíveis no acervo do Arquivo Público de Pernambuco (Fig. 5), foi possível descrever com precisão a estrutura do edifício estudado. É interessante notar que os projetos de arquitetura e de estruturas possuem divergências entre eles – um está espelhado em relação ao outro, sendo que a posição construída é a representada no projeto de arquitetura. Esse fato não prejudicou o levantamento, já que as dimensões são idênticas.

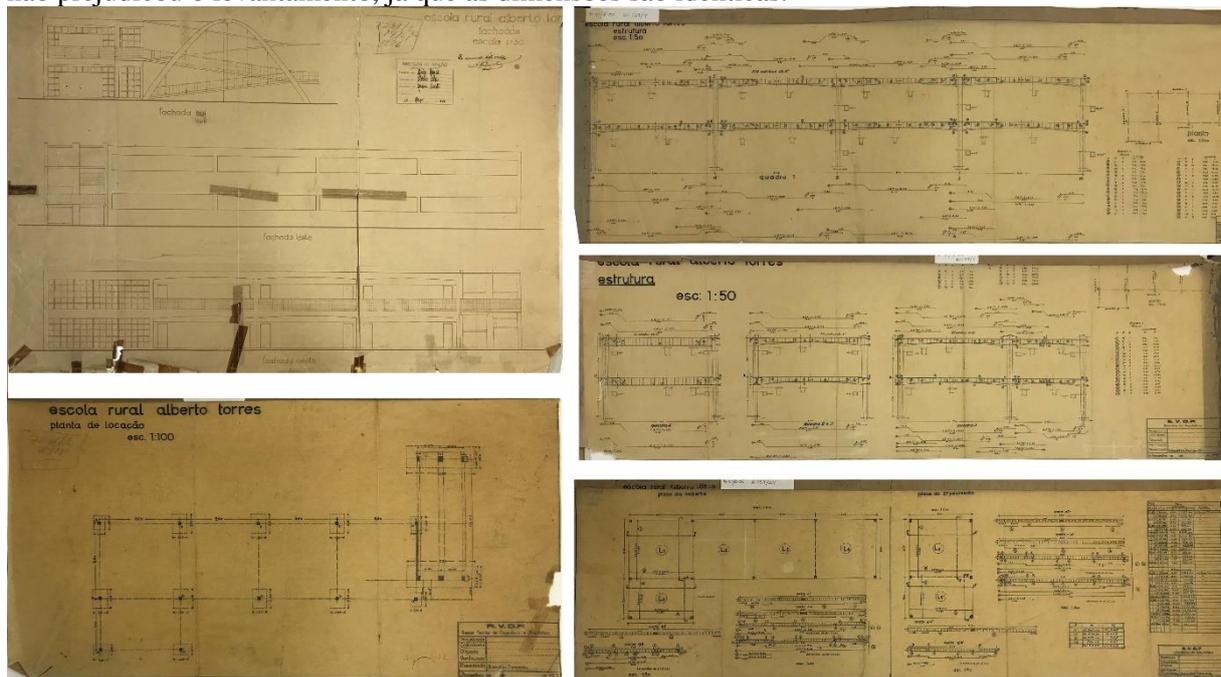


Figura 5. Projetos originais da Escola Rural Alberto Torres, em Recife.

Fonte: Arquivo Público de Pernambuco Jordão Emerenciano, fotos de Paulo M. V. Ribeiro.

O sistema estrutural do bloco das salas é formado por quatro módulos de  $8,60\text{m} \times 8,60\text{m}$  o que permite o uso racional de vigas com as mesmas dimensões nos dois sentidos. São vigas arqueadas, cuja altura da secção varia entre 43 e 64cm, com base de 30cm. As vigas menores, também arqueadas, encontradas no volume transversal que abriga os sanitários possuem vão de 5,75m e as vigas possuem a mesma secção com altura variando entre 43 e 64 cm e base de 30cm, acompanhando a arquitetura sugerida pelo desenho estrutural.

Os 12 pilares do bloco principal também possuem as mesmas dimensões entre eles e, a exemplo das vigas possuem secção variável. Na base dos pilares a secção quadrada mede  $30\text{cm} \times 30\text{cm}$ , chegando a  $38\text{cm} \times 38\text{cm}$  no topo do nível térreo e a  $45\text{cm} \times 45\text{cm}$  no topo do segundo pavimento.

As lajes são nervuradas nas duas direções e, conforme mencionado, preenchidas com tijolos cerâmicos. A espessura total das lajes é de 17cm, com 5cm de capa.

O acesso ao segundo pavimento se dá por meio de rampas sustentadas em um conjunto de três arcos de concreto armado (Fig. 6). Esses arcos possuem um vão de 13,30m e altura de 6,55m. As secções dos arcos são diferentes entre eles, enquanto os arcos externos às rampas têm secção que varia entre  $30\text{cm} \times 50\text{cm}$  na base até  $30\text{cm} \times 24\text{cm}$  no topo do arco, o arco central tem secção que varia entre  $50\text{cm} \times 50\text{cm}$  na base até  $50\text{cm} \times 24\text{cm}$ .

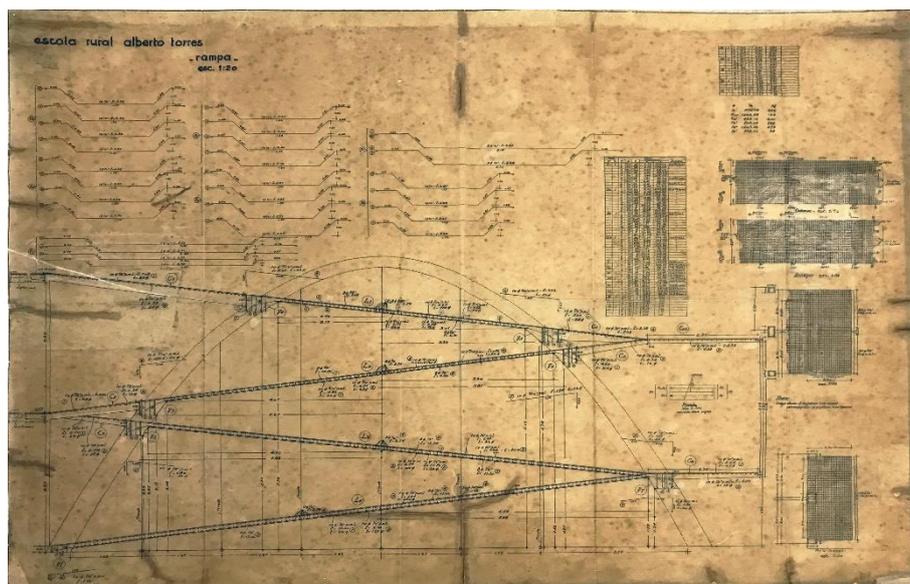


Figura 6. Projetos originais da rampa de acesso da Escola Rural Alberto Torres, em Recife.  
Fonte: Arquivo Público de Pernambuco Jordão Emerenciano, foto de Paulo M. V. Ribeiro

Os tirantes construídos são em concreto armado e possuem secção quadrada de 10x10cm, medidos no local, já que o projeto previa tirantes metálicos que não foram dimensionados nem executados.

Por fim, as lajes que formam os pisos e as coberturas das rampas são divididos em 13 placas. O primeiro lance (L4) está todo contido dentro dos arcos e tem espessura de 10cm, o patamar entre o primeiro e segundo lances (C6) tem espessura que varia entre 15 e 10cm, posicionados fora do arco, em balanço de 2,13m. Já o segundo lance (L3) tem parte dele dentro dos arcos, com espessura de 10cm e um trecho fora dos arcos (C3), com espessura de 15cm e o patamar de chegada ao segundo pavimento (C2-3) tem espessura que varia entre 15 e 10cm. Esses dois últimos trechos formam um balanço e 4,40m. Na sequência temos a cobertura do primeiro lance, a primeira parte, fora do arco (C2) tem espessura de 18cm, seguida pela parte contida dentro do arco (L2) com 8cm de espessura e novamente um trecho fora do arco (C5), com espessura que varia entre 19 e 12cm, medida da espessura do último trecho (C4-5), que cobre o patamar entre os dois primeiros lances com um balanço de 4,15m. Por último, a sequência que forma a cobertura do segundo lance da rampa, formada por um trecho externo ao arco (C4) de espessura entre 12 e 24cm, um trecho interno ao arco (L1) de 8cm de espessura e mais um trecho externo ao arco (C1) com espessura de 28 a 17cm seguido do último plano, que tem espessura variando entre 17 e 8cm (C0-1), encerrando com um balanço de 6,78m.

Além das lajes e tirantes descritos acima, os três arcos são interligados por sete vigas (V1 a V7) posicionadas nos pontos onde as lajes encontram os arcos, contribuindo para combater os efeitos de flambagem fora do plano dos arcos e suportando os esforços gerados pelos grandes balanços das lajes.

Os dados coletados dos projetos originais mostrados acima foram organizados na Tabela 1:

Tabela 1. Dimensões da estrutura da Escola Rural Alberto Torres, levantadas para análise estrutural e inseridas no modelo no software SAP2000.

BLOCO PRINCIPAL			
ELEMENTO	A (m)	B (m)	COR
1 - Pilares Térro	0,30 a 0,38	0,30 a 0,38	
2 - Pilares 2º Pavimento	0,38 a 0,45	0,38 a 0,45	
3- Vigas Principais	0,30	0,43 a 0,64	
4- Vigas externas (Sanitários)	1,30 a 0,01	1,30 a 0,01	
5 - Lajes		0,17	
RAMPAS DE ACESSO			
ELEMENTO	A (m)	B (m)	COR
6 - Arcos externos	0,30	0,50 a 0,24	por trecho
7 - Arco interno	0,50	0,50 a 0,24	por trecho
8 - Tirantes	0,10	0,10	
9- Lajes Rampa			
9.1 - Primeiro Lance (L4)		0,100	
9.2 - Primeiro Patamar (C6)		0,15 a 0,10	
9.3 - Segundo Lance - trecho interno (L3)		0,10	
9.4 - Segundo Lance - trecho externo (C3)		0,15	
9.5 - Patamar de chegada ao 2º Pavimento (C2-3)		0,15 a 0,10	
9.6 - Cobertura do primeiro lance trecho externo (C2)		0,18	
9.7 - Cobertura do primeiro lance trecho interno (L2)		0,08	
9.8 - Cobertura do primeiro lance trecho externo (C5)		0,19 a 0,12	
9.9 - Cobertura do primeiro patamar (C4-5)		0,12	
9.10 - Cobertura do segundo lance trecho externo (C4)		0,12 a 0,24	
9.11 - Cobertura do segundo lance trecho interno (L1)		0,08	
9.12 - Cobertura do segundo lance trecho externo (C1)		0,28 a 0,17	
9.13 - Cobertura do segundo patamar (C0-1)		0,17 a 0,08	
10 - Viga - entre os arcos (V1)	0,15	0,30	
11 - Viga - entre os arcos (V2)	0,30	0,45	
12 - Viga - entre os arcos (V3)	0,40	0,44	
13 - Viga - entre os arcos (V4)	0,34	0,46	
14 - Viga - entre os arcos (V5)	0,41	0,43	
15 - Viga - entre os arcos (V6)	0,34	0,44	
16 - Viga - entre os arcos (V7)	0,35	0,48	

Para o modelo estudado (Fig. 7) foram usados elementos barras (*frames*) – para os pilares, vigas arcos e tirantes e placas (*area shells*) para as lajes de piso e coberturas, resultando em um modelo composto por 251 *frames*, 10.674 *area shells*, 11.430 *points* e um total de 42.696 *area edges*.

Seguindo as orientações da norma NBR 6120/86, aplicou-se carregamento acidental (LIVE – L) de 300Kgf/m<sup>2</sup> nas lajes das salas de aula e nas circulações (rampas de acesso) onde há grande circulação de pessoas. Nas coberturas optou-se por aplicar carga de 100Kgf/m<sup>2</sup>. Além do peso próprio de todas as peças estruturais (DEAD – D). Para as análises numérica a seguir foi utilizada a seguinte combinação de cargas – 1,4D + 1,4L, com os coeficientes de majoração.

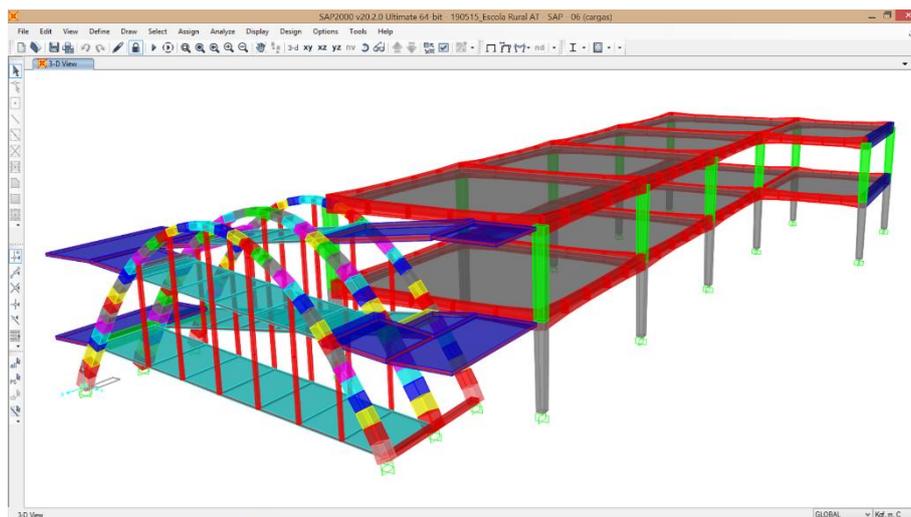


Figura 7. Modelo da Escola Rural Alberto Torres, em Recife.  
Desenho dos Autores, Programa SAP 2000.

## 5 Análise Estrutural

Nas análises do sistema estrutural do edifício da Escola Rural Alberto Torres foram verificados os esforços (Normais e de Flexão) e deslocamentos de toda a edificação. Foram gerados, a partir do software SAP2000, gráficos relativos ao deslocamento aos esforços normais, e momento fletor para os elementos da estrutura do bloco de salas e aula e das rampas de acesso.

### 5.1 Bloco de Salas de Aula

O diagrama da Fig. 8 mostra o deslocamento da estrutura do bloco das salas de aula da Escola Rural Alberto Torres. Notamos que os deslocamentos encontrados nas vigas estão dentro dos limites admissíveis da norma ABNT NBR 6118/2003 (Eq. 1). Vale ressaltar o fato da norma ter sido editada décadas depois da construção do edifício em questão.

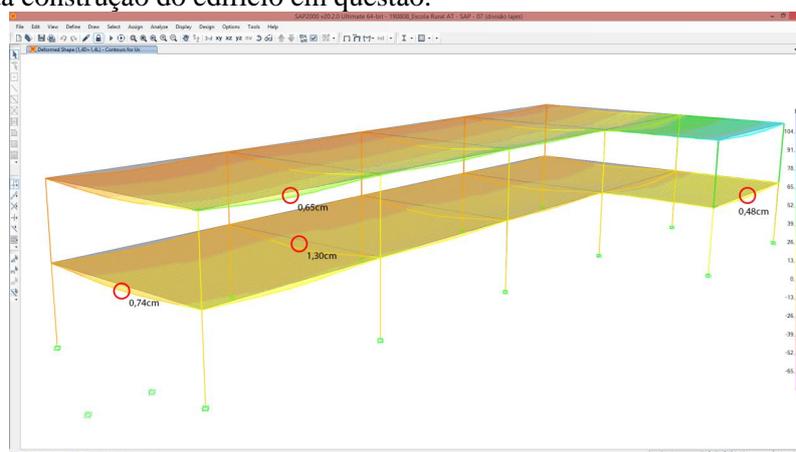


Figura 8. Diagrama de deslocamentos do bloco de salas.  
Desenho dos Autores, Programa SAP 2000.

$$F_{adm.} = \frac{l}{250} = \frac{8,6m}{250} = 0,0344m \text{ ou } 3,44cm \quad (1)$$

O deslocamento encontrado na viga do piso segundo pavimento, entre duas salas de aula – a viga com maior flecha do projeto, é de -1,30 cm – mostrada em detalhe mais adiante na Fig. 11. Já na viga de borda do volume de sanitários – dentre as duas únicas vigas não arqueadas do projeto – a flecha é de -0,48cm.

A Fig. 9 mostra as cargas nos pilares do bloco de salas. Podemos observar que cargas atuantes no pilar situado no canto entre o volume das salas e o volume dos sanitários, no pavimento térreo somam 129,48Tf. Como visto na Tabela 1, a menor área de secção dos pilares (30x30cm na base do térreo) é de 0,09m<sup>2</sup>, sendo assim a tensão nesse ponto é de 14,38Mpa, abaixo da tensão admissível pelas normas atuais.

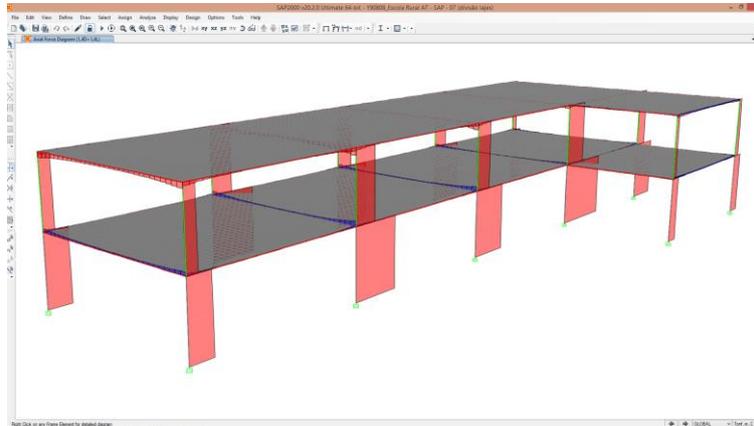


Figura 9. Diagrama de esforços normais do bloco de salas.  
Desenho dos Autores, Programa SAP 2000.

Podemos observar no gráfico de momentos fletores (Fig. 10) que a forma arqueada das vigas – aumentando a altura da secção próxima ao apoio nos pilares contribui para combater esses esforços nos pontos mais críticos, nesses pontos os momentos são de 37,90 Tf.m, a viga entre as salas 3 e 4, ao fundo do bloco.

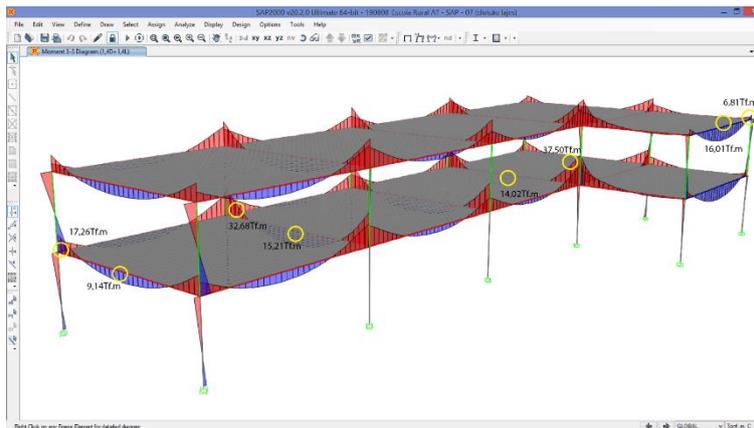


Figura 10. Diagrama de momento fletor do bloco de salas.  
Desenho dos Autores, Programa SAP 2000.

Abaixo, na Fig. 11 temos, em detalhe os gráficos de esforço cortante, momento fletor e deslocamentos para a viga posicionada entre as salas de aula 1 e 2, exemplo típico de viga desse projeto.

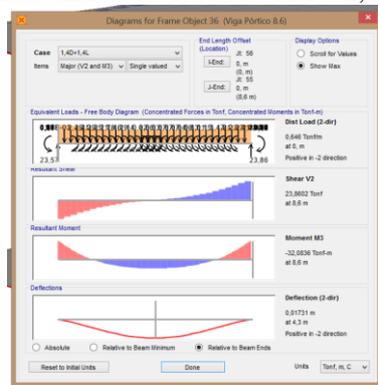


Figura 11. Diagramas de esforços cortantes, momento fletor e deslocamento da viga entre salas 1 e 2.  
Desenho dos Autores, Programa SAP 2000.

## 5.2 Rampas de Acesso

As rampas de acesso para o segundo pavimento do bloco de salas têm um sistema estrutural independente do bloco principal. Apesar de estarem faceando uma ao outro, os dois conjuntos funcionam estruturalmente independentes entre si. É interessante destacar esse fato, já que visualmente a cobertura da rampa, que apresenta um balanço de 6,78m, poderia estar apoiado no prédio principal. Porém, preservando o conceito inovador e arrojado do projeto estrutural e seu caráter experimental para a época, Joaquim Cardozo optou por deixar a estrutura monumental da rampa isolada.

A Fig. 12 mostra o modelo da estrutura da rampa no programa SAP2000. Para os elementos que formam os arcos foram utilizados segmentos de barras (*frames*) de secções variáveis, conforme projeto estrutural. Os tirantes também são modelados utilizando *frames*. Já as lajes são elementos tipo *area shell*.

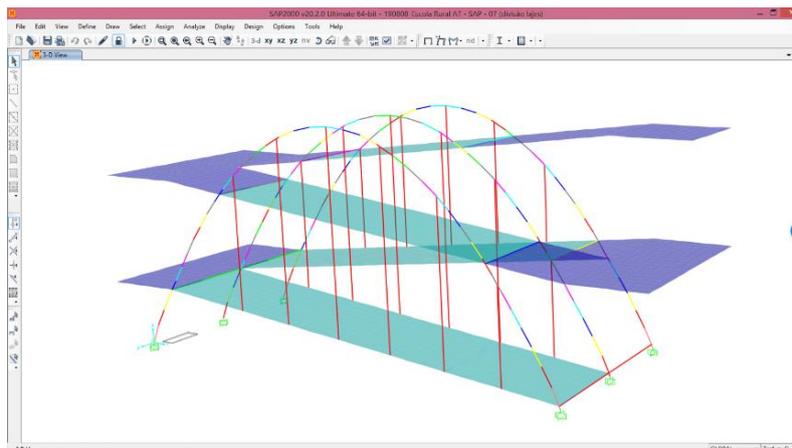


Figura 12. Modelo estrutural da rampa de acesso da Escola Rural Alberto Torres. Desenho dos Autores, Programa SAP 2000.

No diagrama de deslocamentos (Fig. 13) é fácil notar o grande deslocamento da cobertura do último patamar da rampa – na chegada ao segundo pavimento – 9,21cm. Esse deslocamento excessivo não seria admitido pelas normas atuais e revela o caráter inovador e experimental citado anteriormente, haja vista que na época da construção do edifício (1935) a primeira norma brasileira de concreto – NB1 – ainda estava sendo preparada. A laje nesse trecho da estrutura tem espessura de apenas 8cm na extremidade final, criando um efeito de leveza que merece destaque. O diagrama também mostra que os deslocamentos nos trechos contidos dentro dos arcos, sustentados não só por esses, mas também pelos tirantes de concreto, apresentam deslocamentos inexpressivos, da ordem de -0,13 cm.

É importante observar também que, como a cobertura acompanha a inclinação da rampa, ao atravessar o limite dos arcos, o desenho na prática funciona como uma “contra-flecha”, ou seja, diminui a expectativa do observador na percepção da flecha, no conjunto da estrutura.

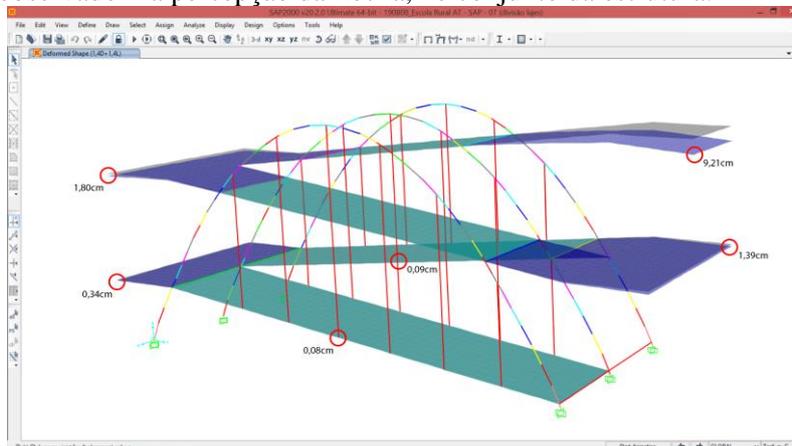


Figura 13. Diagrama de deslocamentos da rampa de acesso da Escola Rural Alberto Torres. Desenho dos Autores, Programa SAP 2000.

O diagrama de momento fletor nas lajes que formam as rampas de acesso (Fig. 14) mostram que os esforços de momento negativo estão concentrados no ponto de apoio do último balanço, chegando a  $-11.9 \text{ Tf.m}$ . Além disso notamos que o momento fletor nos demais trechos apresentam valores bem menores, entre  $-1,7 \text{ Tf.m}$  e  $1,7 \text{ Tf.m}$ .

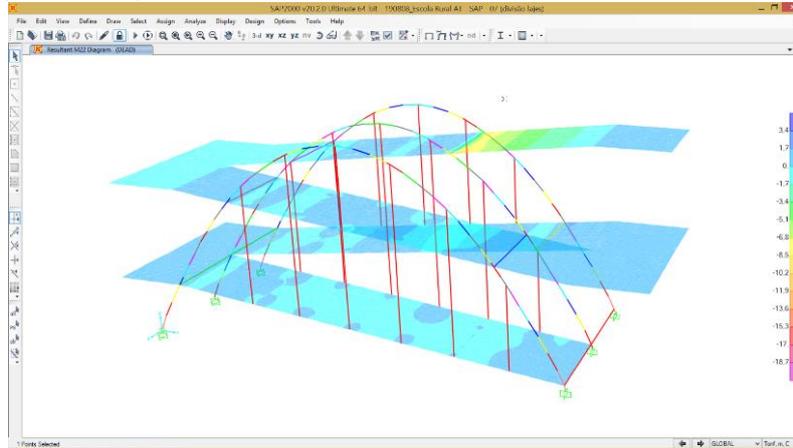


Figura 14. Diagrama de momento fletor das lajes da rampa de acesso da Escola Rural Alberto Torres. Desenho dos Autores, Programa SAP 2000.

O funcionamento funicular de um arco define que este, em pleno equilíbrio, deve sofrer apenas esforços de compressão simples, que são descarregadas nas fundações [7]. O diagrama de momento fletor dos arcos da rampa de acesso nos mostra que esse equilíbrio sofre distúrbios em alguns pontos, principalmente onde se apoiam os balanços, chegando a  $12.05 \text{ Tf.m}$  no ponto de apoio do maior balanço (cobertura do patamar de chegada) no arco central. As demais cargas apoiadas nos arcos, inclusive as dos tirantes e balanços menores, não provocam variações muito grandes de momento fletor.

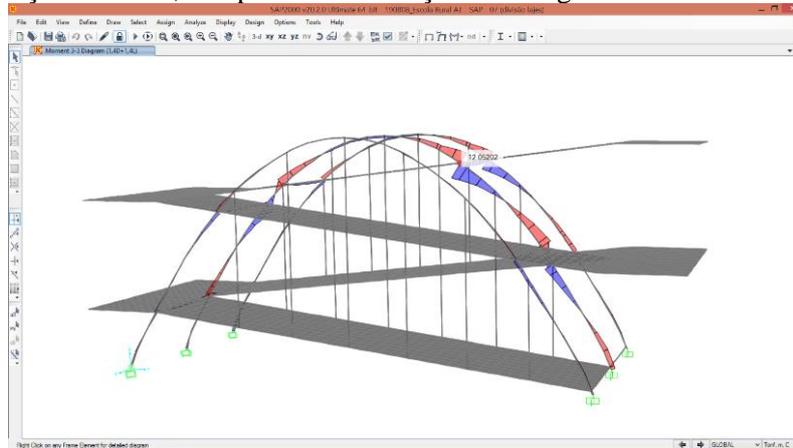


Figura 15. Diagrama de momento fletor dos arcos da rampa de acesso da Escola Rural Alberto Torres. Desenho dos Autores, Programa SAP 2000.

Analisando os gráficos de esforços normais nos arcos e tirantes (Fig. 16) notamos os esforços de compressão nos arcos (em vermelho) e de tração nos tirantes (em azul). Podemos perceber também que os valores dos esforços de tração aos quais os tirantes estão submetidos são maiores nos tirantes do arco central e são relativamente baixos –  $3,86 \text{ Tf}$  no tirante central e  $4,17 \text{ Tf}$  e  $4,74 \text{ Tf}$  nos dois tirantes que chegam até a parte mais alta do arco.

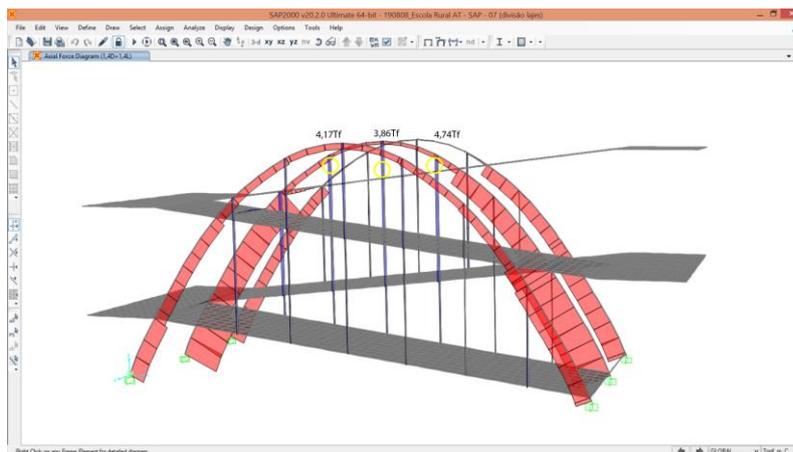


Figura 16. Diagrama de esforços normais nos arcos e tirantes da rampa de acesso.  
Desenho dos Autores, Programa SAP 2000.

As análises acima podem sugerir que os tirantes utilizados nesse sistema têm pouca importância estrutural, podendo ter sido projetados mais como uma opção estética do que tecnicamente necessária. Assim nas Fig. 17 a 20 são mostrados respectivamente os diagramas de deslocamento, momento fletor nas lajes, momento fletor nos arcos e esforços normais nos arcos para uma simulação da mesma estrutura sem os tirantes.

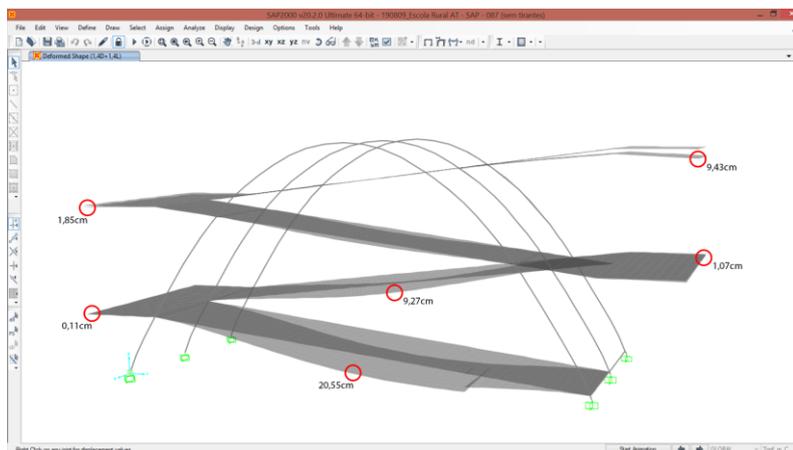


Figura 17. Diagrama de deslocamentos da rampa de acesso, sem os tirantes.  
Desenho dos Autores, Programa SAP 2000.

Os deslocamentos nos pontos em balanço nessa simulação possuem valores muito próximos aos encontrados na versão original do sistema estrutural, porém, nos vãos internos aos arcos, mais especificamente nos trechos de piso do primeiro e segundo lance da rampa, os deslocamentos são excessivos, chegando a 20,55cm.

O gráfico de momento fletor (Fig. 18) mostra que os momentos fletores nas lajes não sofrem grandes mudanças com a retirada dos tirantes. No início do primeiro lance de rampa podemos observar momentos positivos da faixa de 4 Tf.m. O momento fletor no ponto de apoio do último balanço permaneceu com a mesma ordem de grandeza, porém um pouco menor – 10,11 Tf.m. E nos demais trechos variando entre -2,00 Tf.m e 2,00Tf.m.

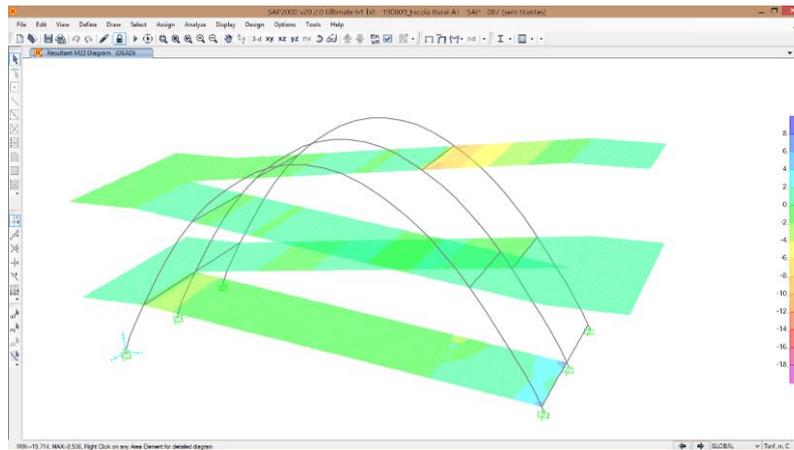


Figura 18. Diagrama de momento fletor das lajes da rampa de acesso, sem os tirantes.  
Desenho dos Autores, Programa SAP 2000.

O momento fletor nos arcos para a opção sem tirantes (Fig. 19) também apresenta pouca variação, há, porém, um aumento do momento fletor próximo ao primeiro patamar.

E por fim, vemos no gráfico de esforços normais a aparição de esforços de tração na parte superior dos arcos (Fig. 20). Esses esforços não são ideais para o sistema de arcos, ainda mais sendo este de concreto.

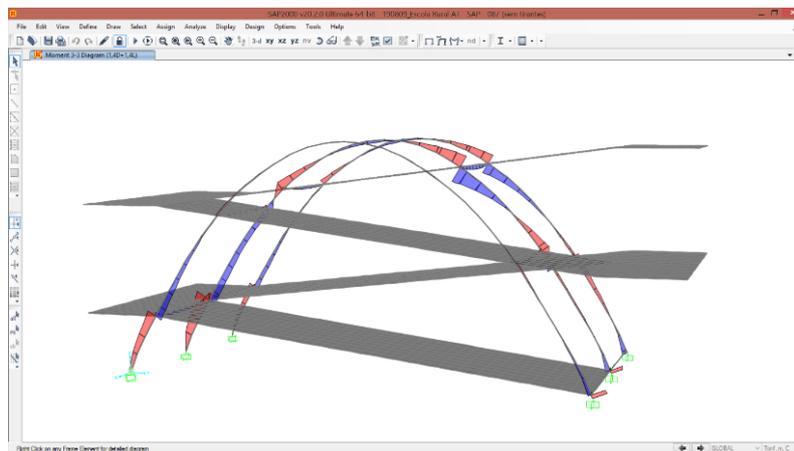


Figura 19. Diagrama de momento fletor dos arcos da rampa de acesso, sem os tirantes.  
Desenho dos Autores, Programa SAP 2000.

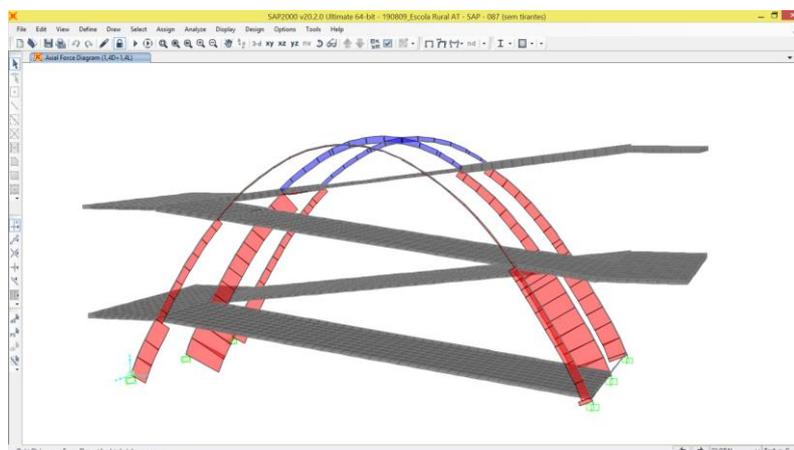


Figura 20. Diagrama de esforços normais nos arcos e tirantes da rampa de acesso, sem os tirantes.  
Desenho dos Autores, Programa SAP 2000.

## 6 Conclusão

Desde as primeiras experiências arquitetônicas que introduziram no Brasil uma linguagem arquitetônica modernista, nas origens da Arquitetura Moderna Brasileira encontramos exemplos nos quais a integração entre arquitetura e estrutura permitiu a execução de notáveis obras, experimentando os limites do novo material – concreto armado – que era apresentado como adequado ao mercado, clima e cultura nacionais e desenvolvendo ao máximo as técnicas até então conhecidas. As obras de Luiz Nunes e Joaquim Cardozo em Recife, por meio da DAU são grandes exemplos dessa integração.

Luiz Nunes conseguiu unir uma vontade política e diversos profissionais com uma visão cultural em sintonia com as novas influências modernistas em um ambiente que proporcionou não só um grande berço, mas também grandes avanços para a Arquitetura Moderna Brasileira em poucos anos de muita produção.

A projeto da Escola Rural Alberto Torres em Recife é inovador para a época – 1935 – e apresenta diversas experiências tanto do ponto de vista formal, incorporando características de um modernismo que começava a se espalhar pelo mundo a partir da Europa e do ponto de vista estrutural, trazendo soluções pioneiras e explorando de forma inédita os limites do concreto armado.

No caso dos tirantes da estrutura das rampas de acesso da escola, notamos que, apesar da aparência, sua presença não é apenas um recurso estético. Os tirantes são importantes estruturalmente para distribuir as cargas das rampas pelos arcos respeitando o funicular das cargas e sustentando os dois primeiros lances da rampa, permitindo a espessura de apenas 10cm, que traz a leveza às lajes da rampa, buscada pelo arquiteto.

Assim como outros grandes nomes da Arquitetura Moderna que se destacariam nos anos seguintes ao momento da DAU em Recife, as obras de Nunes e Cardozo têm a estrutura como importante elemento na arquitetura. As análises dessas obras, contribuem para entender a gênese do movimento moderno na arquitetura brasileira e a importância do conhecimento técnico e tecnológico para a produção de uma arquitetura de boa qualidade e engenharia de alta tecnologia, além de evidenciar o protagonismo do sistema estrutural na concepção arquitetônica desde suas primeiras experiências.

## Agradecimentos

Os autores desse trabalho agradecem ao Programa de Pós-Graduação da FAU- UnB - PPG-FAU.

## Referências

- [1] J. Cardozo. *Dois episódios na história da arquitetura moderna brasileira*. Revista Módulo, nº 4, PP. 32-36. Recife, 1965.
- [2] G. Santana. *Joaquim Cardozo 1897-1978 – O Engenheiro da Poesia*. Revista AU, Editora PINI, São Paulo, 1998.
- [3] M. P. R. Dantas. *Joaquim Cardozo contemporâneo do futuro*. Ensol Editora, 2004.
- [4] S. Marques e G. Naslavsky. *Eu vi o modernismo nascer... foi no Recife*. em *Arquitextos* ISSN 1809-6298/131.02, São Paulo, 2011.
- [5] O. Niemeyer, *As Curvas do Tempo - Memórias*. Editora Revan, 2000, 7ª edição, Rio de Janeiro, 2000.
- [6] R. A. Silva. *O desafio da preservação do patrimônio arquitetônico modernista no Rio de Janeiro*. Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Profissional do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Preservação do Patrimônio Cultural. Orientador: Cláudia Feierabend Baeta Leal, Rio de Janeiro 2012
- [7] Y. C. P. Rebello. *A Concepção Estrutural e a Arquitetura*. Ziguarte, São Paulo, 2000.